



Εταιρεία Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος

Πρακτικά
12^ο Πανελλήνιου Συνεδρίου
Γεωργικής Μηχανικής

«Η συμβολή της Γεωργικής Μηχανικής
στην επίτευξη των στόχων της πράσινης
συμφωνίας»

Θεσσαλονίκη
21-22 Οκτωβρίου 2021



Εταιρεία Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος

Πρακτικά

12^ο Πανελλήνιου Συνεδρίου

Γεωργικής Μηχανικής

**«Η συμβολή της Γεωργικής Μηχανικής
στην επίτευξη των στόχων της πράσινης
συμφωνίας»**

Επιμέλεια Έκδοσης:

.....

.....

Θεσσαλονίκη

21-22 Οκτωβρίου 2021

Πρόλογος

Αγαπητοί συνάδελφοι,

Το συνέδριο της Εταιρείας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδας (Ε.Γ.Μ.Ε.) διοργανώνεται κάθε δύο έτη και σκοπός του είναι η ανταλλαγή απόψεων, η επιστημονική συζήτηση και η συνέργεια μεταξύ των επιστημόνων, των επιχειρηματιών και των κοινωνικών φορέων που δραστηριοποιούνται στο χώρο της Γεωργικής Μηχανικής, ώστε να αναπτυχθεί ο κλάδος της Γεωργικής Μηχανικής προς όφελος της γεωργίας και της κτηνοτροφίας.

Το συνέδριο επίσης αποτελεί χώρο συζήτησης και παρουσίασης των προσφάτων καινοτομιών, τάσεων και πρακτικών μεταξύ των ερευνητών, των εφαρμοστών (της πράξης) και των μελών της εκπαιδευτικής κοινότητας. Επιδιώκεται η γνωριμία των νέων ερευνητών, η παρουσίαση των εργασιών τους, η γνωριμία των ερευνητικών ομάδων και του έργου τους, που αποτελούν στόχους της Εταιρείας. Παράλληλα γίνεται προσπάθεια σύνδεσης των ερευνητικών και ακαδημαϊκών κέντρων με τη βιομηχανία και του κατασκευαστικού κλάδου, που καλύπτουν αντικείμενα του χώρου, με στόχο την καλύτερη επαφή για αμοιβαίο όφελος.

Αντικείμενα του συνεδρίου είναι μεταξύ άλλων η διαχείριση και αξιοποίηση των υδατικών και εδαφικών πόρων, τα γεωργικά μηχανήματα και η εκμηχάνιση της γεωργίας, η ψηφιοποίηση της γεωργίας, οι αγροτικές κατασκευές, η επεξεργασία των γεωργικών προϊόντων, η εξοικονόμηση ενέργειας και η παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμους πόρους, η καινοτομία και οι νέες τεχνολογίες, και το περιβάλλον. Σήμερα υπάρχει η ανάγκη για ποιοτικά αγροτικά προϊόντα με παράλληλη προστασία του περιβάλλοντος και των διαθέσιμων πόρων. Η κλιματικά ουδέτερη και βιώσιμη γεωργία αποτελούν μέρος της Ευρωπαϊκής πράσινης συμφωνίας (GREEN DEAL) και οι Γεωργικοί Μηχανικοί καλούμαστε να διαδραματίσουμε σημαντικό ρόλο στην επίτευξη των στόχων της πράσινης συμφωνίας στον αγροτικό τομέα.

Η μετάβαση σε μία κλιματικά ουδέτερη γεωργία, η ενίσχυση της αποδοτικής χρήσης των πόρων και η καθιέρωση της κυκλικής οικονομίας στις αγροτικές δραστηριότητες υπό το πρίσμα της Γεωργικής Μηχανικής καθώς και η ψηφιοποίηση της γεωργίας είναι το θέμα του 12 ου Πανελληνίου Συνεδρίου της ΕΓΜΕ με τίτλο : *«Η συμβολή της Γεωργικής Μηχανικής στην επίτευξη των στόχων της πράσινης συμφωνίας»*. Λόγω των συνθηκών της εποχής και υπό την πίεση των μέτρων κατά του Covid-19, το 12 Ο Πανελλήνιο Συνέδριο της ΕΓΜΕ δεν πραγματοποιήθηκε δια ζώσης, αλλά μέσω της ηλεκτρονικής πλατφόρμας Zoom.

Ο παρών τόμος αποτελεί τα πρακτικά του 12 ου Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, με τίτλο *«Η συμβολή της Γεωργικής Μηχανικής στην επίτευξη των στόχων της πράσινης συμφωνίας»*. Περιέχει 71 ερευνητικές εργασίες, οι οποίες εγκρίθηκαν για δημοσίευση μετά από κρίση από τα μέλη της Επιστημονικής Επιτροπής και παρουσιάστηκαν στη διάρκεια του συνεδρίου.

Στο σημείο αυτό θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τα μέλη της Οργανωτικής και Επιστημονικής Επιτροπής, τους προσκεκλημένους ομιλητές, τους συγγραφείς και τους κριτές των εργασιών, που αφιέρωσαν τον πολύτιμο χρόνο τους για την επιστημονικά αρτιότερη οργάνωση του συνεδρίου. Τέλος, ειλικρινείς ευχαριστίες εκφράζονται προς το χορηγό του συνεδρίου για την οικονομική του ενίσχυση συμβάλλοντας στην επιτυχή πραγματοποίησή του και στη δημιουργία του τόμου αυτού.

Θωμάς Κωτσόπουλος
Πρόεδρος ΕΓΜΕ

Πανταζής Γεωργίου
Γραμματέας ΕΓΜΕ

Οργανωτική Επιτροπή Συνεδρίου

Θωμάς Κωτσόπουλος, Αν. Καθηγητής Α.Π.Θ., Πρόεδρος Ε.Γ.Μ.Ε.
Δημήτριος Μόσχου, Καθηγητής Α.Π.Θ., Αντιπρόεδρος Ε.Γ.Μ.Ε.
Πανταζής Γεωργίου, Αν. Καθηγητής Α.Π.Θ., Γραμματέας Ε.Γ.Μ.Ε.
Βασίλειος Φράγκος, Αν. Καθηγητής Α.Π.Θ., Ταμίας Ε.Γ.Μ.Ε.
Νικόλαος Κατσούλας, Καθηγητής Π.Θ.
Σπυρίδων Φουντάς, Αν. Καθηγητής Γ.Π.Α.
Ιωάννης Υψηλάντης, Επικ. Καθηγητής Α.Π.Θ.
Παναγιώτης Κούγιας, Ερευνητής ΕΛΓΟ-ΔΗΜΗΤΡΑ
Ιωάννης Φωτίδης, Αν. Καθηγητής Tampere University Finland
Δημήτριος Κατέρης, Ερευνητής ΕΚΕΤΑ
Στέφανος Κουνδουράς, Αν. Καθηγητής Α.Π.Θ.
Θωμάς Μπαρτζάνας, Αν. Καθηγητής Γ.Π.Α.
Ζαχαρούλα Ανδρεοπούλου, Καθηγήτρια Α.Π.Θ.
Γεώργιος Μαρτινόπουλος, Ακαδημαϊκός Συνεργάτης ΔΙ.ΠΑ.Ε.
Σωτήριος Καλαμάρας, Διδάκτορας Α.Π.Θ.
Μαρία-Λήδα Χρήστου, Υποψ. Διδάκτορας Α.Π.Θ.

Επιστημονική Επιτροπή Συνεδρίου

Ζαχαρούλα Ανδρεοπούλου, Καθηγήτρια Α.Π.Θ.
Διονύσιος Γασπαράτος, Αν. Καθηγητής Γ.Π.Α.
Πανταζής Γεωργίου, Αν. Καθηγητής Α.Π.Θ.
Ευαγγελία Γκόλια, Αν. Καθηγήτρια Α.Π.Θ.
Σωτήριος Καλαμάρας, Διδάκτορας Α.Π.Θ.
Δημήτριος Καρπούζος, Αν. Καθηγητής Α.Π.Θ.
Δημήτριος Κατέρης, Ερευνητής ΕΚΕΤΑ
Νικόλαος Κατσούλας, Καθηγητής Π.Θ.
Παναγιώτης Κούγιας, Ερευνητής ΕΛΓΟ-ΔΗΜΗΤΡΑ
Στέφανος Κουνδουράς, Αν. Καθηγητής Α.Π.Θ.
Σοφία Κωστοπούλου, Καθηγήτρια Α.Π.Θ.
Θωμάς Κωτσόπουλος, Αν. Καθηγητής Α.Π.Θ.
Γεώργιος Μαρτινόπουλος, Ακαδημαϊκός Συνεργάτης ΔΙ.ΠΑ.Ε.
Δημήτριος Μόσχου, Καθηγητής Α.Π.Θ.
Θωμάς Μπαρτζάνας, Αν. Καθηγητής Γ.Π.Α.
Γεώργιος Ντίνας, Ερευνητής ΕΛΓΟ-ΔΗΜΗΤΡΑ
Ιωάννης Υψηλάντης, Επικ. Καθηγητής Α.Π.Θ.
Βασίλειος Φιρφιρής, Διδάκτορας Α.Π.Θ.
Σπυρίδων Φουντάς, Αν. Καθηγητής Γ.Π.Α.
Βασίλειος Φράγκος, Αν. Καθηγητής Α.Π.Θ.
Ιωάννης Φωτίδης, Αν. Καθηγητής Tampere University Finland
Μαρία-Λήδα Χρήστου, Υποψ. Διδάκτορας Α.Π.Θ.

Επικοινωνία – Αλληλογραφία - Πληροφορίες

Κωτσόπουλος Θωμάς,

Αναπληρωτής Καθηγητής Α.Π.Θ (Πρόεδρος)

Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής μηχανικής,

Εργαστήριο [Γεωργικών Κατασκευών και Εξοπλισμού](#)

Τμήμα Γεωπονίας, Σχολή Γεωπονίας, Δασολογίας & Φυσικού Περιβάλλοντος,

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 541 24, Θεσσαλονίκη

τηλ: +302310991796

email: mkotsop@agro.auth.gr

Γεωργίου Πανταζής,

Αναπληρωτής Καθηγητής Α.Π.Θ (Γραμματέας)

Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής μηχανικής,

Εργαστήριο [Γενικής και Γεωργικής Υδραυλικής και Βελτιώσεων](#),

Τμήμα Γεωπονίας, Σχολή Γεωπονίας, Δασολογίας & Φυσικού Περιβάλλοντος,

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 541 24, Θεσσαλονίκη

τηλ: +302310998752

email: pantaz@agro.auth.gr

ΧΟΡΗΓΟΣ ΣΥΝΕΔΡΙΟΥ

Θερμές ευχαριστίες εκφράζονται εκ μέρους της Οργανωτικής Επιτροπής του Συνεδρίου στον χορηγό του 12^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής που βοήθησε στην υλοποίησή του και στη δημιουργία του παρόντος τόμου.



Γεωτεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος
(www.geotee.gr)

Περιεχόμενα

Αγροτικές Κατασκευές

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΕΣΣΑΡΩΝ ΠΡΟΣΜΙΞΕΩΝ ΠΕΡΛΙΤΗ ΜΕ ΑΝΟΡΓΑΝΑ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΟΜΑΤΑΣ	
<u>A. Μπάρη</u> , Χ. Παπαϊωάννου, Π. Σπηλιωτοπούλου & Ν. Κατσούλας.....	13
ΧΡΗΣΗ ΒΙΟΦΙΛΤΡΩΝ ΚΑΙ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΩΝ ΣΕ ΠΤΗΝΟΤΡΟΦΕΙΑ	
<u>Κ. Μπαξεβάνου</u> , Δ. Φείδαρος, Η. Γιάννενας, Ελ. Μπόνος & Ι. Σκούφος.....	20
ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΓΓΟΥΡΙΟΥ ΜΕ ΥΔΡΟΠΟΝΙΑ ΚΑΙ ΕΝΥΔΡΕΙΟΠΟΝΙΑ	
<u>Ν. Κατσούλας</u> , Μ. Ασλανίδου, Δ. Κ. Παπαναστασίου & Β. Ανέστης.....	29
ΚΑΙΝΟΤΟΜΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ ΕΝΤΟΜΟΣΤΕΓΩΝ ΔΙΧΤΥΩΝ – ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ	
<u>A. Γιαννούλης</u> , Α. Μυστριώτης & Δ. Μπριασούλης.....	37
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΡΟΩΝ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΕ ΕΝΥΔΡΕΙΟΠΟΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	
<u>Μ. Ασλανίδου</u> , Α. Ελβανίδη, Β. Βασιλειάδης & Ν. Κατσούλας.....	45
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΗΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΡΟΗΣ ΑΕΡΑ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΥΠΕΡΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	
<u>Β. Λάσκος</u> , Ν. Μαλαματάρης, Θ. Κωτσόπουλος & Β. Φράγκος.....	53
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ ΔΙΧΤΥΩΝ ΕΝΤΟΜΟΣΤΕΓΑΝΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΝΑΝΟΣΩΜΑΤΙΔΙΑ ΠΥΡΙΤΙΟΥ ΣΤΟΝ ΠΛΗΘΥΣΜΟ ΤΩΝ ΕΝΤΟΜΩΝ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΑΕΡΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΔΙΧΤΥΩΝ	
<u>Σ. Φαλιάγκα</u> και Ν. Κατσούλας.....	54
GAS EMISSION MITIGATION MEASURES FROM LIVESTOCK MANURE MANAGEMENT CHAIN	
<u>A. Maragou</u> , V. Anestis & T. Bartzanas.....	62
ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΝΕΑΡΩΝ ΦΥΛΛΩΝ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ ΜΕ ΠΑΡΟΧΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Ή ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	
<u>Γ. Λιάντας</u> , Ι. Χατζηγεωργίου, Φ. Μπαντής, Μ. Καραγιοβανίδης, Α. Κουκουνάρας & Γ.Κ. Ντίνας.....	66
MELS PROJECT: MITIGATING GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM LIVESTOCK SYSTEMS	
<u>V. Anestis</u> , T. Bartzanas, F. Dragoni & B. Amon.....	71
ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΝΥΔΡΕΙΟΠΟΝΙΑΣ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΚΤΡΟΦΗ ΠΕΣΤΡΟΦΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	
<u>Χ. Βασδραβανίδης</u> , Δ. Παπαδόπουλος, Ι. Χατζηγεωργίου, Α. Λάττος, Ι.Α. Γιάντσης & Γ.Κ. Ντίνας.....	76
MILKEY PROJECT: DECISION SUPPORT SYSTEM FOR SUSTAINABLE AND GHG OPTIMIZED MILK PRODUCTION IN KEY EUROPEAN AREAS	
<u>V. Anestis</u> , T. Bartzanas, F. Dragoni & B. Amon.....	82
ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΡΟΚΑΣ: Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΨΥΞΗΣ ΤΟΥ ΘΡΕΠΤΙΚΟΥ ΔΙΑΛΥΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	
<u>Ι. Χατζηγεωργίου</u> , Γ. Λιάντας, Π. Καρνούτσος, Φ. Μπαντής, Α. Κουκουνάρας & Γ.Κ. Ντίνας....	87
FARMSUSTAINABL PROJECT: ENABLING SMART LIVESTOCK FARMING TECHNOLOGIES FOR ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY USING BLOCKCHAIN	
<u>V. Anestis</u> , T. Bartzanas, Z. Tsiropoulos & E. Anastasiou.....	92
ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF COMMERCIAL GREENHOUSE CROPS IN GREECE	
<u>V. Anestis</u> , L. Andris & T. Bartzanas.....	97

Καινοτομία και Νέες Τεχνολογίες

ΟΡΤΙΜΑ – ΠΡΟΟΔΟΣ ΣΤΗ ΒΕΛΤΙΩΜΕΝΗ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΓΙΑ ΑΚΡΙΒΗ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟ ΦΥΤΙΚΩΝ ΑΣΘΕΝΕΙΩΝ ΣΕ ΜΟΝΙΜΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ ΚΑΙ ΛΑΧΑΝΙΚΑ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΑΓΡΟΥ	
<u>A. Μπαλαφούτης</u> , Μ. Μωραΐτης, Ν. Μυλωνάς, Σ. Φουντάς, Π. Σταματελόπουλος & Ζ. Τσιρόπουλος.....	101
INNOSETA - ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΚΑΙΝΟΤΟΜΩΝ ΠΡΑΚΤΙΚΩΝ ΓΙΑ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟ ΨΕΚΑΣΜΟΥ, ΚΑΤΑΡΤΙΣΗ ΚΑΙ ΠΑΡΟΧΗ ΣΥΜΒΟΥΛΩΝ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΓΕΩΡΓΙΑ ΜΕΣΩ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΓΝΩΣΗΣ ΚΑΙ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑΣ	
Μ. Μωραΐτης, <u>Κ. Βαϊόπουλος</u> , Α. Μπαλαφούτης, Μ. Κουτσιαράς, Σ. Φουντάς, Β. Κανάκη, Α. Κουτσούρης, Μ. Καμινιάρης & Ζ. Τσιρόπουλος.....	109
RES4LIVE – ΕΞΥΓΝΗ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΑ ΜΕ ΣΤΟΧΟ ΤΗ ΜΗΔΕΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΟΡΥΚΤΑ ΚΑΥΣΙΜΑ	
<u>Δ. Τύρης</u> , Δ. Μανωλάκος, Θ. Μπαρτζάνας, Β. Ανέστης, Α. Μπαλαφούτης, Μ. Μωραΐτης, Π. Μπακάλης, Α. Γκούντας, Σ. Κοτσιλίτης & Σ. Καλογρίδης.....	118
AGROFOSSILFREE - ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΓΙΑ ΕΠΙΤΕΥΞΗ ΜΙΑΣ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΑΣ ΑΠΑΛΛΑΓΜΕΝΗΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΟΡΥΚΤΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	
<u>Κ. Βαϊόπουλος</u> , Α. Μπαλαφούτης, Φ. Βανδώρου, Μ. Μωραΐτης, Σ. Βουλγαράκη, Β. Κανάκη, Α. Κουτσούρης, Β. Paris, Δ. Μανωλάκος, Γ. Παπαδάκης, Μ. Καμινιάρης & Ζ. Τσιρόπουλος.....	126
ΔΑΣΟΠΟΝΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ: ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗ ΔΑΣΙΚΗ ΠΡΑΞΗ	
<u>Χ. Κολιούσκα</u>	134
EDUCATIONAL COURSES FOR MANAGERS AND TECHNICIANS OF RESILIENT AND SUSTAINABLE FARMING, OFFERED BY VALOR ERASMUS+ PROJECT	
G. Miliokas, <u>D. K. Papanastasiou</u> , D. Antoniadis & N. Katsoulas.....	141
ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΙΧΘΥΟΠΑΝΙΔΑ ΤΩΝ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ ΜΕ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΡΥΘΜΩΝ ΚΑΙ SQL	
<u>Κ. Κωνσταντινίδης</u> , Α. Κοκκινάκης & Ζ. Ανδρεοπούλου.....	146
ΝΕΕΣ ΤΠΕ ΣΤΗΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ: Η ΠΡΟΩΘΗΣΗ ΤΟΥ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΥ ΤΟΥΡΙΣΜΟΥ ΣΤΗΝ ΚΡΗΤΗ	
<u>Α. Π. Σούλη</u> , Χ. Κολιούσκα & Ζ. Ανδρεοπούλου.....	155
ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΕΞ΄ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ ΣΤΙΣ ΣΠΟΥΔΕΣ ΔΑΣΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ	
Ζ. Ανδρεοπούλου, <u>Ν. Καψάλη</u> & Σ. Τσουκαρελλά.....	163
ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΞΗΡΑΣ ΟΥΣΙΑΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΡΠΩΝ ΑΚΤΙΝΙΔΙΑΣ	
<u>Β.Σ. Τιτέλη</u> , Μ. Μιχαηλίδης & Α. Μολασιώτης.....	171
Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΥΣΤΗΜΙΚΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΣΤΗΝ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΤΡΑΥΜΑΤΙΣΜΟΥ ΣΤΗΝ ΩΡΙΜΑΝΣΗ ΚΑΡΠΩΝ ΑΚΤΙΝΙΔΙΑΣ	
<u>Χ. Πολυχρονιάδου</u> , Μ. Μιχαηλίδης & Α. Μολασιώτης.....	175
ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ GLAM ΚΑΙ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	
<u>Δ. Κασαμπαλής</u> , K. Pattnayak, C. Symonds, Θ. Αλεξανδρίδης & A. Challinor.....	179
ΔΑΣΙΚΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΚΥΒΕΡΝΗΣΗ: ΨΗΦΙΑΚΟΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ Ε.Ε	
<u>Β. Δάτση</u>	184
ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΡΓΟΝΟΜΙΑ ΣΤΗΝ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΝΘΡΩΠΟΥ-ΡΟΜΠΟΤ ΣΤΗΝ ΓΕΩΡΓΙΑ	
<u>Λ. Μπένος</u> , Α. Ταγαράκης, Ε. Αϊβαζίδου, Α. Αναγνώστης, Δ. Κατέρης & Δ. Μπόχτης.....	193
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΥΦΥΟΥΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΕΩΡΓΙΑΣ ΣΤΗΝ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΤΗΣ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΑΣ	
<u>Θ. Αγγελοπούλου</u> , Α. Ταγαράκης, Χ. Δόρδας, Δ. Κατέρης & Δ. Μπόχτης.....	201
ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΖΙΖΑΝΙΩΝ ΣΕ ΑΜΠΕΛΩΝΕΣ	
<u>Δ. Καλαϊτζίδης</u> , Δ. Κατέρης, Β. Μωυσιάδης, Γ. Βασιλειάδης, Δ. Κατκαριδής, Α. Ταγαράκης & Δ. Μπόχτης.....	209

ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΠΑΡΑΛΛΑΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗΣ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ ΑΠΟ ΠΙΘΑΝΑ ΤΟΞΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ <u>Ουρανία-Δέσποινα Κάντζου</u> , Ευαγγελία Ε. Γκόλια, Σωτηρία Παπαδήμου, Μαρία-Άννα Χαρτοδιπλωμένου, Βασίλειος Αντωνιάδης & Νικόλαος Τσιρόπουλος.....	216
ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΧΑΛΚΟΥ ΚΑΙ ΚΑΔΜΙΟΥ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΕΔΑΦΗ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ <u>Μ.Α Χαρτοδιπλωμένου</u> , Ε.Ε. Γκόλια, Σ. Παπαδήμου, Ο.Δ Κάντζου, Β. Αντωνιάδης & Ν. Τσιρόπουλος.....	224

Εδαφικοί Πόροι

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΣΧΕΣΕΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΟΥ SARe ΚΑΙ ΤΩΝ SAR1:1, SAR1:5 Γ. Κάργας, <u>Δ. Κόκας</u> , Π. Λόντρα & Α. Σγουμποπούλου.....	234
ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΕΔΑΦΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΒΙΟ-ΤΣΙΜΕΝΤΟΠΟΙΗΣΗΣ <u>Α. Βράννα</u> & Σ. Κωστοπούλου.....	243
Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΥΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ ΣΤΟΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ 1:5 (EC1:5) ΣΕ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΠΑΣΤΑΣ ΚΟΡΕΣΜΟΥ (ECe) <u>Γ. Κάργας</u> , Β. Κακαλή, Φ. Κούνγκουλλι, Σ. Θάνος, Χ. Κατσαούνης, Π. Λόντρα & Κ. Σωτηράκογλου.....	252
ΓΕΝΟΤΥΠΟΣ ΚΑΙ ΣΤΑΔΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΦΥΤΩΝ ΚΑΛΑΜΠΟΚΙΟΥ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΛΛΕΙΨΗΣ ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΜΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΤΗ ΜΥΚΟΡΡΙΖΙΚΗ ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ Μ. Αληφραγκή, Μ. Ορφανουδάκης, Ι. Σιστάνης, Φ. Παπαθανασίου, Ι. Παπαδόπουλος, Μ. Αγγελικούδη, Μ. Φουρνομίτη, Ι. Βροχίδης, Ε. Σιναπίδου & Ι. Τοκατλίδης.....	260
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΒΙΟ-ΕΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΟΣ & ΕΝΔΟΜΥΚΟΡΡΙΖΙΚΩΝ ΕΜΒΟΛΙΩΝ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΡΙΤΑΜΟΥ (<i>Crithmum maritimum</i> L.) & ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ (<i>Lactuca sativa</i> , L.) <u>Ε. Συργανίδης</u> , Ι. Υψηλάντης, Δ. Γασπαράτος & Δ. Καλδέρης.....	268
ΕΚΧΥΛΙΣΗ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ Ν, Ρ, Κ, Β ΑΠΟ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΚΑΦΕ ΣΕ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΤΑΚΛΥΣΗΣ ΜΕ ΣΤΟΧΟ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΟΡΥΖΩΝΕΣ Π. Κέκελης, Α. Παυλάτου-Βε, Γ. Στρουθόπουλος, Ν. Μονοκρούσος & <u>Β. Ασχονίτης</u>	276
ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΒΙΟΔΙΕΓΕΡΤΗ ΕΚΨΥΛΙΣΜΑΤΟΣ ΦΥΚΙΩΝ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΛΗΨΗ ΣΕΛΗΝΙΟΥ ΑΠΟ ΦΥΤΑ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ (<i>LACTUCA SATIVA</i>) ΠΟΥ ΑΝΑΠΤΥΧΘΗΚΑΝ ΣΕ ΑΣΒΕΣΤΟΥΧΟ ΕΔΑΦΟΣ <u>Ι. Ζαφειρίου</u> , Ε. Τρικόγλου Καρύκα, Κ. Κουνάνη, Δ. Γασπαράτος & Ι. Μάσσας.....	284
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΦΩΣΦΟΡΙΚΗΣ ΛΙΠΑΝΣΗΣ ΣΤΑ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΓΕΝΟΤΥΠΩΝ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΟΥ ΜΠΙΖΕΛΙΟΥ (<i>Pisum sativum</i>), ΒΙΚΟΥ (<i>Vicia sativa</i>) ΚΑΙ ΚΟΥΚΙΟΥ (<i>Vicia faba</i>) <u>Π. Παπακαλούδης</u> , Μ. Λάσκαρη & Χ. Δόρδας.....	296
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΕΙΣΡΟΩΝ ΣΤΑ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΥΟ ΥΒΡΙΔΙΩΝ ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΥ <u>Μ. Λάσκαρη</u> , Π. Παπακαλούδης, Γ. Μενεξές, Ι. Γκατζόλης, Η. Κάλφας & Χ. Δόρδας.....	305

Υδατικοί Πόροι

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΣΤΗΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΥ <u>Μ. Λάσκαρη</u> , Α. Μιχαλίτσης, Γ. Μενεξές, Ι. Γκατζόλης, Η. Κάλφας & Χ. Δόρδας.....	316
EVALUATION OF A DECISION SUPPORT SYSTEM FOR IRRIGATION MANAGEMENT FOR THE CASE OF A VERTZAMI WINE GRAPE ORCHARD IN NORTHWEST GREECE <u>A.G. Apostolopoulou</u> , Μ. Giannelos, Ρ. Baltzoi, Ν. Malamos & Ι.Λ. Tsirogiannis.....	324
ESTIMATION OF IRRIGATION WATER NEEDS FOR THE RESTORATION OF THE NORTH EVIA OLIVE GROOVES AFTER THE AUGUST 2021 FOREST FIRE: THE CASE OF AGIA ANNA <u>N. Malamos</u>	330
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΟΜΒΡΟΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΓΙΑ ΑΡΔΕΥΤΙΚΗ ΧΡΗΣΗ ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΗ	

ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΟΜΑΤΑΣ Π. Λόντρα, <u>Ι. Κοτσάτος</u> , Α. Θεοχάρης & Ν. Δέρκας.....	335
ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΕΙΚΤΩΝ ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΣΕ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΤΗΣ Π.Ε. ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ Ζ. Μπρόζου, <u>Π. Γεωργίου</u> & Δ. Καρπούζος.....	345
ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΟΣ ΕΜΠΕΙΡΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΤΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ ΑΠΟ ΓΥΜΝΟ ΕΔΑΦΟΣ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ Γ. Κάργας, <u>Σ. Πάλλη-Γραβάνη</u> , Α. Κοσίρη & Π. Λόντρα.....	354
ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΟΜΒΡΟΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΓΙΑ ΑΡΔΕΥΤΙΚΗ ΧΡΗΣΗ ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΜΠΙΓΚΟΝΙΑΣ Π. Λόντρα, <u>Ν. Θεοτοκάτος</u> , Α. Θεοχάρης & Ν. Δέρκας.....	362
ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΛΗΨΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΚΡΗΤΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΚΑΙΝΟΤΟΜΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ <u>Ν. Κουρνιαλάς</u> , Γ. Μοριανού, Α. Χλιαουτάκης, Α. Βουλγαράκης, Α. Αργυρίου, Ν. Παπαδόπουλος, Ε. Κόκκινου, Ι. Δαλιακόπουλος, Δ. Καλδέρης, Θ. Μανιός, Α. Παυλάκη & Α. Βαφείδης.....	370

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Εξοικονόμηση Ενέργειας

ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΥΘΗΑ ΜΕ ΑΤΜΟ ΓΙΑ ΚΑΛΥΨΗ ΑΝΑΓΚΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΑΠΟΡΡΙΠΤΟΜΕΝΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΤΟΥ CO ₂ ΤΩΝ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ <u>Β. Φιρφιρής</u> , Α. Μαρτζοπούλου, Ι. Zlatanovic & Θ.Κωτσόπουλος.....	375
ΜΑΖΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΘΕΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΩΣ ΠΗΓΗ ΕΥΕΛΙΞΙΑΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΥΠΟ ΤΗ ΣΥΝΔΕΣΗ ΕΝΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ – ΤΡΟΦΙΜΩΝ. ΜΙΑ ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ <u>Δ. Αυγουστάκη</u> , Γ. Ξύδης & Θ. Μπαρτζάνας.....	383
ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΑΙΚΗ ΕΝΩΣΗ <u>Π. Γιατσιδης</u> & Ζ. Ανδρεοπούλου.....	388

Περιβάλλον και Διαχείριση Αποβλήτων

ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΡΟΦΗΣΗΣ ΦΩΣΦΟΡΟΥ ΚΑΙ ΑΜΜΩΝΙΑΚΟΥ ΑΖΩΤΟΥ ΑΠΟ ΑΝΑΕΡΟΒΙΩΣ ΧΩΝΕΜΕΝΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΣΕ ΖΕΟΛΙΘΟ ΚΑΙ ΙΠΤΑΜΕΝΗ ΤΕΦΡΑ <u>Δ. Μητρογιαννης</u> , Μ. Ψυχογιού, Δ. Παλλές, Ε. Ι. Καμίτσος, Ν. Κούκουζας, Κ. Μαυρογόνατος & Ι. Μπαζιώτης.....	398
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ ΑΜΜΩΝΙΑΣ ΣΕ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΟΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΔΕΥΣΗΣ ΥΠΟ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΧΑΜΗΛΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΟΡΓΑΝΙΚΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ <u>Μ.Α. Τσιτσιμπίκου</u> , Χ. Τζένος & Θ. Κωτσόπουλος.....	402
CARBON FOOTPRINT OF BROILER MEAT PRODUCED WITH ALTERNATIVE PROTEIN SOURCES <u>V. Anestis</u> , T. Bartzanas & D. K. Papanastasiou.....	408
ΕΞΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΒΙΩΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΑΠΟΙΚΟΔΟΜΗΣΗΣ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗΣ ΛΟΓΩ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣ ΑΜΜΩΝΙΑΣ <u>Μ. Γάσπαρη</u> , L. Treu, N. Duan, Θ. Κωτσόπουλος, Ι. Angelidaki, S. Campanaro & Π. Γ. Κούγιας.....	412
ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΑΝΤΙΚΤΥΠΟΥ ΑΥΤΩΝ ΣΤΗ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΕΝΟΣ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ <u>Ε. Αλεξανδρόπουλος</u> , Β. Ανέστης & Θ. Μπαρτζάνας.....	416
ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT OF AN AQUACULTURE PRODUCTION SYSTEMS USING THE LIFE CYCLE APPROACH <u>A. Vatsanidou</u> , V. Anestis, I. Skoufos, A. Tzora & T. Bartzanas.....	420
ΕΥΡΕΣΗ ΒΕΛΤΙΣΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΣΤΙΚΗΣ ΙΛΥΟΣ ΜΕ ΥΠΕΡΚΡΙΣΙΜΗ ΕΚΡΗΞΗ CO ₂ ΜΕ ΣΚΟΠΟ ΤΗ ΜΕΓΙΣΤΗ ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ <u>Γ.Χ. Μήτρακα</u> , Κ. Κοντογιαννόπουλος, Ι. Τσιβιντζέλης, Κ. Τσιόπτσιας, Α. Ζουμπούλης & Π. Κούγιας.....	423

ON-DEMAND AMMONIA TOLERANT METHANOGENIC BIOAUGMENTATION INOCULA <u>I.A Fotidis, Y. Yan, M. Yan, D. Fu & I. Angelidaki</u>	428
ΑΣΤΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΚΑΙ ΕΝ ΔΥΝΑΜΕΙ ΤΟΞΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ ΤΗΣ COVID – 19, ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ: ΒΟΛΟΣ, ΕΛΛΑΔΑ <u>Π. Σ. Ασλανίδης & Ε. Ε. Γκόλια</u>	433
ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΟΣ ΑΝΤΙΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΕ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΛΗΨΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΔΙΑΒΡΩΤΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ (SPI) & ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΕΔΑΦΩΝ (TWI). ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ. <u>Α. Σπυρίδης, Α. Κωνσταντινίδης, Β. Κουτάλου & Δ. Δερβενιωτάκης</u>	440
ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΜΙΚΡΟΦΥΚΩΝ ΣΕ ΦΩΤΟΒΙΟΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΜΕ ΥΨΗΛΗ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΑΖΩΤΟ <u>Π. Ψαχούλια, Π. Αράπογλου, Ν. Τριάντη & Π. Σαμαράς</u>	451
ΚΙΝΗΤΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΦΥΚΟΥΣ SCHIZOCHYTRIUM LIMACINUM ΣΕ ΑΚΑΤΕΡΓΑΣΤΗ ΓΛΥΚΕΡΟΛΗ ΚΑΙ ΕΚΡΟΕΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ <u>Δ. Αντωνιάδης, Σ. Μπούρας, Γ. Κούντριας, Ι. Καραπαναγιωτίδης & Ν. Κατσούλας</u>	455
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΜΙΚΡΟΦΥΚΩΝ <u>Δ. Αντωνιάδης, Δ. Κ. Παπαναστασίου, Β. Ανέστης, Σ. Μπούρας & Ν. Κατσούλας</u>	463
DAM BREAK ANALYSIS USING HEC-RAS: THE CASE OF TRIANTAFYLLIA DAM IN NORTHERN GREECE <u>C. Mattas, P. Georgiou, D. Karpouzou & T. Tsapanos</u>	471

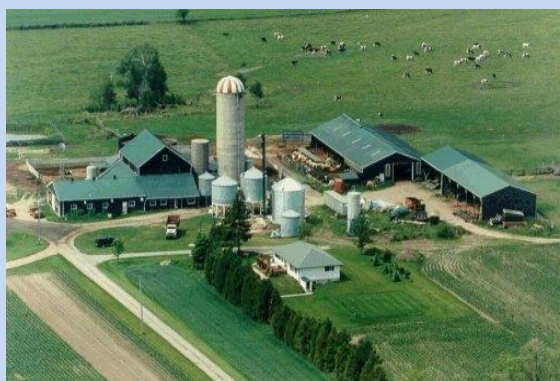
Γεωργικά Μηχανήματα – Εξοπλισμοί

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΜΙΚΡΟΨΕΚΑΣΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΣΕ ΑΜΠΕΛΙΑ <u>Κ. Δαγρές, Ν. Μυλωνάς, Β. Ψηρούκης, Μ.Γ. Κουτσιάρης, Γ. Μπουροδήμος & Σ. Φουντάς</u>	483
CAVITATION DETECTION ON CENTRIFUGAL IRRIGATION PUMPS, USING AUDIBLE SOUND SIGNAL AND COMPUTATIONAL INTELLIGENCE <u>M. Karagiouvanidis, X.E. Pantazi, V. Fragkos & D. Moshou</u>	491
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΕΙΦΟΡΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΩΝ ΠΡΑΚΤΙΚΩΝ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΣΚΛΗΡΟΥ ΣΙΤΟΥ <u>Α. Γιάκκα, Χ. Καβαλάρης, Χ. Καραμούτης, Κ. Θεοχαρίδης & Θ. Γέμτος</u>	498
CONSERVATION AGRICULTURE FOR SUSTAINABLE AND VIABLE COTTON PRODUCTION <u>C. Cavalaris, C. Karamoutis & A. Tsoutsas</u>	506
Πρόγραμμα συνεδρίου	515
Ευρετήριο συγγραφέων	521



**12^ο Πανελλήνιο Συνέδριο
Γεωργικής Μηχανικής**

ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ



ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΕΣΣΑΡΩΝ ΠΡΟΣΜΙΞΕΩΝ ΠΕΡΛΙΤΗ ΜΕ ΑΝΟΡΓΑΝΑ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΟΜΑΤΑΣ

Αναστασία Μπάρη, Χρυσούλα Παπαϊωάννου, Παναγιώτα Σπηλιωτοπούλου και Νικόλαος Κατσούλας

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος, Βόλος, nkatsoul@uth.gr

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία, εξετάστηκαν τέσσερα διαφορετικά μίγματα περλίτη, ιών κοκοφοίνικα, βερμικουλίτη και ζεόλιθου, ως εναλλακτικά υδροπονικά μέσα ανάπτυξης σε μια καλλιέργεια τομάτας. Οι φυσικοχημικές ιδιότητες των θρεπτικών διαλυμάτων απορροής, όπως είναι το pH, η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) και οι συγκεντρώσεις των ιόντων Na^+ και Ca^{2+} δεν επηρεάστηκαν από τον τύπο του υποστρώματος. Επίσης, δεν βρέθηκαν διαφορές στα παραγωγικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά της καλλιέργειας. Σημαντικές διαφορές όμως παρατηρήθηκαν στις συγκεντρώσεις των ιόντων K^+ , όπου οι υψηλότερες συγκεντρώσεις βρέθηκαν στο θρεπτικό διάλυμα απορροής των φυτών που αναπτύσσονταν στο μίγμα περλίτη, κοκοφοίνικα και ζεόλιθου. Επίσης, η ικανότητα συγκράτησης νερού βρέθηκε υψηλότερη σε όλους τους τύπους υποστρωμάτων που περιείχαν ίνες κοκοφοίνικα, χωρίς όμως να επηρεάζεται η αποδοτικότητα χρήσης του.

Λέξεις κλειδιά: υδροπονία, περλίτης, κοκοφοίνικας, βερμικουλίτης, ζεόλιθος

EVALUATION OF FOUR DIFFERENT MIXTURES OF PERLITE WITH INORGANIC AND ORGANIC MATERIALS ON A TOMATO CROP

Anastasia Bari, Panagiota Spiliotopoulou and Nikolaos Katsoulas

University of Thessaly, Department of Agriculture Crop Production and Rural Environment, Laboratory of Agricultural Constructions and Environmental Control, Volos, Greece, nkatsoul@uth.gr

Abstract

This study investigated mixtures of hydroponic perlite with coconut fibers, vermiculite and zeolite, as hydroponic growth media alternatives for a tomato crop. No differences were noticed among the treatments for the physicochemical properties of drain solutions such as pH, electrical conductivity (EC) values, Na^+ and Ca^{2+} concentrations. Also, no differences were found in yield and fruit quality characteristics. Significant differences were observed for K^+ concentrations, where the highest concentrations were found in drain solutions of perlite, zeolite and coconut mixtures. Also, the water holding capacity was found to be higher in all types of substrates that contained coconut fibers, without affecting the water use efficiency.

Key words: Hydroponics, perlite, coconut, vermiculite, zeolite

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η υδροπονία αποτελεί μια μέθοδο καλλιέργειας φυτών, η οποία χαρακτηρίζεται από την απουσία εδάφους και κατά την οποία το ριζικό σύστημα των φυτών αναπτύσσεται είτε απευθείας σε θρεπτικό διάλυμα, είτε σε κάποιο πορώδες υπόστρωμα. Η ανάπτυξη φυτών σε αδρανή υποστρώματα αποτελεί μια από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους καλλιέργειας, σε υδροπονικά συστήματα.

Οι κύριες λειτουργίες ενός υποστρώματος είναι η παροχή νερού, θρεπτικών συστατικών και οξυγόνου στο φυτό, καθώς και στήριξη (Ravin et al., 1999).

Συγκεκριμένα, ο υδροπονικός περλίτης παρέχει στην καλλιέργεια κατάλληλο αερισμό του ριζικού συστήματος, χαμηλή συγκράτηση νερού και διαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών σε σύγκριση με άλλα υποστρώματα.

Γενικά, έχει κλειστή κοκκομετρική δομή, με αποτέλεσμα το μεγαλύτερο μέρος του νερού να διατηρείται επιφανειακά και να απελευθερώνεται αργά. Ως εκ τούτου, ο περλίτης απαιτεί συχνές αρδεύσεις με σκοπό τη μείωση πιθανότητας υδατικής καταπόνησης (Maloura et al., 1992). Επίσης, διαθέτει χαμηλή ιοντοανταλλακτική ικανότητα ($0-1 \text{ mgL}^{-1}$). Ακόμη, αποτελεί ένα χημικά αδρανές και ανόργανο προϊόν με ουδέτερο pH, το οποίο δεν αποσυντίθεται.

Για τον λόγο αυτό ενσωματώνονται ολόένα και περισσότερα υλικά οργανικής προέλευσης στα υποστρώματα που έχουν κυρίως για βάση τους τον περλίτη. Τα υλικά που ενσωματώνονται συνήθως είναι ίνες κοκοφοίνικα, τύρφη, compost κ.ά.

Οι Permuzic et al. (1998), έδειξαν ότι η ποσότητα και η ποιότητα των καρπών τομάτας από φυτά που είχαν καλλιεργηθεί σε οργανικά υποστρώματα ήταν καλύτερη από αυτά που είχαν καλλιεργηθεί σε ανόργανα.

Τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά του μέσου ανάπτυξης σε συνδυασμό με τις καλλιεργητικές πρακτικές που εφαρμόζονται, προσδιορίζουν την τελική παραγωγή και ποιότητα των λαχανικών που παράγονται (Grunert et al., 2008; Olle et al., 2012).

Σε πολλές περιπτώσεις για την βελτίωση των ιδιοτήτων των υποστρωμάτων, έχει γίνει χρήση ορυκτών πετρωμάτων, κυρίως βερμικουλίτη και ζεόλιθου.

Σύμφωνα με τους Gao et al. (2010), ο βερμικουλίτης γενικά χρησιμοποιείται σε μίγματα υποστρωμάτων για την βελτίωση του αερισμού, της ικανότητας συγκράτησης νερού και την ιοντοανταλλακτική ικανότητα. Ο ζεόλιθος παρουσιάζει υψηλά επίπεδα απορρόφησης, συγκράτησης και αποδέσμευσης νερού, υψηλή ιοντοανταλλακτική ικανότητα (CEC) και υψηλή σταθερότητα έναντι στις αλλαγές του pH.

Έτσι, στόχος της εργασίας αυτής ήταν η μελέτη της επίδρασης τριών διαφορετικών προσμίξεων περλίτη με οργανικά (κοκοφοίνικα) ή ανόργανα (βερμικουλίτης, ζεόλιθος) υλικά στην ανάπτυξη και την παραγωγή της καλλιέργειας τομάτας στο θερμοκήπιο.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Εγκαταστάσεις και καλλιέργεια

Η αξιολόγηση των υποστρωμάτων διεξήχθη στις θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος, του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, στην περιοχή του Βελεστίνου ($39^{\circ} 22'$, $22^{\circ} 44'$, 85m).

Στο πλαίσιο της ερευνητικής μελέτης πραγματοποιήθηκε μια σειρά πειραματικών μετρήσεων που διήρκεσαν από τις 17/08/2020 έως τις 20/12/2020.

Για τη διεξαγωγή του πειράματος χρησιμοποιήθηκε ένα τροποποιημένο τοξωτό θερμοκήπιο με επιφάνεια 160 m^2 (20 m μήκος και 8 m πλάτος), μέγιστο ύψος στον κορφιά

4,1 m και ύψος ορθοστάτη 2,4 m. Η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία του αέρα ελέγχονταν αυτόματα με τη χρήση αισθητήρων ελέγχου κλίματος.

Τα φυτά τομάτας (*Solanum lycopersicum*) αναπτύχθηκαν απευθείας σε σάκους περλίτη ή μίγματος (33 L, NORDIA AGRO, Athens, Greece). Κάθε μεταχείριση αποτελούταν από 1 υδροπονικό κανάλι μήκους 13 μέτρων, πάνω στο οποίο τοποθετήθηκαν τα υποστρώματα. Σε κάθε υδροπονικό κανάλι εγκαταστάθηκαν 13 σάκοι του εκάστοτε υποστρώματος και κάθε σάκος περιλάμβανε 3 φυτά τομάτας (3 φυτά m⁻²). Η παροχή του θρεπτικού διαλύματος τροφοδοσίας στο ριζικό σύστημα των φυτών έγινε μέσω συστήματος στάγδην άρδευσης.

Ο έλεγχος της άρδευσης και της λίπανσης γινόταν με τη βοήθεια κεφαλής υδρολίπανσης η οποία ελεγχόταν μέσω Η/Υ.

2.2. Υποστρώματα

Για τη διεξαγωγή των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκαν 4 διαφορετικά είδη υποστρωμάτων υδροπονικού περλίτη με διάφορες προσμίξεις οργανικών και ανόργανων υλικών. Αναλυτικότερα, τα υποστρώματα που δοκιμάστηκαν ήταν:

- Υδροπονικός περλίτης (Μάρτυρας) (P)
- Υδροπονικός περλίτης με πρόσμιξη κοκκοφοίνικα (P-C)
- Υδροπονικός περλίτης με πρόσμιξη κοκκοφοίνικα και βερμικουλίτη (P-C-V)
- Υδροπονικός περλίτης με πρόσμιξη κοκκοφοίνικα και ζεόλιθου (P-C-Z)

2.3. Μετρήσεις

Στο σύνολο της καλλιεργητικής περιόδου, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις που αφορούσαν τις ιδιότητες του υποστρώματος, όπως είναι η ικανότητα συγκράτησης νερού, με τη μέθοδο Richards, αλλά και η απορρόφηση του θρεπτικού διαλύματος από την καλλιέργεια. Επίσης, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις με σκοπό τον προσδιορισμό των τιμών του pH, της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC), αλλά και των συγκεντρώσεων διάφορων ιόντων στο θρεπτικό διάλυμα απορροής των υποστρωμάτων. Ο προσδιορισμός των συγκεντρώσεων των ιόντων K⁺, Na⁺ και Ca²⁺, πραγματοποιήθηκε με τη χρήση φλογοφωτομέτρου.

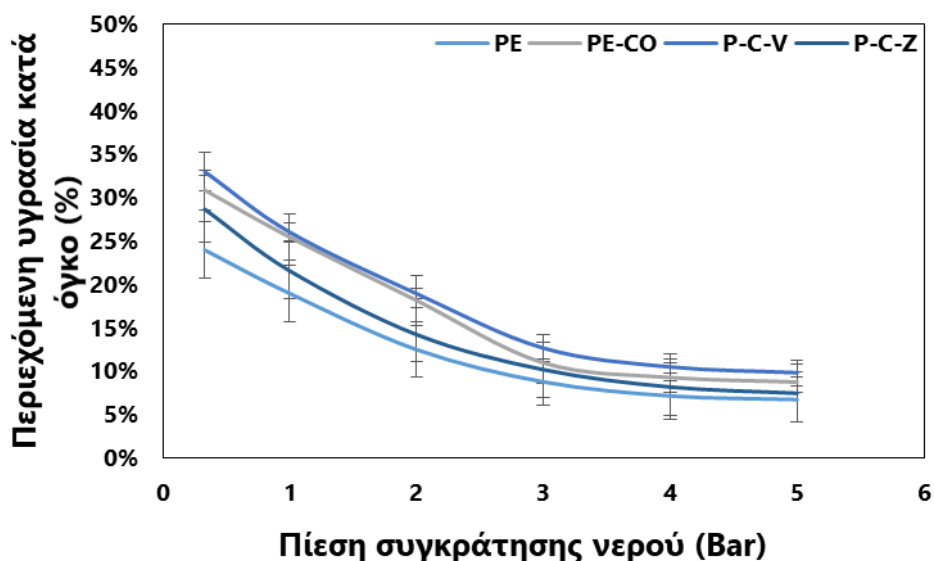
Οι μετρήσεις του ρυθμού φωτοσύνθεσης και της περιεχόμενης χλωροφύλλης των φύλλων πραγματοποιούνταν 1 φορά την εβδομάδα. Για κάθε μεταχείριση, επιλέχθηκαν 10 φυτά και για την μέτρηση προτιμήθηκαν νεαρά φύλλα, πλήρους ανάπτυξης. Για τις μετρήσεις της φωτοσύνθεσης χρησιμοποιήθηκε το LCpro+ 1.0 ADC (Bioscientific Ltd., Hoddesdon, Hertfordshire, UK) ενώ για τον προσδιορισμό της περιεχόμενης χλωροφύλλης των φύλλων χρησιμοποιήθηκε το Chlorophyll Meter SPAD -502 Plus (Konica Minolta Europe)

Παράλληλα, μελετήθηκαν τόσο η συνολική παραγωγή όσο και το μέσο βάρος των καρπών καθώς και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους, όπως τα διαλυτά στερεά, το pH, η οξύτητα του χυμού και το χρώμα των καρπών.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1. Ικανότητα συγκράτησης νερού

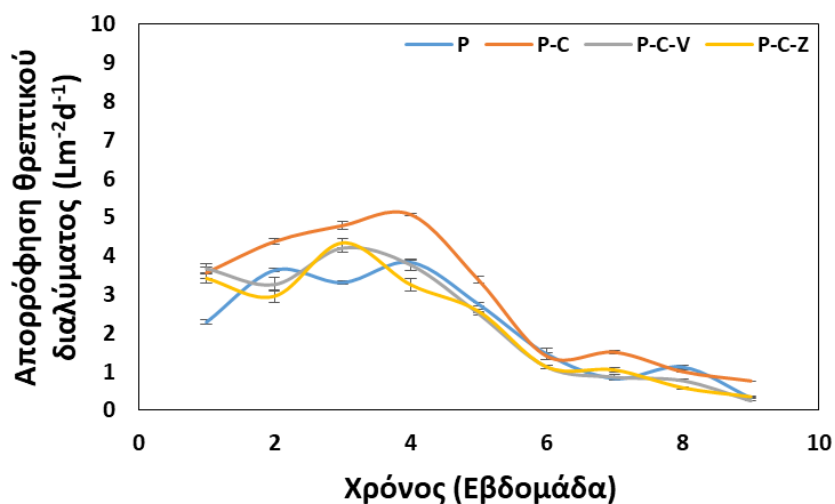
Στο Διάγραμμα 1 παρουσιάζεται η σχέση μεταξύ της περιεκτικότητας σε νερό κατά όγκο στα διάφορα υποστρώματα συναρτήσει της πίεσης συγκράτησης νερού από το υπόστρωμα. Φαίνεται ότι, η ικανότητα συγκράτησης του νερού από τον περλίτη βρέθηκε να είναι χαμηλότερη σε σχέση με των υπόλοιπων υποστρωμάτων. Παρόλα αυτά, οι τιμές της περιεχόμενης υγρασίας που καταγράφηκαν δεν διέφεραν σημαντικά μεταξύ των μεταχειρίσεων.



Διάγραμμα 1. Περιεχόμενη υγρασία (%) των υποστρωμάτων σε συνθήκες διαφορετικής πίεσης

3.2. Απορρόφηση νερού και θρεπτικών στοιχείων

Στο Διάγραμμα 2, παρουσιάζονται οι τιμές της απορρόφησης του θρεπτικού διαλύματος άρδευσης από την καλλιέργεια. Οι υψηλότερες τιμές απορρόφησης παρατηρήθηκαν για τα φυτά που αναπτύχθηκαν σε σάκους υδροπονικού περλίτη και κοκοφοίνικα και διέφεραν σημαντικά από αυτές των άλλων μεταχειρίσεων. Δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των τιμών που καταγράφηκαν για τις υπόλοιπες τρεις μεταχειρίσεις.



Διάγραμμα 2. Απορρόφηση θρεπτικού διαλύματος στο σύνολο της καλλιεργητικής περιόδου.

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται οι τιμές του pH, της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC), αλλά και των συγκεντρώσεων των κατιόντων καλίου (K^+), νατρίου (Na^+) και ασβεστίου (Ca^{2+}). Διαφορές παρατηρήθηκαν μόνο στις συγκεντρώσεις των ιόντων καλίου (K^+), εκεί όπου τα θρεπτικά διαλύματα απορρόφησης των υποστρωμάτων που περιείχαν μίγμα υδροπονικού περλίτη και ζεόλιθου εμφάνισαν τις μικρότερες συγκεντρώσεις.

Πίνακας 1. Ιδιότητες θρεπτικού διαλυμάτων απορροής

	P	P-C	P-C-V	P-C-Z
pH	7,05±0,27 ^a	7,06±0,34 ^a	6,95±0,48 ^a	7,00±0,37 ^a
EC (dSm ⁻¹)	2,04±0,24 ^a	2,20±0,29 ^a	1,96±0,25 ^a	1,96±0,22 ^a
K ⁺ (mmolL ⁻¹)	2,93±1,11 ^b	3,14±1,09 ^a	3,18±0,87 ^a	2,85±0,80 ^c
Na ⁺ (mmolL ⁻¹)	3,22±0,40 ^a	3,68±0,65 ^a	3,04±0,42 ^a	3,22±0,40 ^a
Ca ²⁺ (mmolL ⁻¹)	3,78±1,09 ^a	3,96±1,35 ^a	3,31±0,90 ^a	3,42±0,93 ^a

*Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων

3.3. Ρυθμός φωτοσύνθεσης και περιεχόμενη χλωροφύλλη φύλλων

Τα φυτά που αναπτύσσονταν σε υποστρώματα μίγματος περλίτη και ζεόλιθου παρουσίασαν μικρότερους φωτοσυνθετικούς ρυθμούς και διέφεραν σημαντικά από τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις. Ενώ διαφορές δεν παρατηρήθηκαν μεταξύ των τιμών της περιεχόμενης χλωροφύλλης των φύλλων, όπως φαίνεται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2. Ρυθμός φωτοσύνθεσης (μmol m⁻² s⁻¹) και περιεχόμενη χλωροφύλλη φύλλων (μmolm⁻²)

	P	P-C	P-C-V	P-C-Z
A (μmolm ⁻² s ⁻¹)	10,45±2,57 ^a	10,26±2,35 ^{ab}	9,78±1,77 ^{ab}	9,37±1,80 ^b
CCI (μmolm ⁻²)	51,17±2,53 ^a	51,94±2,21 ^a	51,49±1,98 ^a	51,01±2,24 ^a

*Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων

3.4. Παραγωγή και ποιότητα καρπών

Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται τα παραγωγικά και ποιοτικά στοιχεία της καλλιέργειας που προέκυψαν από το σύνολο των συγκομιδών. Δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές σε καμία από της παραμέτρους που εξετάστηκαν.

Πίνακας 3. Τιμές και διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων για τα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά που μελετήθηκαν

Υπόστρωμα	P	P-C	P-C-V	P-C-Z
Μέσο βάρος καρπού (g)	198,45±69,87 ^a	195,96±75,31 ^a	193,16±69,09 ^a	192,72±71,25 ^a
Παραγωγή (kg/φυτό)	2,76±0,13 ^a	2,30±0,06 ^a	2,28±0,07 ^a	2,38±0,11 ^a
pH χυμού	4,66±0,03 ^a	4,72±0,11 ^a	4,68±0,06 ^a	4,70±0,03 ^a
ΔΣΣ (%)	5,12±0,28 ^a	3,37±0,34 ^a	3,32±0,53 ^a	3,48±0,41 ^a
Οξύτητα	0,50±0,10 ^a	0,53±0,05 ^a	0,50±0,10 ^a	0,51±0,08 ^a
Chroma*	44,84±1,34 ^a	43,38±1,97 ^a	44,44±1,55 ^a	43,77±2,35 ^a
Σκληρότητα (N)	12,83±2,88 ^a	13,28±2,00 ^a	11,80±3,00 ^a	12,13±2,50 ^a
Ξηρή ουσία (%)	4,63±0,52 ^a	4,23±0,65 ^a	4,74±0,74 ^a	4,68±0,79 ^a

*Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η έλλειψη διαφορών μεταξύ των τιμών της απορρόφησης του θρεπτικού διαλύματος από τον περλίτη, όσο και από τους υπόλοιπους τύπους υποστρωμάτων με προσμίξεις κοκοφοίνικα, οφείλεται κυρίως στην ανομοιογενή κατανομή των επιμέρους συστατικών εντός του σάκου καθώς και την παρόμοια κοκκομετρική τους σύσταση.

Παρότι τα υποστρώματα μίγματος περλίτη και κοκοφοίνικα βρέθηκε ότι συγκρατούσαν μεγαλύτερες ποσότητες θρεπτικού διαλύματος από τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις, η αποτελεσματικότητα χρήσης νερού βρέθηκε χαμηλότερη. Την υψηλότερη αποτελεσματικότητα παρουσίασαν τα υποστρώματα περλίτη και αυτά που περιείχαν στη σύσταση τους ζεόλιθο.

Επίσης, παρά την υψηλή ιοντοανταλλακτική ικανότητα του βερμικουλίτη και του ζεόλιθου (Lai et al., 2017), δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές στις τιμές του pH, της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) και των συγκεντρώσεων των ιόντων Na^+ και Ca^{2+} των θρεπτικών διαλυμάτων άρδευσης και απορροής. Αναμενόμενες διαφορές όμως, παρατηρήθηκαν στις συγκεντρώσεις των ιόντων K^+ , χωρίς αυτές να παρουσιάζονται σταθερά στις ημερομηνίες που μελετήθηκαν. Η παρατήρηση αυτή μπορεί να αποδοθεί στα χαμηλά ποσοστά πρόσμιξης των παραπάνω ορυκτών εντός των υποστρωμάτων.

Όσον αφορά τα παραγωγικά χαρακτηριστικά της καλλιέργειας, βρέθηκε ότι τα φυτά τομάτας που αναπτύχθηκαν σε υποστρώματα περλίτη παρουσίασαν υψηλότερες αποδόσεις σε σχέση με τα υπόλοιπα υποστρώματα που περιείχαν προσμίξεις κοκοφοίνικα, χωρίς όμως οι τιμές αυτές να διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους. Τα αποτελέσματα αυτά, έρχονται σε συμφωνία με τα αυτά των Ghehsareh et al., 2011; Grunert et al., 2008; Olle et al., 2012), οι οποίοι επίσης αναφέρουν ότι η προσθήκη ζεόλιθου σε μίγματα περλίτη δεν φαίνεται να βελτιώνει την απόδοση των φυτών.

Παράλληλα, παρατηρήθηκε ότι ο τύπος του υποστρώματος δεν επηρεάζει το pH, τα ολικά στερεά σάκχαρα, την οξύτητα, τις χρωματικές παραμέτρους και τα υπόλοιπα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών τομάτας και έρχεται επίσης σε συμφωνία με τα αποτελέσματα των Olle et al., 2012; Islam et al., 2002; Kobryn et al., 2002.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες για τη μείωση των εισροών, και κυρίως της ποσότητας του νερού που καταναλώνεται σε υδροπονικά συστήματα καλλιέργειας, είναι η κατάλληλη επιλογή του υποστρώματος.

Τα χαρακτηριστικά του υποστρώματος που σχετίζονται με την ικανότητα συγκράτησης του νερού και των θρεπτικών στοιχείων είναι μείζονος σημασίας για την ομοιόμορφη διαβροχή του σάκου, καθώς αυτό θα οδηγήσει στην ομοιόμορφη ανάπτυξη της καλλιέργειας.

Συμπερασματικά, η χρήση υποστρωμάτων που αποτελούνταν από μίγματα περλίτη και κοκοφοίνικα, κυρίως, παρουσίασε υψηλότερη ικανότητα συγκράτησης νερού και οδήγησε σε μεγαλύτερη απορρόφηση θρεπτικού διαλύματος από την καλλιέργεια, ενώ επίσης δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές στις περισσότερες από τις φυσιολογικές παραμέτρους των θρεπτικών διαλυμάτων απορροής που μελετήθηκαν.

Η χρήση τέτοιου τύπου υποστρωμάτων μπορεί να οδηγήσει στη μείωση της ποσότητας αλλά και του ολικού κόστους των εισρέων που απαιτούνται για την ολοκλήρωση μιας υδροπονικής καλλιέργειας, το οποίο μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος τέτοιου τύπου καλλιεργειών.

6. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η εργασία υλοποιήθηκε στο πλαίσιο του συμφωνητικού συνεργασίας/Ανάθεσης έργου μεταξύ της εταιρείας NORDIA AE και του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Gao H. B., Zhang T. J., Lv G. Y., Zhang G. H., Wu X. L., Li J. R., Gong B. B., 2010. *Effects of different compound substrates on growth, yield and fruit quality of cucumber*. Acta Horticulturae 856, 173–180.
- Grunert O., Perneel M., Vandaele S., 2008. *Peat-based organic growbags as a solution to the mineral wool waste problem*. Mires and Peat 3, 1–5.
- Maloupa, E., Mitsios, I., Martinez, P.F., Bladenopoulou, S., 1992. *Study of substrate use in Gerbera soilless culture grown in plastic greenhouses*. Acta Hort. 323, 139–144.
- Olle, M., Ngouajio, M., Siomos, A., 2012. *Vegetable quality and productivity as influenced by rowing medium: a review*. Agriculture 99, 399–408.
- Raviv, M., Wallach, R., Silber, A., Medina, Sh., Krasnovsky, A., 1999. *The effect of hydraulic characteristics of volcanic materials on yield of roses grown in soilless culture*. J. Am. Soc. Hort. Sci. 124, 205–209.
- Premuzic Z, Bargiela M, Garcia A, Rendina A and Iorio A, 1998. *Calcium, iron, potassium, phosphorus, and vitamin C content of organic and hydroponic tomatoes*. HortScience 33, 255–257.

ΧΡΗΣΗ ΒΙΟΦΙΛΤΡΩΝ ΚΑΙ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΩΝ ΣΕ ΠΤΗΝΟΤΡΟΦΕΙΑ

Κ. Μπαξεβάνου^{*1}, Δ. Φείδαρος¹, Η. Γιάννενας², Ελ. Μπόνος³, Ι. Σκούφος³

¹ΙΒΟ/ΕΚΕΤΑ, Δ.Γεωργιάδου 118, 38333 Βόλος, Ελλάδα

²Εργαστήριο Διατροφής, Τμήμα Κτηνιατρικής, Σχολή Επιστημών Υγείας, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα

³Εργ. Επιστ. Ζωικής Παραγωγής, Διατροφής και Βιοτεχνολογίας, Τμήμα Γεωπονίας, ΠΙ, Άρτα, Ελλάδα
cbaxev@gmail.com

Περίληψη

Τα πτηνοτροφεία είναι κλειστά κτηνοτροφικά κτήρια στα οποία εφαρμόζονται ευρέως αυτοματισμοί ενώ παράλληλα υπάρχει ανάγκη να μειωθεί η όχληση που προκαλούν στο περιβάλλον τους από τις οσμές που περιέχει ο αέρας που απομακρύνεται από αυτά. Μία μέθοδος απόσμησης του αέρα αυτού είναι η χρήση βιοφίλτρων, η οποία στα πτηνοτροφεία απαιτεί κατασκευαστικές διαμορφώσεις πέραν των συμβατικών πρακτικών. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η χρήση των βιοφίλτρων σε πτηνοτροφεία, δίνοντας αρχικά γενικές πληροφορίες και εξειδικεύοντας τα χαρακτηριστικά τους σε πτηνοτροφεία σε ότι αφορά την κατασκευή και εγκατάστασή τους αλλά και τη λειτουργία τους, καταλήγοντας σε χρήσιμα συμπεράσματα και γενικές οδηγίες. Επιπλέον δίνεται μια επισκόπηση των αυτοματισμών που συναντώνται σε πτηνοτροφεία. Η χρήση αυτοματισμών στα συστήματα ύδρευσης και τροφοδοσίας αποτελεί μια ευρέως διαδεδομένη και καλά γνωστή πρακτική. Ωστόσο το ζήτημα της καταγραφής και παρακολούθησης του μικροκλίματος καθώς και η διαχείριση αυτού, αν και εφαρμόζεται ευρέως στις νέες μονάδες, έχει σημαντικά περιθώρια βελτίωσης.

Λέξεις κλειδιά: πτηνοτροφείο, βιοφίλτρο, αυτοματισμοί, σχεδιασμός

USE OF BIOFILTERS AND AUTOMATION IN POULTRY FARMS

C. Baxevanou^{1*}, D. Fidaros¹, I. Giannenas², E. Bonos³, I. Skoufos³

¹IBO/CERTH-Hellas, Volos 38333, Greece

²Lab. of Nutrition, School of Veter. Medicine, Faculty of Health Sciences, AUTH, Thessaloniki, Greece

³Lab. of Animal Production, Nutrition. and Biotechnology, School of Agriculture, Uoi, Arta, Greece
cbaxev@gmail.com

Abstract

Poultry facilities are closed livestock buildings where automation is widely applied, while at the same time there is a need to reduce the nuisance, caused to their environment by the odors contained in the air that is removed from them. One method of deodorizing this air is the use of biofilters, which in poultry farms require construction configurations beyond the conventional practices. The present work presents the use of biofilters in poultry farms, giving initially general information and specifying their characteristics in poultry farms in terms of construction, installation and their operation, concluding with useful conclusions and general instructions. In addition, an overview of the automation found in poultry farms is given. The use of automation in water and food supply systems is a widespread and well-known practice. However, the issue of microclimate recording and monitoring as well as its management, although widely applied in new units, has considerable room for improvement.

Keywords: poultry farms, biofilter, automations, design

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα πτηνοτροφεία είναι κλειστά κτηνοτροφικά κτήρια στα οποία εφαρμόζονται ευρέως αυτοματισμοί, μειώνοντας το περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα, ενώ παράλληλα υπάρχει ανάγκη να μειωθεί και η όχληση στο γύρω από αυτά χώρο.

Τα πτηνοτροφεία απαιτούν αερισμό όχι μόνο για τον κλιματισμό τους αλλά και για την απομάκρυνση αερίων ρύπων. Σύμφωνα με τον (O Neil et al., 1992) για ένα πτηνό των 3 kg απαιτούνται 0.58 m³/h αέρα για την απομάκρυνση της θερμότητας (παροχή η οποία θεωρείται και όλες τις άλλες ανάγκες αερισμού για απομάκρυνση υγρασίας, ρύπων, οσμών και προσαγωγή νωπού αέρα). Ο αέρας που απομακρύνεται από αυτά έχει ενοχλητικές οσμές οι οποίες μεταφέρονται στο γειτονικό περιβάλλον και αποτελούν σημαντικό παράγοντα ρύπανσης και όχλησης. Μία μέθοδος απόσμησης του αέρα που απομακρύνεται από ένα κτηνοτροφικό κτήριο είναι η χρήση βιοφίλτρων. Ωστόσο η χρήση βιοφίλτρων στα πτηνοτροφεία απαιτεί κατασκευαστικές διαμορφώσεις πέραν των συμβατικών πρακτικών.

Τα πτηνοτροφεία γίνονται όλο και πιο αυτοματοποιημένες εγκαταστάσεις με συστήματα παρακολούθησης να ενσωματώνονται σε ολοκληρωμένα συστήματα ελέγχου. Αυτά τα συστήματα ελέγχου είναι δυνατό αφενός μεν να καθορίζουν τη λειτουργία διαφόρων συστημάτων (τροφοδοσίας, κλιματισμού, αερισμού, φωτισμού κλπ) αφετέρου δε να καταγράφουν τη χρονική εξέλιξη κλιματικών παραμέτρων αλλά και τη χρονική εξέλιξη της λειτουργίας του ΗΜ εξοπλισμού. Η χρήση αυτών των συστημάτων έχει τα εξής πλεονεκτήματα: α) Εξασφαλίζει βέλτιστες περιβαλλοντικές συνθήκες, β) Εξασφαλίζει βέλτιστη θρέψη και παροχή ύδατος, γ) Μειώνει την απαιτούμενη χειρωνακτική εργασία, δ) Μειώνει το κόστος εκτροφής, ε) Μειώνει την κατανάλωση ενέργειας, στ) Βελτιώνει την ποιότητα του τελικού προϊόντος και οδηγεί σε παραγωγή τυποποιημένων προϊόντων, ζ) Επιτρέπει την παρακολούθηση και τον έλεγχο της λειτουργίας από απόσταση.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η χρήση των βιοφίλτρων σε πτηνοτροφεία για απόσμηση του αέρα, δίνοντας αρχικά γενικές πληροφορίες για τη χρήση τους σε κτηνοτροφικά κτήρια και εξειδικεύοντας τα χαρακτηριστικά τους σε πτηνοτροφεία τόσο σε ότι αφορά την κατασκευή και εγκατάσταση αυτών όσο και σε ότι αφορά τη λειτουργία τους, καταλήγοντας σε χρήσιμα συμπεράσματα και γενικές οδηγίες. Επίσης δίνεται και μια επισκόπηση των αυτοματισμών που συναντώνται σε πτηνοτροφεία. Των ιδιοτήτων που πρέπει να αντιμετωπιστούν καθώς και δυνατοτήτων βελτίωσής τους.

2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ

2.1 Χρήση βιοφίλτρων στα πτηνοτροφεία

2.1.1 Γενικά για βιοφίλτρα

Το βιοφίλτρο θεωρείται η πιο φθηνή τεχνολογία απόσμησης του αέρα αερισμού πτηνοτροφείων με κόστος της τάξης του 0.21 €/kg πτηνού (O' Neil et al., 1992). Το βιοφίλτρο είναι απλά ένα στρώμα από οργανικό υλικό, συνήθως μίγμα από κομποστ και ροκανίδια ξύλου ή θραύσματα, με πάχος 25 – 45 cm. Καθώς ο αέρας περνάει μέσα από το βιοφίλτρο τα μικρόβια του οργανικού υλικού μετατρέπουν τα οσμηρά αέρια σε CO₂ και νερό.

Αρχικά τα βιοφίλτρα χρησιμοποιήθηκαν για να μειωθεί η αμμωνία που εκπέμπεται από κτηνοτροφικές εγκαταστάσεις (Van der Heyden et al., 2015). Στη συνέχεια τέθηκαν και οι απαιτήσεις μείωσης και των οσμών και των σωματιδίων. Ωστόσο υπάρχει κίνδυνος τα βιοφίλτρα να παράγουν N₂O δεδομένου ότι υπάρχουν βακτηρίδια νιτροποίησης. Διαπιστώθηκε ότι το 10-40% του εισερχόμενου NH₃-N μετατράπηκε σε N₂O με μέση παραγωγή περίπου 1 g [N₂O]/m³h και αυτό αποδόθηκε σε ατελή απονιτροποίηση σε

στάσιμες ζώνες όπου εξαντλείται το οξυγόνο. Για το λόγο αυτό τα βιοφίλτρα δε θεωρούνται κατάλληλα για επεξεργασία αέρα απευθείας από το ζώο. Η πρόσφατη νομοθεσία δεν επιτρέπει τη χρήση βιοφίλτρων από μόνα τους ως τεχνική μείωσης της αμμωνίας (από 15 – 72%). Σε ότι αφορά την απομάκρυνση λεπτής σκόνης τα βιοφίλτρα έχει μια καλή μέση απόδοση της τάξης του 73%, όταν όμως πρέπει να αντιμετωπιστούν υψηλές συγκεντρώσεις σκόνης μόνο με βιοφίλτρο τότε υπάρχει κίνδυνος φραξίματος.

Ωστόσο τα βιοφίλτρα έχουν αποδειχθεί πολύ αποτελεσματικά στη μείωση των οσμών με αποδόσεις παραπάνω από 75%. Συνεπώς συνιστάται πρώτα να χρησιμοποιείται ένας χημικός καθαριστής αέρα για να μειώσει την αμμωνία και μετά ο αέρας περνάει από ένα βιοφίλτρο για να μειωθεί η οσμή. Πριν από αυτά ο αέρας μπορεί να περάσει από μια κουρτίνα νερού για να μειωθεί η σκόνη και έτσι να αποφευχθεί το φράξιμο.

Τέλος κάποια βιοφίλτρα σχεδιάζονται έτσι ώστε να απομακρύνουν μεθάνιο χρησιμοποιώντας οξειδωτικά-μεθάνιου βακτήρια ή μεθανότροφα (MOB). Οι μελέτες με τέτοια βακτήρια εντοπίζονται σε βιολογικά φίλτρα που χρησιμοποιούν κομπόστ ή χύμα ως οργανικό φίλτρο και όχι ξύλο.

2.1.2 Βασικά στοιχεία βιοφίλτρων – απόδοση βιοφίλτρων

Τα βασικά στοιχεία ενός βιοφίλτρου είναι: α) ανεμιστήρας ώθησης του αέρα αερισμού για να περάσει μέσα από το βιοφίλτρο, β) σωλήνωση καθοδήγησης του αέρα από το κτήριο στον αεροθάλαμο-συλλέκτη, γ) αεροθάλαμος-συλλέκτης, δ) βιοφίλτρο. Τα βιοφίλτρα διακρίνονται σε α) οριζόντια και κατακόρυφα, καθώς και σε β) ανοιχτά και κλειστά.

Τα οριζόντια απαιτούν κατάληψη μεγαλύτερης περιοχής αλλά είναι πιο φτηνά από τα κατακόρυφα. Τα οριζόντια διακρίνονται σε ρηχά με βάθος <0.45 m και σε βαθιά με βάθος <0.75 m (Nicolai and Schmidt, 2005).

Τα ανοιχτά βιοφίλτρα είναι τα πιο συνηθισμένα και τοποθετούνται έξω από τα κτήρια. Τα κλειστά χρησιμοποιούνται για μικρότερες παροχές και έχουν ύψος 0.6 – 0.9 m αλλά είναι πιο ακριβά. Ένα ανοιχτού τύπου βιοφίλτρο αποτελείται από έναν μηχανικά αεριζόμενο χώρο με εκπομπές βιοδιασπόμενων στοιχείων, ένα σύστημα χειρισμού αέρα ώστε να καθοδηγείται ο αέρας που απάγεται στο βιοφίλτρο, μια υποδομή που να κρατάει το υλικό του βιοφίλτρου πάνω από το αεροθάλαμο και ένα πορώδες βιοφίλτρο πάνω από τον αεροθάλαμο.

Το βιοφίλτρο πρέπει να σχεδιάζεται ώστε να μπορεί να επεξεργαστεί τη μέγιστη αναμενόμενη παροχή αέρα. Οι ανεμιστήρες πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε να είναι σε θέση να απάγουν την ποσότητα αέρα που πρέπει προκειμένου να εξυπηρετηθεί το κτηνοτροφικό κτήριο και να παρέχει και την απαιτούμενη πτώση πίεσης για να κινηθεί ο αέρας μέσα στο κτήριο και μέσα στο σύστημα του βιοφίλτρου. Η πτώση πίεσης σε ένα κτηνοτροφικό κτήριο είναι 10 – 30 Pa. Η πτώση πίεσης μέσα στο βιοφίλτρο κυμαίνεται από 25 έως 250 Pa (Nicolai and Schmidt, 2005).

Το υλικό πλήρωσης των βιοφίλτρων είναι το πιο σημαντικό συστατικό που καθορίζει τη λειτουργία τους. Βασικά χαρακτηριστικά των υλικών του βιοφίλτρου είναι α) το πορώδες, β) η ικανότητα κατακράτησης υγρασίας, γ) το περιεχόμενο σε θρεπτικά συστατικά και δ) ο ρυθμός αποσύνθεσης (Nicolai and Schmidt, 2005).

Οι Tymczynska et al. 2007 εξέτασαν την αποτελεσματικότητα διαφόρων οργανικών και ορυκτών-οργανικών υλικών για τον καθαρισμό του αέρα που προέρχεται από εξαερισμό εκκολαπτηρίου πουλερικών. Εξετάστηκαν τρία διαφορετικά υποστρώματα βιοφίλτρων και καταγράφηκε η αποτελεσματικότητα απομάκρυνσης σκόνης, βακτηρίων και βακτηριακής ενδοτοξίνης. Επίσης μελετήθηκαν οι μικροβιολογικές ιδιότητες των υποστρωμάτων. Όλα τα

εξεταζόμενα υλικά αποδείχθηκαν αρκετά αποτελεσματικά στη μείωση των επιπέδων των βακτηρίων, μετρίως αποτελεσματικά στην απομάκρυνση της σκόνης και πολύ λίγο αποτελεσματικά στη μείωση των βακτηριακών ενδοτοξινών. Το υπόστρωμα που ήταν πιο αποτελεσματικό στην διατήρηση των βιοαερολίων ήταν το οργανικό-ορυκτό μέσο που περιέχει 20% halloysite ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$), 40% λίπασμα και 40% τύρφης.

Σύμφωνα με την εργασία των Maurer et al. 2016 τα βιοφίλτρα στα πτηνοτροφεία προσφέρουν μείωση των εκπομπών: α) NH_3 κατά 51%, β) H_2S κατά 80%, γ) Οσμή κατά 67% και δ) PM κατά 68%. Οι Shah et al., 2006 εξέτασαν και αξιολόγησαν ένα βιοφίλτρο ως προς την ικανότητά του να απομακρύνει αμμωνία από την απαγωγή αέρα ενός πτηνοτροφείου. Το βιοφίλτρο ήταν εξοπλισμένο με ένα φίλτρο κομποστ για την απομάκρυνση της NH_3 και ένα CaO φίλτρο για την απομάκρυνση CO_2 . Η απομάκρυνση αυτών των ρύπων επιτρέπει την επεξεργασία του απαγόμενου αέρα με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να επιστρέψει στο θάλαμο μειώνοντας το θερμικό φορτίο. Κατά τις πρώτες 17 ημέρες η μείωση της NH_3 ήταν 97%. Σε σύγκριση με ένα βιοφίλτρο σχεδιασμένο μόνο για NH_3 το υπερδιαστασιοποιημένο βιοφίλτρο θα μπορούσε να παρέχει επιπλέον θερμότητα στον αέρα μέσω της εξωθερμικής αντίδρασης στο κομποστ. Έτσι θα μπορούσε να μειώνει την κατανάλωση ενέργειας. Με βάση αυτή η μελέτη ένας θάλαμος με 27000 πτηνά θα χρειαζόταν ένα φίλτρο κομποστ $34 m^3$.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι δεδομένου ότι η αποτελεσματικότητα εξαρτάται από την ικανότητα των μικροοργανισμών συνήθως τις πρώτες εβδομάδες λειτουργίας η απόδοση είναι χαμηλή. Συνήθως για κτηνοτροφικά κτήρια μια καλή αναλογία κομποστ και ροκανίδια είναι από 40:60 – 20:80.

2.1.3 Εγκατάσταση βιοφίλτρων σε πτηνοτροφεία

Για να χρησιμοποιηθεί ένα βιοφίλτρο θα πρέπει ο αέρας να εγκαταλείπει το κτηνοτροφικό κτήριο με τη μορφή ρεύματος με κάποια ταχύτητα και από συγκεκριμένη έξοδο. Συνεπώς θα πρέπει το κτήριο να είναι μηχανικά αεριζόμενο. Μέχρι στιγμής σύμφωνα με τη διαθέσιμη βιβλιογραφία βιοφίλτρα έχουν εφαρμοστεί σε κτηνοτροφικά κτήρια υποπίεσης με ανεμιστήρες απαγωγής αέρα. Σε αυτά τα κτήρια σε κάθε ανεμιστήρα απαγωγής αέρα συνδέεται ένας αγωγός ο οποίος οδηγεί τον αέρα σε έναν αεροθάλαμο κάτω από το υλικού του βιοφίλτρου. Αν υπάρχει πολλή σκόνη στον αέρα τότε υπάρχει ανάγκη προηγούμενης επεξεργασίας του αέρα ώστε να αποφευχθεί το φράξιμο του βιοφίλτρου.

Εγκατάσταση βιοφίλτρου σε υπάρχοντα κτήρια συνήθως απαιτεί αντικατάσταση των υπάρχοντων ανεμιστήρων απαγωγής, προκειμένου να εξασφαλιστεί αρκετή στατική πίεση για τον αερισμό του κτηρίου και για να υπερνικηθεί η πτώση πίεσης διαμέσου του φίλτρου.

Σε κτήρια φυσικού αερισμού είναι δυνατό να τοποθετηθούν βιοφίλτρα μόνο στις περιπτώσεις που η κοπριά συλλέγεται κάτω από το κτήριο με μηχανικό αερισμό του χώρου συγκέντρωσης της κοπριάς. Όμως σε αυτήν την περίπτωση δε περνάει μέσα από το βιοφίλτρο όλος ο αέρας που εγκαταλείπει το κτήριο. Συνεπώς η απόσπηση κυρίως το καλοκαίρι είναι μόνο μερική. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα όταν το μεγαλύτερο τμήμα του αέρα αερισμού (95%) απομακρύνεται μέσω των ανεμιστήρων των υπόγειων χώρων συλλογής κοπριάς η απόσπηση είναι δυνατή με αυτή τη μέθοδο. Ένας τρόπος να βελτιωθεί αυτό είναι η αύξηση της ισχύος των ανεμιστήρων των υπόγειων χώρων συλλογής κοπριάς.

2.1.4 Χρήση βιοφίλτρων σε πτηνοτροφεία

Η αποτελεσματικότητα του βιοφίλτρου εξαρτάται κυρίως από το χρόνο παραμονής των αερίων μέσα στο βιοφίλτρο (χρόνος επαφής) και την περιεκτικότητα αυτού σε υγρασία. Ο χρόνος επαφής είναι μέρος του σχεδιασμού του βιοφίλτρου ενώ η υγρασία εξαρτάται από τη διαχείριση. Το μέγεθος (εμβαδό εγκατάστασης) εξαρτάται κυρίως από την παροχή του αέρα που θα διαχειριστεί. Ένα τυπικό βιοφίλτρο χρειάζεται $4.5 - 8 \text{ m}^2$ για παροχή $0.45 \text{ m}^3/\text{s}$ Schmidt et al., 2020, ενώ ο συνιστώμενος χρόνος παραμονής είναι 3 s Nicolai et al., 2019).

Οι Ebona and Lanuzo 2017, έχουν αναπτύξει ένα βιοφίλτρο για ένα πτηνοτροφείο τύπου τούνελ, χαμηλού κόστους και φιλικό προς το περιβάλλον βιοφίλτρο, κατασκευασμένο από τοπικά διαθέσιμα υλικά (Φιλιππίνες). Ο αεροθάλαμος υποδιαιρείται σε 4 τμήματα που χωρίζονται από παραπετάσματα που φιλοξενούν διάφορα φίλτρα. Αυτή η σειρά χωρισμάτων σχεδιάστηκε ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαφορετικής πυκνότητας υλικά βιοφίλτρου. Ο ανεμιστήρας απαγωγής έχει διάμετρο 30.48 cm, αναρροφά τον αέρα από το χώρο και τον σπρώχνει τον αέρα μέσα στο φίλτρο με παροχή 230 cfm.

Ένα σημαντικό ζήτημα στη χρήση του βιοφίλτρου είναι η υγρασία του. Γενικά συστήνεται υγρασία για το υλικό του βιοφίλτρου από 40 – 65%. Αν το υλικό είναι κομπόστ τότε βέλτιστη υγρασία θεωρείται το 50%. Κατά τους θερινούς μήνες είναι δυνατό να εξατμιστεί το νερό και να χρειαστεί να προστεθεί με καταβρεκτήρες. Σε περιπτώσεις έντονης βροχόπτωσης το υλικό μπορεί να απορροφήσει το νερό, κάτι που θα δημιουργούσε υγρά απόβλητα με μεγάλη συγκέντρωση σε νιτρικά. Σύμφωνα με έρευνες το πρόβλημα εμφανίζεται για βροχόπτωση περισσότερη από 23 cm σε 24 ώρες. Άρα συνιστάται ένα υπόβαθρο από τσιμέντο ή πλαστικό φύλλο για να κρατάει αυτά τα απόβλητα να μη διοχετευτούν προς το έδαφος.

Οι μικροοργανισμοί που βρίσκονται στο υλικό των βιοφίλτρων λειτουργούν σε ένα εύρος θερμοκρασιών από 20 – 30 C. Το χειμώνα με τις χαμηλότερες θερμοκρασίες η δραστηριότητα των μικροοργανισμών μειώνεται αλλά ταυτόχρονα μειώνεται και η παροχή αερισμού. Τα περισσότερα βιοφίλτρα κρατούν θερμοκρασίες πάνω από 0 σε όλο το χειμώνα αφού διέρχεται συνέχεια από αυτά ο θερμός αέρας του πτηνοτροφείου (Ebona and Lanuzo, 2017).

Ο σχεδιασμός και η κατασκευή των βιοφίλτρων θεωρείται σχετικά εύκολος και φτηνός. Το κόστος εξαρτάται από το σχεδιασμό και τα υλικά και κυμαίνεται από 55 – 80 €/1000 m^3/h (Schmidt et al., 2020). Το ετήσιο κόστος συντήρησης ενός βιοφίλτρου αφορά την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, την προσθήκη υγρασίας στο υλικό με ψεκασμό με νερό και την αντικατάσταση του υλικού του στρώματος κάθε πέντε χρόνια. Ο χρόνος ζωής είναι 5- 8 έτη.

Η ανάπτυξη ζιζανίων στην επιφάνεια του βιοφίλτρου μπορεί να μειώσει την αποτελεσματικότητα της επεξεργασίας περιορίζοντας την ανταλλαγή οξυγόνου. Οι ρίζες μπορούν να συμβάλλουν στο φράξιμο των πόρων του βιοφίλτρου. Απαιτείται, συνεπώς, διαρκής αποτελεσματικός έλεγχος ζιζανίων και τρωκτικών.

Με το χρόνο το βιοφίλτρο αρχίζει να φράζει αυξάνοντας την πτώση πίεσης με αποτέλεσμα να μειώνεται η παροχή και συνεπώς χειροτερεύει ο αερισμός του πτηνοτροφείου. Τα περισσότερα βιοφίλτρα πρέπει να αντικατασταθούν μέσα σε 3 με 5 χρόνια ανάλογα με το ποσοστό σε σκόνη που υπάρχει στον αέρα του κτηνοτροφικού κτηρίου. Αν η πτώση πίεσης αυξηθεί κατά 50% τότε θα πρέπει να αντικατασταθεί το υλικό (Ebona and Lanuzo, 2017).

2.2 Χρήση αυτοματισμών στα πτηνοτροφεία

2.2.1 Αυτοματισμοί για ύδρευση – τροφοδοσία πτηνοτροφείων

Με τους αυτοματισμούς του συστήματος ύδρευσης επιχειρείται να ικανοποιηθούν τρεις στόχοι: α) δυνατότητα παροχής νερού ανάλογα με τη ζήτηση, β) κατάλληλη προεπεξεργασία του παρεχόμενου νερού και γ) καταγραφή της κατανάλωσης. Ο πρώτος στόχος συνήθως καλύπτεται με την προσθήκη στην αρχή της γραμμής ύδρευσης ενός ρυθμιστή πίεσης με ένδειξη της πίεσης μέσω στήλης ύδατος, Ο δεύτερος στόχος αφορά την παροχή νερού σε κατάλληλη θερμοκρασία. Αυτό μπορεί να γίνει με θέρμανση του νερού του δικτύου με ηλεκτρική αντίσταση η οποία μπορεί να τίθεται σε λειτουργία με προκαθορισμένη θερμοκρασία δικτύου και να παύει να λειτουργεί σε προκαθορισμένη θερμοκρασία εισόδου στον θάλαμο. Τέλος η καταγραφή της παροχής του νερού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση των ποσοτήτων νερού που έχουν καταναλώσει τα πτηνά έτσι ώστε να ανιχνευθεί νωρίς κάποια αλλαγή στη συμπεριφορά ή να εντοπιστούν προβλήματα στο σύστημα διανομής (πχ κάποια διαρροή). Οι αυτοματισμοί στο σύστημα τροφοδοσίας καθορίζουν πότε είναι σε λειτουργία το σύστημα μεταφοράς τροφής και πότε όχι με στόχο να είναι πάντα διαθέσιμη η ίδια ποσότητα φαγητού σε όλες τις θέσεις.

Υπάρχουν συστήματα παρακολούθησης του συστήματος τροφοδοσίας τα οποία μετράνε την ποσότητα του φαγητού που καταναλώθηκε από τα πτηνά. Αυτό μπορεί να γίνει με πολλούς τρόπους: α) με ηλεκτρονικούς αισθητήρες που μετράνε το βάρος της τροφής πριν και μετά το τάισμα, β) με καταγραφή του χρόνου λειτουργίας της αλυσίδας διαχείρισης της τροφής, γ) ζυγίζοντας σε προκαθορισμένο βάρος την τροφή πριν αυτή διατεθεί στο σύστημα με το σύστημα παρακολούθησης να μετράει πόσες φορές έχει γίνει η ζύγιση.

2.2.2 Αυτοματισμοί για ρύθμιση μικροκλίματος πτηνοτροφείων

Η ρύθμιση του μικροκλίματος σε ένα πτηνοτροφείο αφορά τα συστήματα θέρμανσης, δροσισμού και αερισμού. Τα συστήματα θέρμανσης είναι δυνατό να ελέγχονται με ελεγκτές on/off ή να γίνεται ρύθμιση της παροχής του φέροντος ρευστού ή της θερμοκρασίας του φέροντος ρευστού ανάλογα με τον τύπο του συστήματος θέρμανσης. Σε περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται αερόθερμα ή θερμομητέρες για την παραγωγή θερμότητας ο έλεγχος συνήθως είναι on/off βάσει ενδείξεων αισθητήρων θερμοκρασίας.

Σε περιπτώσεις που χρησιμοποιείται λέβητας εκτός του χώρου του θαλάμου του πτηνοτροφείου και η θερμότητα μεταφέρεται με σύστημα διανομής με κάποιο φέρον ρευστό (νερό ή αέρας) είναι δυνατόν να γίνει έλεγχος με αρκετούς τρόπους. Αν ο λέβητας είναι μεταβλητής ισχύος τότε μπορεί να ελέγχεται η παροχή καυσίμου στο λέβητα. Άλλος τρόπος είναι να ελέγχεται η θερμοκρασία του φέροντος ρευστού συνήθως με τρίοδη βάνα ανάμιξης την οποία ελέγχει ένας σερβοκινητήρας βάσει μετρήσεων εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας και της θερμοκρασίας σχεδιασμού που εισάγεται μέσω ενός χειριστηρίου.

Σε περιπτώσεις που χρησιμοποιείται αντλία θερμότητας διαιρούμενου τύπου με μία εξωτερική και μία ή πολλές εσωτερικές μονάδες (VRV) τότε η ρύθμιση γίνεται είτε με ρύθμιση της παροχής του ψυκτικού ρευστού είτε με ρύθμιση της θερμοκρασίας παροχής του φέροντος ρευστού (μέσω ελέγχου των στροφών του συμπιεστή).

Αν υπάρχει ΚΚΜ που λειτουργεί με αντλία θερμότητας η ρύθμιση μπορεί να γίνει επίσης με δύο τρόπους. Με έλεγχο των στροφών του συμπιεστή προκειμένου να ρυθμιστεί η θερμοκρασία του φέροντος ρευστού, με αυτοματισμό ενσωματωμένο στην αντλία θερμότητας συναρτήσει της θερμοκρασίας του θαλάμου, του εξωτερικού περιβάλλοντος

και της θερμοκρασίας σχεδιασμού που εισάγεται με το χειριστήριο. Ή με έλεγχο της παροχής του φέροντος ρευστού (αέρα) ελέγχοντας τις στροφές του ανεμιστήρα.

Σε συστήματα παραγωγής ψύξης με υγρή παρειά ο έλεγχος μπορεί να γίνει με δύο τρόπους. Λειτουργία ή μη του υδροπάνελ (on/off της αντλίας). Έλεγχος της παροχής του υδροπάνελ είτε μέσω της ταχύτητας περιστροφής των ανεμιστήρων του τούνελ είτε με μεταβολή της διαθέσιμης επιφάνειας των υδροπάνελ ανοιγοκλείνοντας τις θυρίδες τους.

Σε ότι αφορά τον αερισμό, μπορεί να ελεγχθεί με συστήματα αυτοματισμού η λειτουργία των ανεμιστήρων on/off ή να ελέγχεται η ταχύτητα λειτουργίας τους (με βηματική ή συνεχόμενη μεταβολή -inverter). Εκτός από αυτά η παροχή μπορεί να ελεγχθεί η διαχείριση των ανοιγμάτων (άνοιγμα, κλείσιμο, μεταβολή της ελεύθερης διατομή τους).

2.2.3 Αυτοματισμοί για φωτισμό πτηνοτροφείων

Οι αυτοματισμοί στο φωτισμό αφορούν δύο λειτουργίες. Την έναρξη και την παύση λειτουργίας των φωτιστικών βάσει προγραμματιζόμενου χρονοδιαγράμματος, κάτι που μπορεί να βοηθήσει σημαντικά στη διαχείριση της εκτροφής. Τη ρύθμιση του επιπέδου φωτεινότητας με ρυθμιστές φωτεινότητας (dimmers) κάτι που ήδη παρέχεται ως δυνατότητα σε συστήματα καταγραφής και ελέγχου φωτισμού. Στην περίπτωση αυτή το σύστημα αυτοματισμού θα πρέπει να συνεργάζεται και με αισθητήρα φωτεινότητας.

2.2.4 Συστήματα καταγραφής σε πτηνοτροφεία

Σε ότι αφορά τις περιβαλλοντικές παραμέτρους θα πρέπει να καταγράφονται η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία και η στατική πίεση. Η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία θα πρέπει να καταγράφονται σε περισσότερα από ένα σημεία. Σε ότι αφορά την πίεση μπορεί να καταγράφεται σε ένα σημείο εφόσον αυτό επιλεγεί προσεκτικά. Τέλος μπορεί σε ένα σημείο να καταγράφεται η ταχύτητα του αέρα. Άλλοι περιβαλλοντικοί παράμετροι που θα μπορούσαν να καταγράφονται είναι η συγκέντρωση NH₃ και CO₂ κάτι όμως που έχει υψηλό κόστος. Μια άλλη επιλογή με χαμηλότερο κόστος είναι η περιοδική λήψη δειγμάτων αέρα.

Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δίνεται στη θέση τοποθέτησης των αισθητηρίων μέσα στο κτήριο ώστε οι μετρήσεις που δίνουν να είναι αντιπροσωπευτικές των συνθηκών που επικρατούν όλο σε όλο το κτήριο. Θα πρέπει να μην τοποθετούνται κοντά στην έξοδο ενός στοιχείου κλιματισμού, ή κοντά σε ανοίγματα ούτε και σε περιοχές όπου είναι πιθανό να παγιδεύεται αέρας σε ανακυκλοφορίες. Όμως τα αισθητήρια δεν μπορούν να τοποθετηθούν στο επίπεδο της εκτροφής. Συνεπώς στην αξιολόγηση των ενδείξεων θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η κλίση του προφίλ της θερμοκρασίας αλλά και της ταχύτητας του αέρα. Η διαφορά της θερμοκρασίας μπορεί να της τάξης των 3 °C και η διαφορά της ταχύτητας αέρα μπορεί να είναι της τάξης των 0.34 m/s (Fidaros et al. 2018, Czarick and Fairchild, 2001).

3. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Προϋπόθεση για τη χρήση βιοφίλτρων σε πτηνοτροφεία είναι να έχουν είτε μηχανικό αερισμό, με τους ανεμιστήρες να είναι διαστασιολογημένοι λαμβάνοντας υπόψη την πτώση πίεσης και μέσα στα βιοφίλτρα, είτε/και να έχουν σύστημα συγκέντρωσης κοπριάς κάτω από τον θάλαμο. Συνεπώς είναι πιο εύκολο να χρησιμοποιηθούν σε πτηνοτροφεία παραγωγής αυγών παρά σε κρεοπαραγωγά (χωρίς όμως τα δεύτερα να αποκλείονται).

Σε ότι αφορά τους αυτοματισμούς, ιδιαίτερες απαιτήσεις υπάρχουν στο σχεδιασμό θαλάμου υπερπίεσης, ώστε να ώστε να αποτρέπεται η είσοδος σε αυτό μη φιλτραρισμένου

αέρα. Στην περίπτωση αυτή τα στόμια αερισμού θα πρέπει να ελέγχονται ηλεκτρονικά ώστε να διατηρείται η υψηλή ταχύτητα στη δέση φιλτραρισμένου αέρα που φεύγει από αυτά ακόμα και σε χαμηλές παροχές. Αυτό είναι πολύ σημαντικό ώστε να εξασφαλίζεται ότι ο ψυχρός αέρας που βγαίνει από αυτά δε θα πέσει άμεσα κάτω προς τα πτηνά αλλά θα εξασφαλιστεί η μίξη του. Επιπλέον, τα ανοίγματα αερισμού θα πρέπει να ελέγχονται ώστε να μειώνεται η διαθέσιμη διατομή τους προκειμένου να διατηρείται η υπερπίεση και σε χαμηλές παροχές. Ένα μεγάλο πρόβλημα είναι η μείωση της πίεσης όταν ανοίγουν οι πόρτες του πτηνοτροφείου, οπότε θα πρέπει αυτόματα να κλείνουν τα ανοίγματα αερισμού ή/και να σταματάει ο ανεμιστήρας της ΚΚΜ.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα βιοφίλτρα στα πτηνοτροφεία χρησιμοποιούνται πρωτίστως για απομάκρυνση οσμών και υδρόθειου και δευτερευόντως για απομάκρυνση αμμωνίας και άλλων ρύπων. Ωστόσο θα πρέπει να χρησιμοποιούνται μαζί με φίλτρα σκόνης ή ως ενδιάμεσο βήμα καθαρισμού του αέρα μαζί με άλλες διατάξεις.

Τα βιοφίλτρα θεωρούνται φθηνή μέθοδος απόσμησης κυρίως τα οριζόντια. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μηχανικά αεριζόμενα κτήρια αρνητικής πίεσης ή σε κτήρια με φυσικό αερισμό εφόσον η κοπριά συγκεντρώνεται σε υπόγειο μηχανικά αεριζόμενο θάλαμο κάτω από το πτηνοτροφείο. Ως υλικό πλήρωσης συστήνεται η τύρφη και το κομπόστ με ροκανίδια για τη δημιουργία πορώδους και σχεδιασμός του χρόνου παραμονής να μεταξύ 3 και 5 s.

Η χρήση αυτοματισμών στα συστήματα ύδρευσης και τροφοδοσίας αποτελεί μια ευρέως διαδεδομένη και καλά γνωστή πρακτική στα πτηνοτροφεία. Ωστόσο το ζήτημα της καταγραφής, παρακολούθησης και διαχείρισης του μικροκλίματος, αν και εφαρμόζεται επίσης ευρέως στις νέες μονάδες, έχει σημαντικά περιθώρια βελτίωσης.

«Η εργασία υλοποιήθηκε στο πλαίσιο της Δράσης ΕΡΕΥΝΩ – ΔΗΜΙΟΥΡΓΩ - ΚΑΙΝΟΤΟΜΩ και συγχρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση και εθνικούς πόρους μέσω του Ε.Π. Ανταγωνιστικότητα, Επιχειρηματικότητα & Καινοτομία (ΕΠΑνεΚ) (κωδικός έργου:Τ1ΕΔΚ-03856)»

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Czarick, M., and Fairchild, B., 2001. Environmental controller temperature sensor placemen, Poultry Housing Tips, The University of Georgia, Vol. 13, Number 12.
- Ebona, J., and Lanuzo, M., 2017. Design, Testing and Evaluation of Prototype Biofilter to Mitigate Odor in Tunnel-vent Poultry Production System, Int. J. Sus. Dev. Plann. Vol. 12 (7), 1223–1232.
- Fidaros, D., Baxevanou, C., Bartzanas, Th., and Kittas, C., 2018. Numerical study of mechanically ventilated broiler house equipped with evaporative pads. Computers and Electronics in Agriculture, Vol. 149, 101-109.
- Maurer D.L., Koziel, A.J., Harmon, J.D., Hoff, S.J., Rieck-Hinz, A.M., and Andersen, D.S, 2016. Summary of performance data for technologies to control gaseous, odor, and particulate emissions from livestock operations: Air management practices assessment tool (AMPAT), Data in Brief, Vol. 7, 1413-1429.
- Nicolai, R., and Schmidt, D., 2005. Biofilters. Fact Sheets. Paper 106.
- Nicolai, R.E., Janni, K.J., and Schmidt, D.R., 2019. Biofiltration: Mitigation for Odor and Gas Emissions from Animal Operations, proceedings of: Mitigating Air Emissions From Animal Feeding Operations Conference

- O'Neil, D.H., Stewart, I.W., and Phillips, V.R., 1992. A Review of the Control of Odour nuisance from Livestock Buildings: Part 2, The Costs of Odour Abatement Systems as Predicted -from Ventilation Requiremen, *J. ugric. Engng Res.*, Vol. 51, 157-165.
- Shah, S.B., Basden T.J., and Bhumbla, D.K., 2003. Bench-Scale Biofilter for Removing Ammonia from Poultry House Exhaust, *J. Environ. Sci. Health B*, Vol. 38:1, 89-101.
- Schmidt, D., Jacobson, L., and Nicolai, R., 2020. Biofilter design information, Regents of the University of Minnesota.
- Tymczyna, L., Chmielowiec-Korzeniowska, A., and Drabik, A., 2007. The Effectiveness of Various Biofiltration Substrates in Removing Bacteria, Endotoxins, and Dust from Ventilation System Exhaust from a Chicken Hatchery. *Poultry Science*, Vol. 86, 2095–2100
- Van der Heyden, C., Demeyer, P., and Volcke, E.I.P., 2015. Mitigating emissions from pig and poultry housing facilities through air scrubbers and biofilters: State-of-the-art and perspectives, *Biosystems Engineering*, Vol. 134, 74 -93.

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΓΓΟΥΡΙΟΥ ΜΕ ΥΔΡΟΠΟΝΙΑ ΚΑΙ ΕΝΥΔΡΕΙΟΠΟΝΙΑ

**Νικόλαος Κατσούλας¹, Μαρία Ασλανίδου¹, Δημήτρης Κ. Παπαναστασίου^{1,2}, Βασίλειος
Ανέστης¹,**

¹Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος,
Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος, Βόλος, nkatsoul@uth.gr

²Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Περιβάλλοντος, Λάρισα

Περίληψη

Σκοπός της εργασίας είναι η συγκριτική αποτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκαλούνται κατά την παραγωγή αγγουριού (*Cucumis sativus* var. Αίσωπος) (α) σε συμβατική υδροπονική καλλιέργεια και σε υδροπονική καλλιέργεια όπου (β) μέρος ή (γ) όλη η ποσότητα των λιπασμάτων αντικαταστάθηκε από θρεπτικό διάλυμα που αντλήθηκε από σύστημα καλλιέργειας ιχθύων. Αποτιμήθηκαν 18 κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων με τη χρήση ισάριθμων δεικτών και τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η χρήση του συστήματος ενυδρείοπονίας προσφέρει τη δυνατότητα μείωσης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της καλλιέργειας αγγουριού.

Λέξεις κλειδιά: Αγγούρι, Υδροπονία, Ενυδρείοπονία, Λιπάσματα, Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις

COMPARATIVE ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL IMPACTS OF CUCUMBER PRODUCTION WITH HYDROPONICS AND AQUAPONICS

Nikolaos Katsoulas¹, Maria Aslanidou¹, Dimitris K. Papanastasiou^{1,2}, Vasileios Anestis¹

¹University of Thessaly, Department of Agriculture Crop Production and Rural Environment,
Laboratory of Agricultural Constructions and Environmental Control, Volos, Greece, nkatsoul@uth.gr

²University of Thessaly, Department of Environmental Sciences, Larissa, Greece

Abstract

The aim of this paper is the comparative assessment of the environmental impacts caused during the production of cucumber (*Cucumis sativus* var. Esopos) under (a) conventional hydroponics, or (b) decoupled or (c) coupled aquaponics system. 18 categories of environmental impacts were assessed using an equal number of indicators and the results showed that the use of the aquaponic system offers the potential to reduce the environmental impacts of cucumber cultivation.

Keywords: Cucumber, Hydroponics, Aquaponics, Fertilisers, Environmental Impacts

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εντατικοποίηση της γεωργίας αλλά και της αλιείας, έχουν ως αποτέλεσμα το αυξημένο κόστος ενέργειας και ορυκτών καυσίμων, τη μείωση της αρόσιμης γης, την εξάντληση των υδάτινων πόρων καθώς και τη μείωση των ιχθυοαποθεμάτων (Klinger & Naylor, 2012). Προκύπτει λοιπόν το βασικό ερώτημα εάν τα σημερινά συστήματα γεωργίας έχουν τον απαραίτητο βαθμό αειφορίας προκειμένου να καλύψουν τις ανάγκες σε τροφή ενός παγκόσμιου πληθυσμού που μπορεί να φτάσει τα 11 δισεκατομμύρια μέχρι το τέλος του αιώνα, έτσι ώστε να εξασφαλίζουν τη βιώσιμη χρήση των φυσικών πόρων και τον περιορισμό της εκπομπής των αερίων θερμοκηπίου (FAO-ONU, 2017).

Η κυκλική οικονομία, στο πλαίσιο της βιωσιμότητας του κλειστού συστήματος ιχθυοκαλλιέργειας αλλά και της υδροπονίας, δίνει λύση στο πρόβλημα του ευτροφισμού, της εξάντλησης των φυσικών πόρων και της μείωσης των αποθεμάτων νερού με την πρόταση της ενυδρειοπονίας. Ενυδρειοπονικό ονομάζεται το σύστημα που συνδυάζει ένα σύστημα ιχθυοκαλλιέργειας με ένα σύστημα παραγωγής φυτών. Ο πιο σύγχρονος ορισμός της ενυδρειοπονίας αναφέρθηκε από τους Palm et al. (2018), σύμφωνα με τον οποίο «ενυδρειοπονία είναι το σύστημα παραγωγής υδρόβιων οργανισμών και εδώδιμων φυτών, όπου η πλειοψηφία των θρεπτικών (>50%), που στηρίζουν την ανάπτυξη των φυτών προέρχεται από τα απόβλητα της τροφής των υδρόβιων οργανισμών». Σε ένα συζευγμένο σύστημα ενυδρειοπονίας, υπάρχει πλήρης αλληλεξάρτηση του συστήματος ιχθυοκαλλιέργειας με το υδροπονικό σύστημα λόγω της 100% συνεχόμενης ανακύκλωσης του νερού. Στα μη συζευγμένα συστήματα υπάρχει μεγαλύτερη αυτονομία μεταξύ της ιχθυοκαλλιέργειας και του υδροπονικού συστήματος καθώς το υδατικό διάλυμα ανακυκλώνεται χωριστά στα επιμέρους συστήματα (Goddek 2017).

Αν και η έρευνα σχετικά με τα ενυδρειοπονικά συστήματα ξεκίνησε από το 1970 (Lewis et al., 1978), δεν έχει μελετηθεί επαρκώς η βιωσιμότητα και απόδοση ενυδρειοπονικών συστημάτων με την μέθοδο Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (AKZ) (Love et al., 2015). Η μέθοδος AKZ είναι μία μέθοδος ανάλυσης και ποσοτικοποίησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ενός προϊόντος, της κάθε εμπλεκόμενης διαδικασίας, υπηρεσίας ή δραστηριότητας γύρω από αυτό για όλη τη διάρκεια της ζωής του (Tsoutsos et al., 2010). Η AKZ δίνει τη δυνατότητα στους ερευνητές να κατανοήσουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την παραγωγή ενός προϊόντος και να αξιολογήσουν ένα παραγωγικό σύστημα τροφής όχι μόνο ως προς την απόδοσή του αλλά και ως προς το περιβαλλοντικό του αποτύπωμα.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η συγκριτική αποτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκαλούνται κατά την εφαρμογή τριών διαφορετικών συστημάτων καλλιέργειας αγγουριού (*Cucumis sativus* var. Αίσωπος): 1) Πρότυπη υδροπονική καλλιέργεια (μεταχείριση ΥΔ), 2) Μη συζευγμένη ενυδρειοπονική καλλιέργεια (μεταχείριση ΜΣΕΝ) και 3) Συζευγμένη ενυδρειοπονική καλλιέργεια (μεταχείριση ΣΕΝ).

2. ΥΛΙΚΑ-ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Πειραματικές συνθήκες

Οι μετρήσεις έγιναν στο Θερμοκηπιακό Πάρκο του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, στο πιλοτικό σύστημα ενυδρειοπονίας το οποίο βρίσκεται στο Βελεστίνο. Το θερμοκήπιο είχε συνολική έκταση 440 m² και η καλλιέργεια των φυτών καταλάμβανε τα ¼ του θερμοκηπίου ενώ η καλλιέργεια των ιχθύων το υπόλοιπο ¼ του χώρου. Η καλλιέργεια των φυτών έγινε σε 18 αυτόνομα υδροπονικά κανάλια στα οποία τοποθετήθηκαν συνολικά 138 σάκοι περλίτη (ISOCON Perloflor Hydro 1, ISOCON S.A., Athens) ως υπόστρωμα για την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος των φυτών. Το θρεπτικό διάλυμα διοχετεύονταν στην καλλιέργεια από

6 δεξαμενές θρεπτικών διαλυμάτων (οι οποίες τροφοδοτούσαν από τρία κανάλια η κάθε μία), μέσω δικτύου σωληνώσεων και σταλακτών (drip system), ενώ το διάλυμα απορροής (ανά τρία κανάλια) συσσωρεύονταν σε 6 ξεχωριστές δεξαμενές. Φυτάρια αγγουριού (*Cucumis sativus* var. Αίσιωπος) 15 ημερών, φυτεμένα σε κύβους πετροβάμβακα τοποθετήθηκαν στους σάκους με πυκνότητα 2,5 φυτά ανά m^2 . Η συγκομιδή των καρπών ξεκίνησε από την 21^η ημέρα μετά τη μεταφύτευση (D21) και η καλλιεργητική περίοδος διήρκεσε 86 ημέρες.

Το σύστημα ιχθυοκαλλιέργειας αποτελούνταν από τρεις δεξαμενές ψαριών και από βοηθητικές δεξαμενές συνολικής χωρητικότητας 9 m^3 . Στο σύστημα εκτρέφονταν ψάρια του γένους τιλάπια (*Oreochromis mossambicus*) με αρχική ιχθυοπυκνότητα 8,46 $kg \cdot m^{-3}$. Ο όγκος του νερού που κυκλοφορούσε στο κάθε σύστημα καθώς και οι εισροές και εκροές νερού από το σύστημα καταγράφονταν από το σύστημα ελέγχου.

Η εφαρμογή της ενυδρειοπονικής καλλιέργειας πραγματοποιήθηκε με την απομάκρυνση όγκου διαλύματος ιχθυοκαλλιέργειας και χρήσης του στην καλλιέργεια μετά από διόρθωση της τιμής pH στην τιμή 5,6. Η μεταχείριση αυτή αντιστοιχεί στη μεταχείριση ΣΕΝ όπου μετά τη διοχέτευση του διαλύματος στα υδροπονικά κανάλια η απορροή συλλέγονταν και επέστρεφε μετά από απολύμανση στις δεξαμενές εκτροφής των ιχθύων, διαμορφώνοντας ένα τελείως κλειστό σύστημα. Παράλληλα με τη μεταχείριση ΣΕΝ εφαρμόζονταν η μεταχείριση ΜΣΕΝ, όπου στο διάλυμα της ιχθυοκαλλιέργειας εισάγονταν λιπάσματα μέχρι να επιτευχθούν οι πρότυπες συγκεντρώσεις της υδροπονικής συνταγής ενώ παράλληλα, διορθώνονταν η τιμή pH. Τη μεταχείριση μάρτυρα (ΥΔ) αποτελούσε μια υδροπονική καλλιέργεια. Οι μεταχειρίσεις ΥΔ και ΜΣΕΝ αντιπροσωπεύουν ανοιχτό υδροπονικό σύστημα. Η διαχείριση του συστήματος και των θρεπτικών διαλυμάτων γίνονταν μέσω της υδροπονικής κεφαλής (Argos Electronics, Greece).

2.2. Εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων

Για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων καθεμιάς από τις τρεις μεταχειρίσεις (ΥΔ, ΜΣΕΝ, ΣΕΝ) ακολουθήθηκαν τα εξής βήματα: (α) καταγράφηκαν οι εισροές των υλικών με τις αντίστοιχες ποσότητές τους, (β) καταγράφηκε το είδος του ηλεκτρομηχανολογικού και προσδιορίστηκε η συνολική ηλεκτρική ενέργεια (kWh) που καταναλώνεται, (γ) συλλέχθηκαν οι τιμές των δεικτών αποτίμησης ανά μονάδα μάζας (Kg) εισροής κάθε υλικού, (δ) έγιναν οι σχετικοί υπολογισμοί και κατασκευαστήκαν σχετικές γραφικές παραστάσεις. Η αποτίμηση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της μεταχείρισης ΥΔ περιελάμβανε και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της εκτροφής ιχθύων (ΙΧΘ), ως μια ανεξάρτητη διαδικασία που λαμβάνει χώρα παράλληλα με την ΥΔ.

2.3. Εισροές υλικών και ενέργειας και παραγωγή προϊόντων

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται τα υλικά και οι συνολικές ποσότητές τους που απαιτούνται σε κάθε μεταχείριση που αποτιμήθηκε, η ενέργεια που καταναλώθηκε, καθώς επίσης και οι ποσότητες των προϊόντων που παράχθηκαν.

Πίνακας 1. Υλικά και ποσότητές τους που απαιτούνται σε κάθε μεταχείριση που αποτιμήθηκε και παραγωγή προϊόντων

Υλικό / Προϊόν	Μεταχείριση		
	ΥΔ + ΙΧΘ	ΜΣΕΝ	ΣΕΝ
Ενέργεια			
Ενέργεια που καταναλώθηκε (KWh)	4422,25		4401,26
Νερό¹			
Γέμισμα δεξαμενών μεταχείρισης ΙΧΘ (Kg)	6200		
Γέμισμα σάκων περλίτη (Kg)	805		
Άρδευση (Kg)	18998	17920	16626
Επιστροφή απορροής καλλιέργειας στη μεταχείριση ΙΧΘ (Kg)	0	0	4775
Σύνολο νερού που χρησιμοποιήθηκε (Kg)	26003	24925	18856
Λιπάσματα			
Νιτρικό ασβέστιο (Kg)	24,89	24,36	0
Νιτρικό αμμώνιο (Kg)	4,26	2,90	0
Μονοφωσφορικό κάλιο (kg)	8,57	6,09	0
Νιτρικό κάλιο (kg)	31,94	13,51	0
Θειικό κάλιο (kg)	0,48	8,32	0
Σίδηρος (kg)	0,35	0,25	0
Σύνολο (Kg):	70,49	55,43	0
Διόρθωση pH			
Νιτρικό οξύ (kg)	12,23		0
Θειικό οξύ (kg)	5,95		2,86
Σιτηρέσιο ψαριών²			
Fish Meal (kg) (48%)	20,16		
Wheat (kg) (36%)	15,12		
Wheat Bran (kg) (10%)	4,20		
Fish Oil (kg) (2%)	0,84		
Soybean Oil (kg) (2%)	0,84		
Vitamins (kg) (2%)	0,84		
Σύνολο (Kg):	42		
Παραγωγή			
Αγγοουριού (Kg)	514,76	517,74	316,15
Ψαριών (Kg)	29		

¹ Η πυκνότητα του νερού θεωρήθηκε ίση με 1 g·ml⁻¹

² Ποσοστιαία σύσταση σιτηρεσίου ψαριών σύμφωνα με τους Tran-Ngoc et al. (2019)

2.4. Κατηγορίες Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΚΠΕ) που αποτιμήθηκαν και σχετικοί δείκτες αποτίμησης

Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται οι ΚΠΕ που αποτιμήθηκαν για τις μεταχειρίσεις που μελετήθηκαν, μαζί με το δείκτη που χρησιμοποιήθηκε για την αποτίμηση κάθε κατηγορίας. Συνολικά υπολογίστηκαν 18 δείκτες προκειμένου να αποτιμηθούν ισάριθμες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Οι τιμές των δεικτών αποτίμησης των 18 ΚΠΕ ανά μονάδα εισροής κάθε υλικού (Kg) που χρησιμοποιήθηκε στις μεταχειρίσεις αναφέρονται σε όλη την αλυσίδα τροφοδοσίας των εισροών μέχρι και την τοποθεσία ανάπτυξης των καλλιεργειών και ελήφθησαν χρησιμοποιώντας σχετικά σύνολα δεδομένων της βάσης Ecoinvent v. 3.4 και εφαρμόζοντας τη μεθοδολογία αποτίμησης επιπτώσεων κύκλου ζωής ReCiPe 2016

Midpoint (H) V1.02, όπως αυτά είναι διαθέσιμα στο λογισμικό SimaPro (έκδοση 8.5.2.0 PhD) (Pré, 2017).

Πίνακας 2. ΚΠΕ και δείκτες αποτίμησής τους

α/α	ΚΠΕ	Δείκτης
1	Παγκόσμια θέρμανση – Global warming	Kg CO ₂ eq
2	Μείωση στρατοσφαιρικού όζοντος – Stratospheric ozone depletion	Kg CFC11 eq
3	Ιοντίζουσα ακτινοβολία – Ionizing radiation	KBq Co-60 eq
4	Σχηματισμός όζοντος, επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία – Ozone formation, impacts on human health	Kg NO _x eq
5	Σχηματισμός λεπτόκοκκων σωματιδίων – Fine particulate matter formation	Kg PM2.5 eq
6	Σχηματισμός όζοντος, επιπτώσεις στα χερσαία οικοσυστήματα – Ozone formation, impacts on terrestrial ecosystems	Kg NO _x eq
7	Οξίνιση ξηράς – Terrestrial acidification	Kg SO ₂ eq
8	Ευτροφισμός γλυκού νερού – Freshwater eutrophication	Kg P eq
9	Θαλάσσιος ευτροφισμός – Marine eutrophication	Kg N eq
10	Οικοτοξικότητα ξηράς – Terrestrial ecotoxicity	Kg 1,4-DCB ¹ eq
11	Οικοτοξικότητα γλυκού νερού – Freshwater ecotoxicity	Kg 1,4-DCB ¹ eq
12	Θαλάσσια οικοτοξικότητα – Marine ecotoxicity	Kg 1,4-DCB ¹ eq
13	Καρκινογόνος τοξικότητα στον άνθρωπο – Human carcinogenic toxicity	Kg 1,4-DCB ¹ eq
14	Μη καρκινογόνος τοξικότητα στον άνθρωπο – Human non-carcinogenic toxicity	Kg 1,4-DCB ¹ eq
15	Χρήση γης – Land use	m ² a crop eq
16	Σπανιότητα ορυκτών πόρων – Mineral resource scarcity	kg Cu eq
17	Σπανιότητα ορυκτών καυσίμων – Fossil resource scarcity	kg oil eq
18	Κατανάλωση νερού – Water consumption	m ³

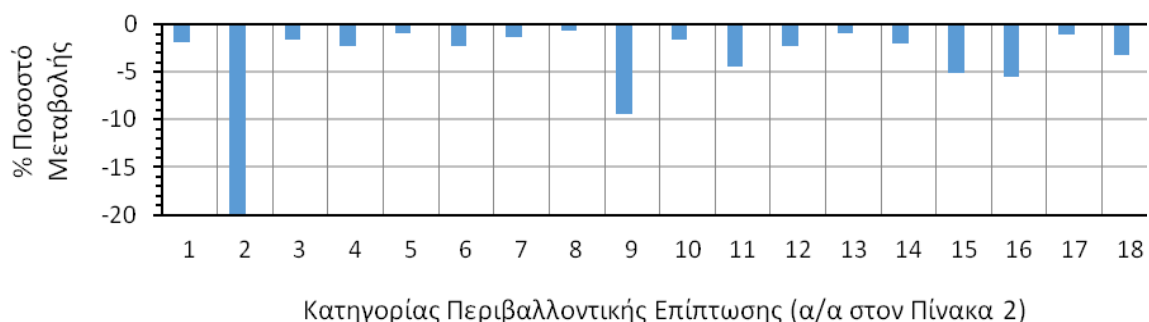
¹ DCB: Διχλωροβενζόλιο

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται το % ποσοστό μείωσης των δεικτών αποτίμησης των ΚΠΕ ανά Kg παραγόμενης ποσότητας αγγουριού που εκτιμήθηκε για τις μεταχείρισης ΥΔ (αθροιστικά με τη μεταχείριση ΙΧΘ) και ΜΣΕΝ. Από το Σχήμα 1 προκύπτει ότι σε όλες τις ΚΠΕ παρατηρήθηκε μείωση των τιμών των δεικτών αποτίμησης κατά τη μεταχείριση ΜΣΕΝ σε σχέση με τις τιμές που παρατηρήθηκαν κατά τη μεταχείριση ΥΔ αθροιστικά με τη μεταχείριση ΙΧΘ. Η μείωση αυτή θα μπορούσε να αποδοθεί σχεδόν εξ ολοκλήρου στη μείωση της ποσότητας των λιπασμάτων που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη μεταχείριση ΜΣΕΝ.

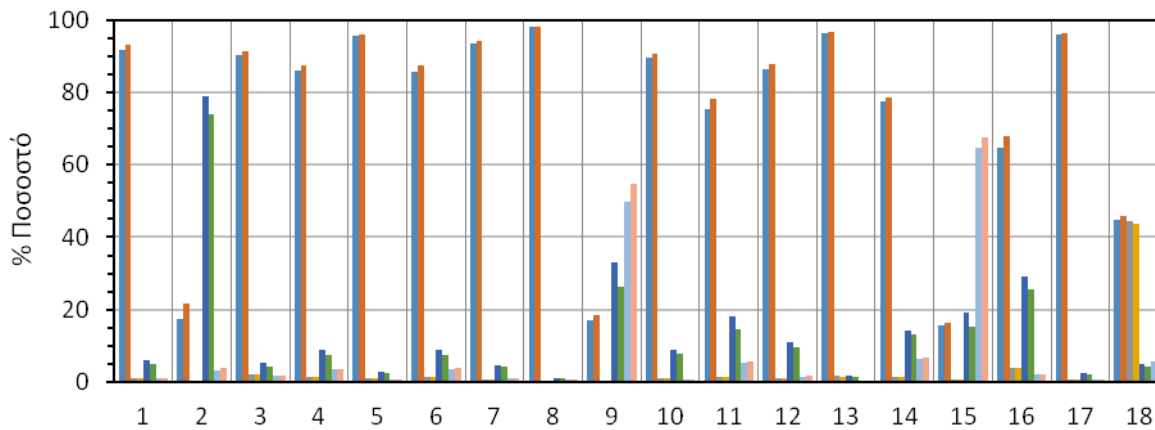
Στη συνέχεια, υπολογίστηκαν οι τιμές των δεικτών αποτίμησης των ΚΠΕ ανά Kg παραγόμενης ποσότητας αγγουριού για τη μεταχείριση ΣΕΝ. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι τιμές αυτές παρουσίασαν αύξηση σε σχέση με τις τιμές που παρατηρήθηκαν κατά τη μεταχείριση ΥΔ αθροιστικά με τη μεταχείριση ΙΧΘ. Εκτιμάται ότι οι τιμές των δεικτών αποτίμησης των ΚΠΕ ανά Kg παραγόμενης ποσότητας αγγουριού αυξήθηκαν κατά τη μεταχείριση ΣΕΝ εξαιτίας της μείωσης της ποσότητας του αγγουριού που παράχθηκε κατά τη μεταχείριση αυτή. Από τον πίνακα 2 προκύπτει ότι κατά τη μεταχείριση ΣΕΝ η ποσότητα του αγγουριού που παράχθηκε ήταν 38,6% μικρότερη από την ποσότητα του αγγουριού που παράχθηκε κατά τη μεταχείριση ΥΔ. Το γεγονός αυτό φανερώνει ότι κατά την εφαρμογή της μεταχείρισης ΣΕΝ χρειάζεται να γίνεται έλεγχος της περιεκτικότητας σε

Θρεπτικά του διαλύματος που αντλείται από τη μεταχείριση ΙΧΘ, ώστε η ποσότητα της παραγωγής αγγουριού να μη μειώνεται σημαντικά σε σχέση με την ποσότητα που παράγεται από τη μεταχείριση ΥΔ. Παρά το γεγονός ότι στην εργασία αυτή δεν παρουσιάζονται αποτελέσματα σχετικά με τις συγκεντρώσεις των θρεπτικών στοιχείων στο διάλυμα των δεξαμενών της ιχθυοκαλλιέργειας, αξίζει να σημειωθεί ότι η συγκέντρωση των θρεπτικών στοιχείων ήταν σε σχετικά χαμηλά επίπεδα. Το γεγονός αυτό οφείλεται στη συνεχή απομάκρυνση 10% του όγκου του νερού των δεξαμενών της ιχθυοκαλλιέργειας, λόγω αυξημένων αναγκών της καλλιέργειας αγγουριού στο θερμοκήπιο. Ο μικρότερος ρυθμός απομάκρυνσης/ανανέωσης διαλύματος της καλλιέργειας των ιχθύων θα μπορούσε να οδηγήσει σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις θρεπτικών στοιχείων και πιθανώς σε μικρότερη μείωση της παραγωγής της καλλιέργειας στη μεταχείριση ΣΕΝ. Τα παραπάνω οδηγούν επίσης στο συμπέρασμα ότι θα πρέπει να γίνουν επιπλέον μετρήσεις προκειμένου να μελετηθεί ο βέλτιστος λόγος της επιφάνειας της καλλιέργειας προς τον όγκο των δεξαμενών καλλιέργειας ιχθύων, προκειμένου να επιτυγχάνεται η βέλτιστη αποτελεσματικότητα του συστήματος για κάθε καλλιέργεια.



Σχήμα 1. % ποσοστό μείωσης των δεικτών αποτίμησης των ΚΠΕ ανά Kg παραγόμενου αγγουριού κατά τη μεταχείριση ΜΣΕΝ σε σχέση με τη μεταχείριση ΥΔ (αθροιστικά με την ΙΧΘ)

Στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται το % ποσοστό συνεισφοράς της κατανάλωσης ενέργειας, της κατανάλωσης νερού, της χρήσης λιπασμάτων και υλικών για τη διόρθωση του pH, και του σιτηρέσιου των ψαριών, στις τιμές των δεικτών αποτίμησης των ΚΠΕ για τις μεταχειρίσεις ΥΔ (αθροιστικά με τη μεταχείριση ΙΧΘ) και ΜΣΕΝ. Από το σχήμα 2 προκύπτει ότι η κατανάλωση ενέργειας προκαλεί το μεγαλύτερο μέρος των περιβαλλοντικών επιπτώσεων στις 15 από τις 18 ΚΠΕ και στις δύο μεταχειρίσεις, σε ποσοστό που κυμαίνεται από 45% έως 98%. Το σχήμα 2 δείχνει επίσης ότι το % ποσοστό συνεισφοράς των τεσσάρων παραπάνω παραγόντων διαφέρει λίγο μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων. Οι απόλυτες τιμές των μέγιστων διαφορών που εκτιμήθηκαν ήταν 4,2%, 0,7%, 6,5%, και 4,8% για τους τέσσερις παραπάνω παράγοντες, αντίστοιχα.



Κατηγορίας Περιβαλλοντικής Επίπτωσης (α/α στον Πίνακα 2)

Σχήμα 2. % ποσοστό συνεισφοράς της κατανάλωσης ενέργειας (1η και 2η μπάρα από αριστερά), της κατανάλωσης νερού (3η και 4η μπάρα από αριστερά), της χρήσης λιπασμάτων και υλικών για τη διόρθωση του pH (5η και 6η μπάρα από αριστερά), και του σιτηρέσιου των ψαριών (7η και 8η μπάρα από αριστερά) στις τιμές των δεικτών αποτίμησης των ΚΠΕ ανά Kg παραγόμενης ποσότητας αγγουριού για τις μεταχειρίσεις ΥΔ (αθροιστικά με τη μεταχείριση ΙΧΘ) (1η, 3η, 5η και 7η μπάρα από αριστερά) και ΜΣΕΝ (2η, 4η, 6η και 8η μπάρα από αριστερά)

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εφαρμογή της μεταχείρισης ΜΣΕΝ για την παραγωγή αγγουριού προσφέρει τη δυνατότητα μείωσης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκαλούνται από τη μεταχείριση ΥΔ (αθροιστικά με τη μεταχείριση ΙΧΘ), κυρίως εξαιτίας της μείωσης της ποσότητας λιπασμάτων που χρησιμοποιούνται. Για να εκτιμηθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της μεταχείρισης ΣΕΝ απαιτείται περαιτέρω έρευνα, διασφαλίζοντας ότι η μεταχείριση ΣΕΝ δε θα οδηγήσει σε μείωση της ποσότητας του αγγουριού που παράγεται σε σχέση με την ποσότητα του αγγουριού που παράγεται από τη μεταχείριση ΥΔ.

5. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΑ

Αυτό το έργο χρηματοδοτήθηκε από το Επιχειρησιακό Πρόγραμμα «Ανταγωνιστικότητα – Επιχειρηματικότητα - Καινοτομία (ΕΠΑνΕΚ) 2014-2020, Δράση Εθνικής Εμβέλειας «Ερευνώ-Δημιουργώ-Καινοτομώ», με Κωδικό Έργου Τ1ΕΔΚ-01153.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- FAO-ONU (2017). *The future of food and agriculture: trends and challenges*. In Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://doi.org/10.4161/chan.4.6.12871>
- Goddek, S. (2017). *Opportunities and challenges of multi-loop aquaponic systems* (Doctoral dissertation, Wageningen University).
- Klinger, D., & Naylor, R. (2012). *Searching for Solutions in Aquaculture: Charting a Sustainable Course*. Annual Review of Environment and Resources, 37(1), 247–276. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-021111-161531>
- Lewis, W. M., Yopp, J. H., Schramm Jr, H. L., & Brandenburg, A. M. (1978). *Use of hydroponics to maintain quality of recirculated water in a fish culture system*. Transactions of the American Fisheries Society, 107(1), 92-99.

- Love, D. C., Uhl, M. S., & Genello, L. (2015). *Energy and water use of a small-scale raft aquaponics system in Baltimore, Maryland, United States*. *Aquacultural engineering*, 68, 19-27.
- Palm, H. W., Knaus, U., Appelbaum, S., Goddek, S., Strauch, S. M., Vermeulen, T., ... Kotzen, B. (2018). *Towards commercial aquaponics: a review of systems, designs, scales and nomenclature*. *Aquaculture International*, 26(3), 813–842. <https://doi.org/10.1007/s10499-018-0249-z>
- Pré, 2017. *SimaPro* [WWW Document]. URL <https://simapro.com>
- Tran-Ngoc, K. T., Haidar, M. N., Roem, A. J., Sendão, J., Verreth, J. A. J., Schrama, J. W. (2019). *Effects of feed ingredients on nutrient digestibility, nitrogen/energy balance and morphology changes in the intestine of Nile tilapia (Oreochromis niloticus)*. *Aquaculture Research*, 50, 2577–2590. <https://doi.org/10.1111/are.14214>
- Tsoutsos, T., Kouloumpis, V., Zafiris, T., & Foteinis, S. (2010). *Life Cycle Assessment for biodiesel production under Greek climate conditions*. *Journal of Cleaner Production*, 18(4), 328-335.

INNOVATIVE MESH DESIGN OF INSECT-PROOF NETS – A NUMERICAL STUDY

Anastasios Giannoulis ^{a*}, Antonis Mistriotis ^a, Demetres Briassoulis ^a

^a Dept. of Natural Resources & Agricultural Engineering, Agricultural University of Athens, Greece

* Corresponding author. Email: agian@aua.gr

Abstract

Protected cultivations by means of insect-proof nethouses can be an efficient alternative to open field summer cultivations. Lately, their use is expanding in the Mediterranean since they comprise a category of lightweight, affordable and environmental friendly agricultural structures. However, a number of studies have addressed issues regarding the decreased ventilation rates of the insect-proof nethouses which result to an adverse microclimate of increased temperatures and humidity. The geometric characteristics of a commercial insect-proof net were conceptually modified and analysed numerically. The aim was to design innovative mesh structure configurations that would improve the aerodynamic behaviour of the net without affecting its mechanical properties. New types of fibres of optimised aerodynamic shape were designed with oval and elliptical cross-sections. The numerical results showed that the conceptually designed aerodynamic fibre/mesh configurations allow for improved ventilation as compared to the commercial configuration.

Keywords: insect-proof, aerodynamic characteristics, fibres design, numerical simulation

ΚΑΙΝΟΤΟΜΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ ΕΝΤΟΜΟΣΤΕΓΩΝ ΔΙΧΤΥΩΝ – ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

Αναστάσιος Γιαννούλης ^{a*}, Αντώνης Μυστριώτης ^a, Δημήτρης Μπριασούλης ^a

^a Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

* Υπεύθυνος Επικοινωνίας. Email: agian@aua.gr

Περίληψη

Η προστασία καλλιεργειών με τη βοήθεια εντομοστεγών διχτυοκηπίων αποτελεί μια εναλλακτική και αποδοτική λύση για τις καλοκαιρινές καλλιέργειες ανοιχτού αγρού. Τελευταία, η χρήση τους επεκτείνεται στις Μεσογειακές χώρες, διότι αποτελούν ελαφρές και οικονομικές γεωργικές κατασκευές με χαρακτήρα φιλικό προς το περιβάλλον. Παρόλα αυτά, σημαντικός αριθμός μελετών απέδωσαν μειωμένο ρυθμό αερισμού στα εντομοστεγή διχτυοκήπια, με αποτέλεσμα ένα ανεπιθύμητο μικροκλίμα αυξημένης θερμοκρασίας και υγρασίας. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά ενός εμπορικού εντομοστεγούς διχτυού τροποποιήθηκαν και μελετήθηκαν αριθμητικά. Ο στόχος ήταν ο σχεδιασμός καινοτόμων διατάξεων πλέγματος για την βελτίωση της αεροδυναμικής συμπεριφοράς των διχτυών χωρίς να επηρεάζουν τις μηχανικές τους ιδιότητες. Νέοι τύποι ινών βελτιωμένου αεροδυναμικού σχήματος σχεδιάστηκαν με οβάλ και ελλειπτικές διατομές. Τα αριθμητικά αποτελέσματα έδειξαν ότι οι νέες ίνες διχτυών καλύτερης αεροδυναμικής διαμόρφωσης επιτρέπουν βελτιωμένο αερισμό σε σχέση με τις εμπορικές ίνες κυλινδρικής διαμόρφωσης.

Λέξεις Κλειδιά: εντομοστεγή, αεροδυναμικά χαρακτηριστικά, σχεδιασμός ινών, αριθμητική προσομοίωση

1. Introduction

The air temperature and relative humidity at the interior of a nethouse is the integrated result of the solar radiation and other external climatic conditions, the air convective flow, the evapotranspiration of the cultivation and the net shading (Tanny et al., 2001). Insect proof nets (lowest porosity ratio among all agricultural net types) decrease ventilation rates and impose an increase of the nethouse interior temperature and humidity for insect-proof nethouses (Tanny et al., 2001).

In order to improve air penetration while retaining the insects' exclusion properties, the reduction of the diameter/thickness of the nets fibres has been investigated (Boulard et al., 2011). For this reason, the net manufacturing companies have focused on producing innovative insect-proof nets with a larger number of holes per square meter. The idea was to produce insect-proof nets that exclude pests while maintaining adequate air flow.

However, creating a less compact net mesh by making finer fibres may result in the deterioration of the mechanical properties of the nets and alternative fabrication techniques must be considered (Giannoulis et al., 2021). Boulard et al., 2011, designed new mesh configurations with knitted fibres, finer than the typical insect-proof nets fibres, which could offer good mechanical properties along with increased ventilation rates. As shown in Giannoulis et al., 2021, the specific insect-proof net (TIP260, "Ultra-R[®]", 2019) exhibited very good aerodynamic behaviour but poor mechanical properties. The TIP260 insect-proof net could be very efficient only as covering of greenhouse windows and openings.

The majority of the commercial insect-proof nets are woven. Similar material (High Density Polyethylene - HDPE) and cross-section dimensions fibres are weaved together in the warp and weft directions, producing this way the net mesh structure. Testing samples of both woven and knitted agricultural nets showed that determining their mechanical properties from the corresponding properties of the fibres would not be reliable, due to their complex geometry (especially the knitted ones) (Briassoulis et al., 2007). Previous studies have also suggested that agricultural nets can be characterised as orthotropic materials (Briassoulis et al., 2007; Giannoulis et al., 2021) demonstrating the importance of the weaving process for the nets mechanical properties. However, the degraded properties which have been attributed to nets produced with finer fibres shows that the fibres' cross-section area can be a critical parameter to their mechanical behaviour.

In an oversimplified model, the force carried by a net sample in each direction, per unit length in the transverse direction, is distributed over the total cross-sectional area of the fibres composing the net sample in the unit length of the transverse direction. The smaller the total cross-sectional area of the fibres (e.g., thinner and/or fewer fibres in the unit length), the higher the stress developing in each fibre and the highest the probability of mechanical failure of the sample assuming the same fibre material. Of course, the ultimate load carried by the net (strength), is also affected by the fibre configuration and the fibres mechanical properties. A detailed FEM numerical analysis would be required to simulate the state of stress developing in a specific net /fibre configuration and material.

Numerical models were employed to test new mesh configurations for insect-proof nets. The numerical models were initially validated by a wind tunnel experiment of a commercial net. The aim was to improve the ventilation rates of the commercial net, retaining the mechanical properties and insect exclusion at high levels. The conceptual insect-proof nets were woven, with fibres of similar cross section area, slightly deviating from the cylindrical shape of the commercial fibres, to preserve their resilience. Two different types of fibres shapes were tested, namely oval and elliptically shaped.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Wind Tunnel Experiment

A small open circuit wind tunnel (4 m long; square cross section 0.5 x 0.5 m) was used for the experimental calculation of the aerodynamic coefficients of a typical commercial 50-mesh agricultural net. The tested insect-proof net was the 3350BT Biorete net from the Arrigoni net manufacturing company (Arri50) (“Biorete®”, 2018).

During the test the net sample was blocking the entire cross-section of the wind tunnel and the pressure drop between the windward and leeward net sample area was measured for different air velocity values. The aerodynamic coefficients α ($kg\ m^{-3}$) and β ($kg\ m^{-2}\ s^{-1}$) were calculated from the Forchheimer equation:

$$\Delta P = \alpha V^2 + \beta V \quad (1)$$

Where ΔP (Pascal) is the pressure drop as the air penetrates the net sample and V ($m\ s^{-1}$) is the air velocity, which ranged between 0 – 2.5 $m\ s^{-1}$.

2.2 Numerical Models

Three different numerical simulations were carried out for the investigation of the aerodynamic behaviour of the proposed insect-proof nets. The numerical models accurately represented the wind tunnel experimental procedure, namely the net sample blocking the entire cross-section of the wind tunnel. The aerodynamic coefficients were calculated, similarly to the wind tunnel experiment, from the Forchheimer equation.

The initial simulation model represented the Arri50 insect-proof net and served as validation means for the numerical model. The validation of the numerical model allowed for two more numerical simulations, which were employed for the assessment of the aerodynamic coefficients for the conceptually designed insect-proof nets with the oval and elliptically shaped fibres. The idea was to substitute the warp direction cylindrical fibres of the typical woven 50 mesh insect-proof net (Arri50) with fibres of slightly different shape but with the same cross section area. For this reason, two insect-proof net models were designed to have oval and elliptical fibres in the warp direction, while the shape of the weft direction fibres remained cylindrical. This way, the net would still be a 50 mesh net with approximately similar mechanical properties (the shape may also affect the mechanical properties but the cross-sectional dimensions are of critical importance), while the deviation from the circular cross section of the cylindrical fibres would allow for a higher porosity value.

The commercial and the conceptually designed insect-proof nets were accurately modelled based on actual geometrical characteristics (not as homogenous porous domains) to estimate the aerodynamic coefficients depending on their mesh/fibres geometry. However, it would be unreasonable to model the exact dimensions of a laboratory wind tunnel (such as the one used for the validation of numerical model with cross-section dimensions of 0.5m x 0.5m) and the entire net sample, since the insect-proof nets fibres have dimensions at the order of a hundred microns. Meshing such a model would require a huge amount of elements and would lead to a significantly time-consuming solution. The three net segments were simulated to be inside a wind tunnel numerical model of similar dimensions (Figure 1). This would not affect the solution since the agricultural nets are patterns of the same cross-shape (dashed-line rectangle in Figure 1 (right)) at both the horizontal - X and perpendicular - Y dimensions.

For Figure 1 (right): X_{open} : is the open area of a pore at x-direction; Y_{open} : is the open area of a pore at y-direction; F_{t-warp} : is the fibre thickness for the perpendicular fibres; F_{t-weft} : is the

fibre thickness for the horizontal fibres (thickness when a fibre is not cylindrical is defined as the projected thickness on the net plane).

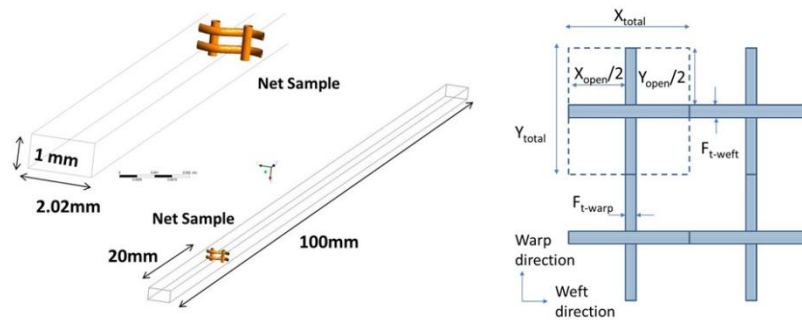


Figure 1. The wind tunnel and the insect-proof net (Arri50) sample model (left); Net sample model; cross-shaped pattern (right)

Arri50 insect-proof net model

The dimensions of the Arri50 numerical model are shown in Figure 2. For design purposes, it was assumed that the fibres had the same thickness/diameter of $244\mu m$ in both directions (Arri50 net measured values: $245\mu m$, warp direction; $242\mu m$, weft direction). This assumption imposed a small difference for the weft direction fibres open area ($764\mu m$ instead of $771\mu m$). The cross sectional-area of the model fibres was equal to $46736 \mu m^2$ per fibre, while the measured Arri50 cross-sectional area had a value of $45973 \mu m^2$ (weft direction) and $47120 \mu m^2$ (warp direction). The porosity for the numerical model was calculated equal to 39.3% (measured porosity: 39.6%). All the numerical model dimensions differences were imposed to allow for better modelling of the weaving between the warp and weft direction fibres. However, in all cases the differences of the dimensions were equal to 1-2 microns.

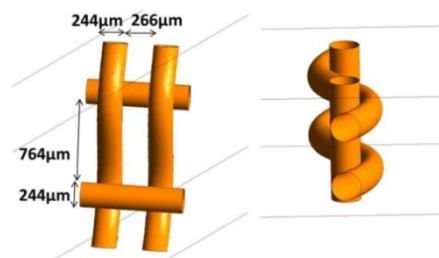


Figure 2. The Arri50 insect-proof net model

Insect-proof nets with oval fibres model

Figure 3 (left) presents the numerical model of a combined cylindrical (weft) / oval (warp) mesh configuration. The weft direction cylindrical fibres were similar to the Arri50 validation model. The warp direction fibres were modelled to be oval shaped. This way, the contact face (Figure 3, left) of the oval warp fiber with the incoming airflow, changed to a half circular segment of $200\mu m$ diameter as compared to the cylindrical fiber with a corresponding contact face diameter of $244\mu m$ (circular cross-section). Dimensions were chosen so that the oval shaped cross-section is not far from the circular one. The cross-section area of the oval shaped fibres was similar to the cylindrical ones having a value of $46600\mu m^2$. On the other hand, the selection of the oval shape for the warp direction fibres

increased the net model porosity to 45.5% (Arri50 porosity: 39.6%, measured; 39.3%, numerical model).

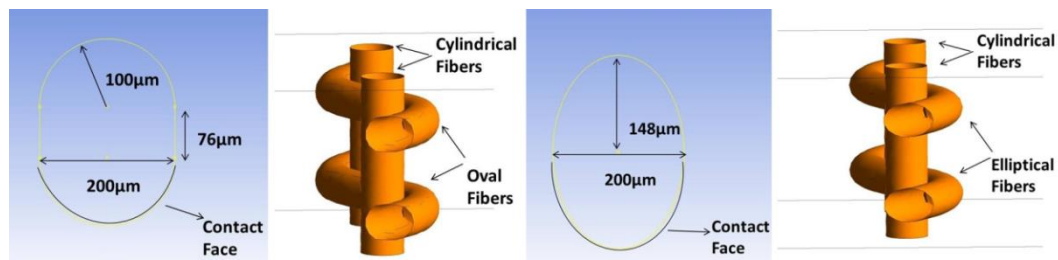


Figure 3. Oval shaped fibres (left) and elliptical shaped fibres(right) warp fibres

Insect-proof nets with elliptical fibres model

The combined cylindrical (weft) / elliptical (warp) mesh configuration and the dimensions of the elliptical cross-section are given in Figure 3 (right). The contact face in this case is half the elliptical cross-section and the corresponding minor axis of the elliptical cross-section was selected to be equal to $200\mu\text{m}$ for comparison purposes with the oval fibres. The cross-section area was equal to $46472\mu\text{m}^2$ while the net model porosity was equal to 45.5%.

Table 1 summarizes the geometrical characteristics of the conceptual net numerical models and the commercial Arri50 net sample that was tested at the laboratory wind tunnel.

Table 1. Dimensions of the conceptual insect-proof nets numerical models and the commercial Arri50 net tested in the laboratory

	X-open (μm)	Y-open (μm)	Ft-warp (μm)	Ft-weft (μm)	Porosity (%)	Cross-Section Area (μm^2)	Circumference (μm)	Mesh
Laboratory tested insect-proof net								
Arri50	264	771	242	245	39.6	45973 / 47120*	759.9/ 769.3*	50
Numerically modelled insect-proof nets								
Arri50	266	766	244	244	39.3	46736	766.2	50
Cylindrical –Oval	300	766	200	244	45.5	46600	780	50
Cylindrical –Elliptical	300	766	200	245	45.5	46472	786	50

* Fibres thickness at the warp and weft directions

Mesh of the numerical models, turbulence models and boundary conditions

The finite volume mesh consisted of 3D tetrahedral elements around the net fibres and 3D hexahedral elements for the rest of the wind tunnel (Figure 4). Inflation layers (www.comsol.com) were used around the fibres so that the wall y^+ value is defined, required when using low-Re (low Reynolds) turbulence models (e.g. the $k-\omega$ SST model). For the numerical analyses y^+ was equal to 0.1. The mesh consisted of approximately 270000 elements and 123700 nodes in all the numerical models.

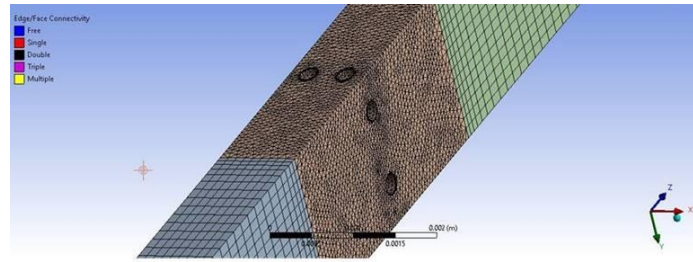


Figure 4. Mesh of the numerical model

Three different turbulence models were used for the numerical simulation that represented the laboratory test (wind tunnel) of the Arri50 insect-proof net. They were all low Reynolds models: the $k-\omega$; the $k-\omega$ SST (Shear Stress Transport); and the Spalart-Allmaras turbulence model (www.comsol.com).

Boundary conditions were defined so that the wind tunnel model would represent the laboratory wind tunnel test as accurately as possible. The inlet velocity was constant with values up to 2.5 m s^{-1} (similar to the laboratory experiment). The turbulence intensity at the model inlet was set to be very low (1%) enforcing an almost laminar inlet airflow. At the outlet the pressure was set to zero while for the wind tunnel model walls, only vertical to the wall velocities were equal to zero). The walls were simulated as frictionless barriers so that the conditions of the larger size laboratory wind tunnel would be simulated.

3. Results and discussion

3.1 Arri 50 insect-proof net – Validation model

Figure 5 presents the pressure drop windward and leeward of the net model for velocities up to 2.5 m s^{-1} . All three turbulence models were tested. All solutions are in very good agreement with the wind tunnel experiment. Second order regression lines would provide the aerodynamic coefficients α (kg m^{-3}) and β ($\text{kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

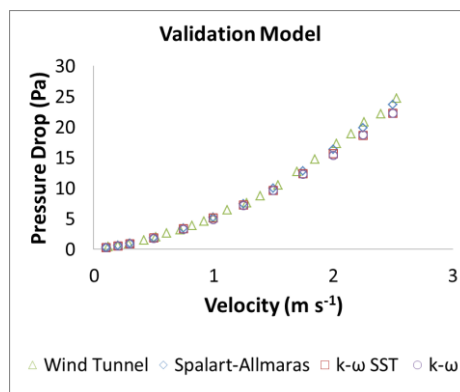


Figure 5. Estimated aerodynamic coefficients for the numerically modelled Arri50 net

The aerodynamic coefficients calculated by the numerical models are provided in Table 2. The aerodynamic coefficients of the Arri50 insect-proof net, as measured in the laboratory are also included for comparison purposes. For all the applied turbulence models, the numerical and experimental results are in good agreement verifying the validity of the computational model. The Spalart-Allmaras turbulence model produced the best results, regarding the aerodynamic coefficients α (kg m^{-3}) and β ($\text{kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) and was applied for the rest of the numerical simulations.

Table 2. Aerodynamic coefficients (Arri50 net sample): wind tunnel; numerical analysis

Aerodynamic coefficients		
	α ($kg\ m^{-3}$)	β ($kg\ m^{-2}\ s^{-1}$)
Laboratory tests	2.942	2.396
Numerical Analysis / Turbulence model		
<i>k-ω</i>	2.527	2.640
<i>k-ω SST</i>	2.585	2.491
<i>Spalart-Allmaras</i>	2.818	2.461

3.2 Oval Warp Fibres

Figure 6 (left) shows the air pressure drop between the windward and leeward net side as the impinging velocity value increases, for the case where the warp direction fiber was oval-shaped. The second order regression line reveals the values of the aerodynamic coefficients: $\alpha = 1.753$ ($kg\ m^{-3}$); $\beta = 2.302$ ($kg\ m^{-2}\ s^{-1}$). The correlation coefficient $R^2 = 0.999$ proves that the pressure drop-velocity relationship follows the Forchheimer equation (Equation 1)

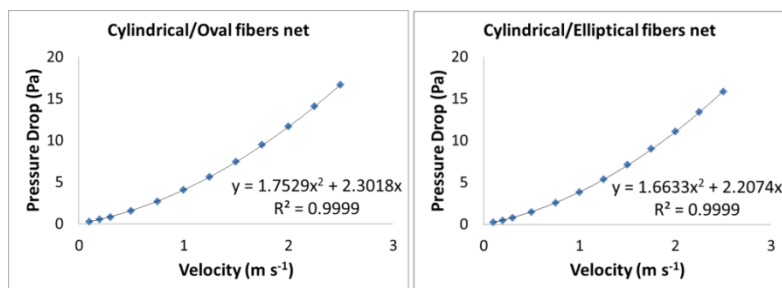


Figure 6. Estimation of the aerodynamic coefficients: Cylindrical (weft)/oval (warp) fibres net model (left); Cylindrical (weft)/elliptical (warp) fibres net model (right)

3.3 Elliptical Warp Fibres

Figure 6 (right) presents the estimation of the aerodynamic coefficients of the net model with a mesh structure which consisted of elliptical warp fibres. For this case, $\alpha = 1.663$ ($kg\ m^{-3}$); $\beta = 2.207$ ($kg\ m^{-2}\ s^{-1}$), as given by the second order regression line of the graph. A correlation coefficient of approximately 1 ($R^2 = 0.999$) can be observed here as well.

3.4 Conclusions

Table 3 summarizes the aerodynamic coefficients' values that were numerically estimated for the three different mesh structure cases. Changing the warp cylindrical fibres to oval or elliptically shaped fibres, with their minimum axes perpendicular to the impinging airflow, appears to improve their aerodynamic behaviour when compared to the typical net mesh structure of cylindrical fibres in both the warp and weft directions.

The thickness and the corresponding projected contact face area of the fiber that interacts with the incoming air were shown to be significant factors for the aerodynamic behaviour of the net sample. The best results were obtained for the mesh fibres configuration cylindrical (weft)/elliptical (warp) fibres. This can be attributed to the more aerodynamic shape of the elliptical contact face relatively to the oval contact face.

Furthermore, Table 3 shows significantly reduced values for the quadratic aerodynamic coefficient α ($kg\ m^{-3}$): ($1.663\ kg\ m^{-3}$, elliptical; $1.753\ kg\ m^{-3}$, oval; $2.818\ kg\ m^{-3}$, cylindrical), while for the linear coefficient β ($kg\ m^{-2}\ s^{-1}$) the reductions are quite small ($2.207\ kg\ m^{-2}\ s^{-1}$,

elliptical; 2.302 kg m⁻³, oval; 2.461 kg m⁻³, cylindrical). This is of critical importance, since for design purposes, where high wind velocity values are considered, the quadratic aerodynamic coefficient becomes very important and the linear one is usually neglected.

Table 3. Aerodynamic coefficients of the numerical net models with different conceptual mesh characteristics

Aerodynamic coefficients		
Net Model (weft/warp)	α (kg m⁻³)	β (kg m⁻² s⁻¹)
<i>Cylindrical / Cylindrical (Arri50)</i>	2.818	2.461
<i>Cylindrical / Oval</i>	1.753	2.302
<i>Cylindrical / Elliptical</i>	1.663	2.207

This work represents a preliminary numerical study aiming at improving the ventilation rates in insect-proof nethouses without compromising the mechanical performance of the cover by designing innovative nets with of mesh structures of enhanced aerodynamic characteristics. Results are very promising and additional combinations of fibres geometries and mesh configurations are to be tested. Since the tensile strength of a fibre depends on the mechanical characteristics of the fibre material, shifting from circular to close-to-circular, oval and elliptical cross-sections and retaining the same cross-sectional area of the wrap fibres, could be very beneficial regarding the aerodynamic properties of such types of nets. However, this assumption is related to a single fibre and cannot be directly representative of the mechanical properties of the net mesh, which is a structure of weaved fibres. Additional research work on the mechanical and the aerodynamic behavior of different fibre and mesh structures of insect-proof nets, such as the ones investigated in the present work, could be the next step towards a new generation of commercial insect-proof nets offering enhanced ventilation.

Acknowledgements

This research was implemented within the framework of the research project «SmartNethouse» (code:865) supported by the Hellenic Foundation of Research and Innovation (HFRI) of the General Secretariat of Research and Technology (GSRT).

References

- Biorete 3350BT 50-mesh[®], Arrigoni (2018). <https://www.arrigoni.it/agrotextile/?lang=en>
- Boulard, T., Fargues, J., Roy, J-C. and Pizzol, J., 2011. *Improving air transfer through insect proof screens*. Acta Horticulturae, 893, 289-296.
- D. Briassoulis, D., Mistriotis, A., Eleftherakis, D., 2007. *Mechanical behaviour and properties of agricultural nets—Part I: Testing methods for agricultural nets*. Polymer Testing, 26, 822-832
- Giannoulis, A., Briassoulis, D., Papadaki, N. G. and Mistriotis, A., 2021. *Evaluation of insect-proof agricultural nets with enhanced functionality*. Biosystems Engineering, 208, 98-112. <https://www.comsol.com/blogs/which-turbulence-model-should-choose-cfd-application/>
- Tanny, J., Cohen, S. and Teitel, M., (2001). *Screenhouse Microclimate and Ventilation: an Experimental Study*. Biosystems Engineering, 84 (3), 331–341.
- Ultra-R[®], MDB Texinov, (2019). <https://www.protection-textile-agriculture.texinov.com/en/>

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΡΟΩΝ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΕ ΕΝΥΔΡΕΙΟΠΟΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

**Μαρία Ασλανίδου¹, Αγγελική Ελβανίδη¹, Βαγγέλης Βασιλειάδης² και Νικόλαος
Κατσούλας¹**

¹Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος,
Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ε.Π. Βόλος, nkatsoul@uth.gr

²Agrostis, Αγροτικά Πληροφοριακά Συστήματα ΑΕ, Θεσσαλονίκη

Περίληψη

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται η ανάπτυξη ενός εργαλείου προσομοίωσης των ροών νερού και θρεπτικών στοιχείων σε ένα ενυδρειοπονικό σύστημα. Κύριος σκοπός ανάπτυξης του μοντέλου ήταν η πρόβλεψη της συγκέντρωσης των κύριων μακροθρεπτικών στοιχείων στο διάλυμα ιχθυοκαλλιέργειας το οποίο αποτελεί και το θρεπτικό διάλυμα που εισάγεται στα υδροπονικά κανάλια φυτικής καλλιέργειας. Μελετήθηκαν 3 σενάρια διαφορετικής ιχθυοπυκνότητας τιλάπιας και η επίδραση τους στην συγκέντρωση νιτρικών και φωσφορικών θρεπτικού διαλύματος καλλιέργειας τομάτας. Το σύστημα αφορά πιλοτική κλίμακα και αντιστοιχεί σε χρονικό διάστημα 60 ημερών. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων η εφαρμογή ιχθυοπυκνότητας 35 kg m^{-3} αποτελεί την ιδανικότερη περίπτωση όσον αφορά στα επίπεδα αμμωνίας στο σύστημα ιχθυοκαλλιέργειας αλλά και νιτρικών στο σύστημα καλλιέργειας τομάτας συγκριτικά με τις αντίστοιχες τιμές των ιχθυοπυκνοτήτων 25 kg m^{-3} και 45 kg m^{-3} .

Λέξεις κλειδιά: λογισμικό, ενυδρειοπονικό σύστημα, ιχθυοπυκνότητα, νιτρικά, φωσφορικά

SIMULATION OF WATER AND NUTRIENTS FLOW IN AN AQUAPONIC SYSTEM

Maria Aslanidou¹, Angeliki Elvanidi¹, Vangelis Vassiliadis¹ and Nikolaos Katsoulas¹

¹University of Thessaly, Department of Agriculture Crop Production and Rural Environment, Lab. of
Agricultural Constructions and Env. Control, Volos, Greece, nkatsoul@uth.gr

²Agrostis, Agricultural Information Systems, Thessaloniki

ABSTRACT

The work presents the simulation results of a model developed to simulate the water and nutrients flow in an aquaponic system. The aim of the integration of this model is the prediction of the fluctuation of macronutrients in aquaculture solution and at the same time in the nutrient solution irrigated in the hydroponic channels. Three case studies on fish density are performed in a closed pilot-scale aquaponic system combining tilapia breeding and tomato cultivation. The field of research concerns the fluctuation of nitrate and phosphorous in the aquaculture and drainage solution respectively. According to the results, the application of 35 kg m^{-3} represents the best case combining the best price of ammonia concentration in the aquaculture system and nitrate concentration in the hydroponic solution between 25 and 45 kg m^{-3} , respectively.

Keywords: model, aquaponic system, aquaculture, nitrate, phosphorous

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στόχος των σύγχρονων συστημάτων παραγωγής τροφής στις μέρες μας είναι η αύξηση της παραγόμενης τροφής ανά μονάδα εισροών και η μείωση ή αξιοποίηση των εκροών. Η αρχή λειτουργίας των ενυδρειοπονικών συστημάτων αφορά στην εκμετάλλευση των εκροών ενός κλειστού εντατικοποιημένου συστήματος ιχθυοκαλλιέργειας με στόχο την βιώσιμη υδροπονική καλλιέργεια φυτών (Palm et al. 2018). Η εύρυθμη λειτουργία ενός κλειστού ενυδρειοπονικού συστήματος προϋποθέτει το σωστό σχεδιασμό των επιμέρους συστημάτων του και την όσο το δυνατόν στοχευμένη διαχείριση του υδατικού διαλύματος (Tyson et al. 2011). Οι Rakocy et al. 2006, πρωτοπόροι στη σύγχρονη ενυδρειοπονία, αναπτύσσουν με λεπτομέρεια τα βήματα σχεδιασμού ενός ενυδρειοπονικού συστήματος, τονίζοντας τη σημαντικότητα της διαδικασίας αλλά και την πολυπλοκότητα των παραμέτρων που πρέπει να ληφθούν υπόψη.

Ο σωστός σχεδιασμός λοιπόν ενός ενυδρειοπονικού συστήματος αποτελεί μια πρόκληση καθώς διαφορετικοί παράγοντες και παράμετροι πρέπει να συμπεριληφθούν. Η πρόσφατη εισαγωγή του αυτοματισμού και των έξυπνων στρατηγικών στον τομέα της γεωργίας έδωσε ώθηση για μια πιο ευέλικτη και ελεγχόμενη διαδικασία παραγωγής τροφής (Martinez et al. 2019). Με την ανάπτυξη συστημάτων λήψης αποφάσεων και υπολογιστικών μοντέλων είναι δυνατός ο ακριβέστερος σχεδιασμός αλλά και η πρόβλεψη τυχόν δυσλειτουργιών που θα αποφέρουν μείωση της απόδοσης των παραγόμενων μονάδων τροφής. Επίκεντρο διερεύνησης και μοντελοποίησης σε ένα ενυδρειοπονικό σύστημα αποτελεί το ισοζύγιο θρεπτικών, που αντί να απορριφθούν στο περιβάλλον από το σύστημα ιχθυοκαλλιέργειας, συνεισφέροντας στο φαινόμενο του ευτροφισμού, αξιοποιούνται από μια φυτική καλλιέργεια (Pagand et al., 2000; Lastiri et al., 2018).

Σκοπός της εργασίας είναι η παρουσίαση ενός ανεπτυγμένου λογισμικού, που προσομοιώνει τη συγκέντρωση των κύριων θρεπτικών στοιχείων καλλιέργειας φυτών στα δύο υποσυστήματα ενός ενυδρειοπονικού συστήματος. Η προσομοίωση των θρεπτικών στοιχείων στο διάλυμα της ιχθυοκαλλιέργειας με ακρίβεια, συνεπάγεται την επίγνωση της κύριας σύστασης του θρεπτικού διαλύματος που θα διοχετευτεί στα υδροπονικά κανάλια. Συνεπώς είναι δυνατή η εκτίμηση ανάγκης προσθήκης λιπασμάτων με στόχο την πλήρη κάλυψη των αναγκών θρέψης των φυτών. Το λογισμικό είναι σχεδιασμένο ώστε η παραμετροποίηση του φυσικού συστήματος να είναι εύκολη και δυναμική (οριζόμενη από τον χρήστη) και να προσαρμόζεται ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας, την τάξη μεγέθους του συστήματος ιχθυοκαλλιέργειας, την ιχθυοπυκνότητα, αλλά και τις παραμέτρους ποιότητας νερού που επικρατούν.

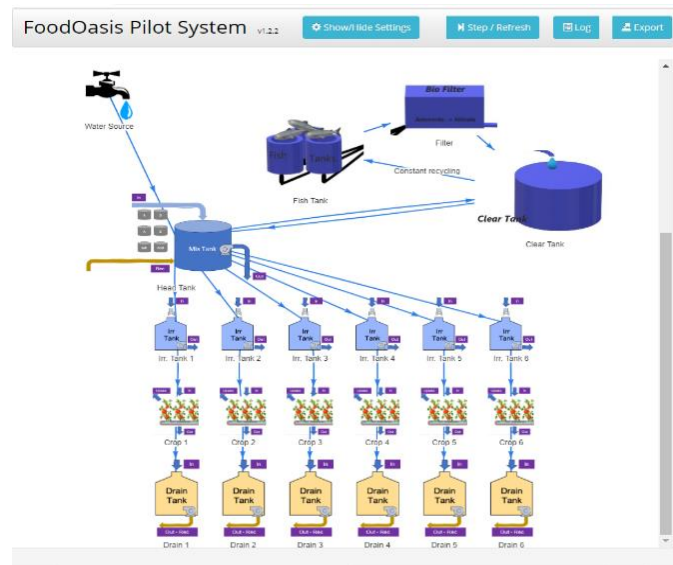
Η παρουσίαση των δυνατοτήτων του λογισμικού επικεντρώνεται σε τρία διαφορετικά πειραματικά σχέδια ενός συστήματος ενυδρειοπονίας προβλέποντας τις επιπτώσεις διαφορετικής ιχθυοπυκνότητας στη συγκέντρωση νιτρικών (NO_3^-) και φωσφορικών (PO_4^{2-}) του τελικού διαλύματος που θα διοχετευθεί σε υδροπονική καλλιέργεια τομάτας.

2. ΥΛΙΚΑ-ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Παρουσίαση λογισμικού

Το λογισμικό αναπτύχθηκε με βάση τη μεθοδολογία model-based reasoning όπου το φυσικό σύστημα ενυδρειοπονίας προσομοιώθηκε ως ένα σύστημα εξισώσεων (μαθηματικό μοντέλο) που περιγράφει τις σχέσεις μεταξύ των παραμέτρων και των μεταβλητών των φυσικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στο σύστημα (ροές, συγκεντρώσεις θρεπτικών κ). Παράλληλα υλοποιήθηκε ως ένα φυσικό σύστημα από μέρη (components), τα οποία συνδέονται με αποτέλεσμα οι έξοδοι του ενός να αποτελούν εισόδους για το άλλο μέρος.

Όπως κάθε εκτελέσιμο μοντέλο, έτσι και το παρόν λογισμικό, περιλαμβάνει ένα σύνολο από κόμβους (Nodes), όπου ο καθένας αναπαριστά ένα υποσύστημα του φυσικού ενυδρειοπονικού συστήματος που είναι: 1) οι δεξαμενές ψαριών, 2) το βιολογικό φίλτρο, 3) η καθαρή δεξαμενή, 4) η κεφαλή υδρολίπανσης, 5) οι δεξαμενές άρδευσης, 6) τα υδροπονικά κανάλια, 7) οι δεξαμενές απορροής και 8) η πηγή καθαρού νερού (Εικόνα 1).



Εικόνα 1: Απεικόνιση των επιμέρους τμημάτων του λογισμικού που αντιπροσωπεύει ένα ενυδρειοπονικό σύστημα

Fish Tank

→ Design Parameters

Number of Fishes (S)	no	418
Biomass (B)	g/fish	12
Period Start	YYYY-MM-DD [HH:]	0
Food quantity (FA)	g	500
Biomass Perc. (PW)	0..1	0.05
FCR	n/a	10
Protein content (PC)	0..1	0.47
Protein conversion coefficient (C)	0..1	0.16
Ποσοστό μεταβολισμού Αμινοξέων (TAN)	0..1	0.33
PF	0..1	0.88
NH3 break-out in water factor (B)	0..1	0.00475
Nutrients	C:PC36 C:K C:Ca	
Nutrient Content in food	mg/kg	500 7.74 1.88

α

Crop 1

→ Design Parameters

Period Start	YYYY: MM: DD [HH:]	2020-08-22 08:00
Crop Area	Sq.m	18
Nutrients	C:NO3 C:PO4 C:K C:Ca C:NH4	
Uptake coef. (a)		1.61 1.08 1.78 1.06 1.13
Uptake coef. (b)		0.92 0.98 0.89 0.95 1.08
Crop Uptake Ratio(1-a)(0..1)		0.3
Irradiation level	n/a	1000
Crop uptake mode		Fixed
plant_type	n/a	Cucumber
number_of_plants	n/a	46

→ Initial Values

β

Εικόνα 2: Διεπαφές δεξαμενών ιχθύων (α) και υδροπονικών καναλιών (β) στο λογισμικό συστήματος ενυδρειοπονίας.

Η παραμετροποίηση των επιμέρους τμημάτων πραγματοποιείται στους πίνακες ιδιοτήτων (Design parameters) όπου εξακριβώνονται οι κύριες παράμετροι και περιγράφονται τα βασικά χαρακτηριστικά του συστήματος (μονάδες, πληθυσμοί και είδη φυτών και ψαριών κ.α.). Για παράδειγμα για την εκτίμηση της συγκέντρωσης νιτρικών στο σύστημα ιχθυοκαλλιέργειας είναι αναγκαίο να εισαχθεί στον "κόμβο" Fish tanks, ο συνολικός αριθμός των ψαριών, το ατομικό τους βάρος, η ποσότητα τροφής που δίνεται και

άλλες παράμετροι όπως παρουσιάζονται στην Εικόνα 2α. Για την εκτίμηση της συγκέντρωσης του στοιχείου στο διάλυμα απορροής της καλλιέργειας πρέπει να συμπληρωθούν στον “κόμβο” CROP, η καλλιεργούμενη έκταση, οι συντελεστές απορρόφησης θρεπτικών των φυτών, το ποσοστό απορροής κ.α. (Εικόνα 2β).

Το λογισμικό έχει τη δυνατότητα να προσομοιώνει τις συγκεντρώσεις όλων των κύριων μακροθρεπτικών στοιχείων στα δύο κύρια σημεία του ενυδρειοπονικού συστήματος που είναι το νερό στις δεξαμενές των ψαριών (Εξίσωση 1) και το διάλυμα απορροής της καλλιέργειας (Εξίσωση 2).

$$C_{input\ NO_3} = \frac{EsC \times PW \times CF \times Pc \times C \times (1-a) \times 1.21589 \times b \times c}{Vst + CW + Cdr} \quad (1)$$

$$C_{dr} = \frac{A_{input} \times V_{st} - (d \times C_{dr}^{a_e})}{V_{dr}} \quad (2)$$

όπου EsC η εκτιμώμενη ποσότητα μεταβολιζόμενου προϊόντος στη δεξαμενή των ψαριών (%), CF η ποσότητα της τροφής ψαριών (g), PW το ποσοστό κατανάλωσης τροφής (%), Pc η περιεκτικότητα του στοιχείου στην τροφή ψαριών ($mg\ g^{-1}$), C ο συντελεστής μετατρεψιμότητας της πρωτεΐνης σε άζωτο, a το μοριακό βάρος της αμμωνίας, b η αναλογία μοριακού βάρους αμμωνίας προς νιτρικά που προκύπτει από τις οξειδωτικές αντιδράσεις, c ο συντελεστής απόδοσης του φίλτρου (%), Cw η συγκέντρωση του στοιχείου που προκύπτει από την προσθήκη νερού ύδρευσης στο σύστημα ($mg\ L^{-1}$), Vst ο συνολικός όγκος νερού του συστήματος (L) και Cdr η συγκέντρωση του στοιχείου στο διάλυμα απορροής ($mg\ L^{-1}$). Οι συντελεστές d και e αφορούν την καλλιέργεια και υπολογίζονται μέσω της ανάλυσης γραμμικής παλινδρόμησης. Οι συμβολισμοί Vdr, Ainput και Vbr αντιστοιχούν στον όγκο απορροής της καλλιέργειας (L), στην ποσότητα του θρεπτικού που περιέχεται στο θρεπτικό διάλυμα που ποτίζεται στην καλλιέργεια (mg) και στον όγκο νερού που απορρόφησαν τα φυτά αντίστοιχα (L).

Η διαστασιολόγηση του συστήματος ορίζεται από τον χρήστη χρίζοντας το λογισμικό ευέλικτο για προσομοίωση οποιασδήποτε κλίμακας. Πιο συγκεκριμένα στον “κόμβο” Fish tanks εισάγεται στην περιοχή δεδομένων Initial Values ο συνολικός όγκος νερού του συστήματος ιχθυοκαλλιέργειας, ενώ στον “κόμβο” CROP, η καλλιεργούμενη έκταση (m^2). Η αξιολόγηση διαφορετικών σεναρίων μπορεί να γίνει και στο σύστημα της ιχθυοκαλλιέργειας αλλά και της υδροπονικής καλλιέργειας χωριστά με τελικό αντικείμενο διερεύνησης τη συγκέντρωση θρεπτικών στα δύο σημεία του συστήματος.

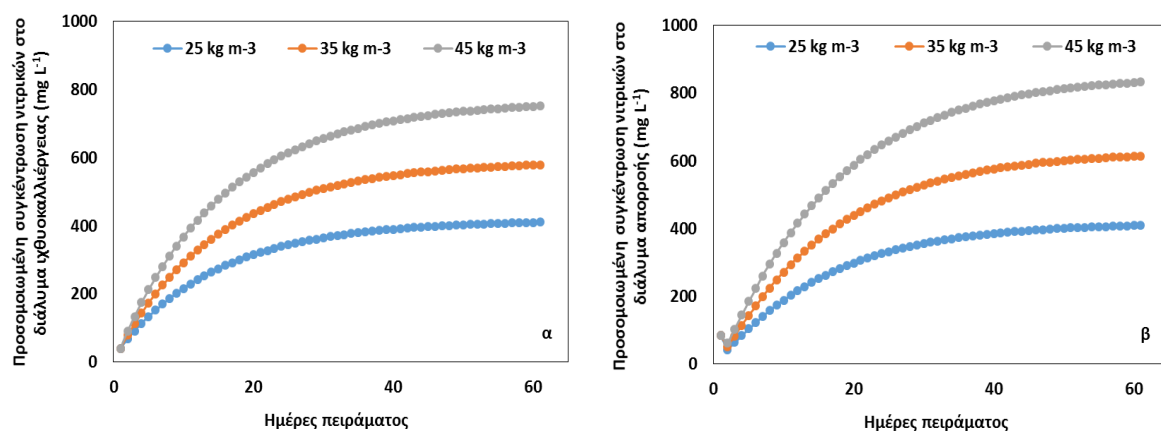
2.2. Σενάρια

Η διερεύνηση της παρούσας εργασίας αφορά στη διακύμανση της συγκέντρωσης νιτρικών και φωσφορικών στο διάλυμα ιχθυοκαλλιέργειας μετά την εφαρμογή διαφορετικών ιχθυοπυκνοτήτων που θα διοχετευθεί ως θρεπτικό διάλυμα σε υδροπονική καλλιέργεια τομάτας και στο διάλυμα απορροής. Τα σενάρια διαχωρίζονται σε ιχθυοπυκνότητες: 1) $25\ kg\ m^{-3}$, 2) $35\ kg\ m^{-3}$ και 3) $45\ kg\ m^{-3}$. Το μέσο ατομικό βάρος των ψαριών ανέρχεται στα 100 g ενώ το επίπεδο διατροφής τους σε 3% επί τη συνολική βιομάζα (Cai et al., 2018). Θεωρείται ότι επικρατούν ευνοϊκές συνθήκες στο νερό ιχθυοκαλλιέργειας για την εκτροφή τιλάπιας (*Oreochromis niloticus*) θερμοκρασίας νερού $25^\circ C$ και pH που κυμαίνεται στην τιμή 7,5 (El-Sherif and El-Feky, 2009). Το γραμμομοριακό κλάσμα της πρωτεΐνης ανέρχεται στην τιμή 0,035 (Huguenin and Colt, 2002). Όσον αφορά στο ισοζύγιο νερού θεωρείται ότι αφαιρείται καθημερινά το 10% του συνολικού όγκου νερού ιχθυοκαλλιέργειας και στο παρόν σύστημα ανέρχεται στα 600 λίτρα ημερησίως. Ο όγκος αυτός μπορεί να καλύψει ανάγκες νερού ενυδρειοπονικής καλλιέργειας τομάτας (*Solanum lycopersicum*) σε παραγωγικό στάδιο έκτασης $150\ m^2$ με πυκνότητα φύτευσης 4

φυτά m^{-2} . Θεωρείται πως η ποσότητα νερού που αφαιρείται από το σύστημα ιχθυοκαλλιέργειας αξιοποιείται ολοκληρωτικά από την καλλιέργεια με ιδανικό επίπεδο απορροής που κυμαίνεται στο 30%. Το νερό που αφαιρείται αναπληρώνεται με νερό ύδρευσης για τη διατήρηση του όγκου νερού του συστήματος ιχθυοκαλλιέργειας στα $6 m^3$. Το σύστημα είναι κλειστό, καθώς ο όγκος απορροής της καλλιέργειας επιστρέφει καθημερινά στο σύστημα ιχθυοκαλλιέργειας. Η εκτίμηση των συγκεντρώσεων νιτρικών και φωσφορικών υπολογίστηκε για 60 ημέρες.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στο Διάγραμμα 1α, παρουσιάζεται η διακύμανση της προβλεπόμενης συγκέντρωσης νιτρικών στο διάλυμα ιχθυοκαλλιέργειας για τις τρεις διαφορετικές ιχθυοπυκνότητες αντίστοιχα. Και στις τρεις περιπτώσεις παρατηρείται συσσώρευση του στοιχείου με τη διαφορά ότι με βάση την ιχθυοπυκνότητα αλλάζει η ποσότητα αμμωνίας (NH_3^-) που προστίθεται καθημερινά στο σύστημα και συνεπώς τα νιτρικά που προκύπτουν από τη νιτροποιητική διαδικασία. Ο ρυθμός συσσώρευσης του στοιχείου αυξάνεται όσο αυξάνεται και ο αριθμός των ψαριών με τη μεγαλύτερη έως την μικρότερη ιχθυοπυκνότητα, να παρουσιάζουν κατά μέσο όρο αύξηση κατά $3,51 mg L^{-1}$, $3,91 mg L^{-1}$ και $4,2 mg L^{-1}$ ημερησίως αντίστοιχα. Συνεπώς μετά από βαθμονόμηση του μοντέλου με αρχική συγκέντρωση νιτρικών στο σύστημα ιχθυοκαλλιέργειας $40 mg L^{-1}$ η τελική συγκέντρωση νιτρικών την καλλιεργητική μέρα 60 από την μεταφύτευση (D60), προβλέπεται $410,45 mg L^{-1}$ για την ιχθυοπυκνότητα $250 fish m^{-3}$, $620,23 mg L^{-1}$ για τα $350 fish m^{-3}$ και $751,47 mg L^{-1}$ για τα $450 fish m^{-3}$.

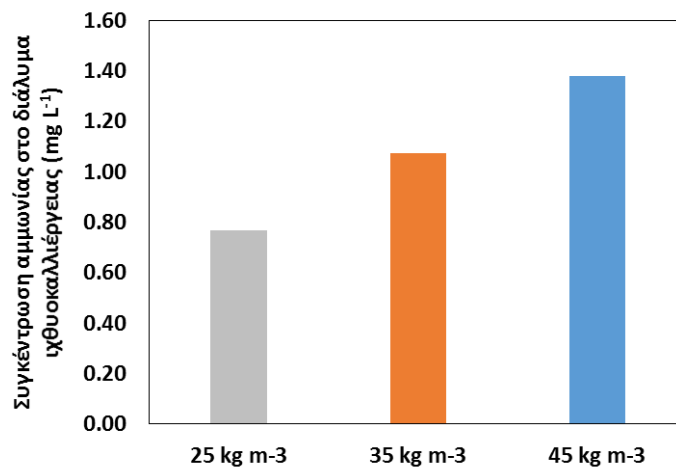


Διάγραμμα 3: Προσομοιωμένη διακύμανση συγκέντρωσης νιτρικών (α) στο διάλυμα ιχθυοκαλλιέργειας και (β) στο διάλυμα απορροής για τρεις διαφορετικές ιχθυοπυκνότητες: 1) $25 kg m^{-3}$, 2) $35 kg m^{-3}$ και 3) $45 kg m^{-3}$.

Στο Διάγραμμα 1β, παρουσιάζεται η διακύμανση της συγκέντρωσης νιτρικών στο διάλυμα απορροής τομάτας για τις τρεις διαφορετικές ιχθυοπυκνότητες αντίστοιχα. Η συγκέντρωση των νιτρικών διαφοροποιείται με βάση την εισερχόμενη συγκέντρωση τους στα υδροπονικά κανάλια καθώς έχει θεωρηθεί ότι απορροφάται ο ίδιος όγκος νερού από την καλλιέργεια και η απορρόφηση του στοιχείου σχετίζεται με τους ίδιους συντελεστές απορρόφησης. Συνεπώς όσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωση του στοιχείου στο θρεπτικό διάλυμα τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η συγκέντρωση απορρόφησης και συνάμα η συγκέντρωση του στο διάλυμα απορροής. Την τελευταία πειραματική μέρα (D60) προβλέπεται συγκέντρωση νιτρικών $409,46 mg L^{-1}$ για την ιχθυοπυκνότητα $25 kg m^{-3}$, $614,46$

mg L⁻¹ για την ιχθυοπυκνότητα 35 kg m⁻³ και 832,54 mg L⁻¹ για την ιχθυοπυκνότητα 45 kg m⁻³ αντίστοιχα.

Η αύξηση της συγκέντρωσης νιτρικών είναι ανάλογη με την αύξηση της ιχθυοπυκνότητας καθώς υπάρχει άμεση αλληλεξάρτηση με την συγκέντρωση της παραγόμενης αμμωνίας ως μεταβολικό προϊόν των ιχθύων. Ο ρυθμός προσθήκης αμμωνίας στο σύστημα θεωρείται σταθερός καθώς εισάγεται καθημερινά η ίδια ποσότητα τροφής. Οι προβλεπόμενες συγκεντρώσεις αμμωνίας που θα επικρατούν στο σύστημα ιχθυοκαλλιέργειας σε ημερήσιο επίπεδο παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 2, για το κάθε σενάριο χωριστά.



Διάγραμμα 4: Προβλεπόμενα επίπεδα συγκέντρωσης αμμωνίας στο σύστημα ιχθυοκαλλιέργειας για κάθε ιχθυοπυκνότητα αντίστοιχα.

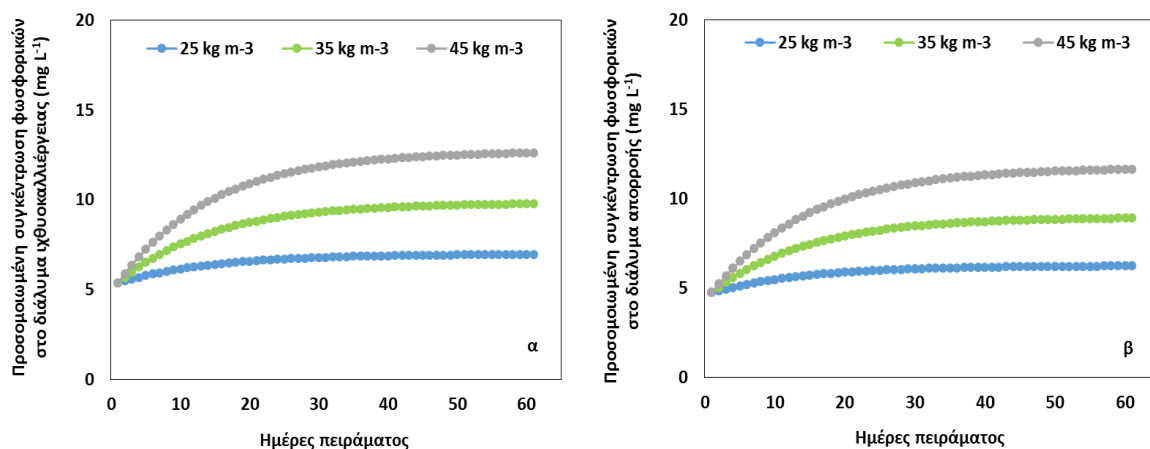
Στα διαγράμματα 3α και 3β παρουσιάζεται η προβλεπόμενη από το λογισμικό εξέλιξη της συγκέντρωσης φωσφορικών στο διάλυμα ιχθυοκαλλιέργειας και απορροής αντίστοιχα. Η τάση μεταβολής του στοιχείου είναι εξίσου αυξητική με τα νιτρικά και στα δύο σημεία με κατά μέσο όρο ρυθμό αύξησης για το διάλυμα ιχθυοκαλλιέργειας 0,43 mg L⁻¹ (25 kg m⁻³), 0,99 mg L⁻¹ (35 kg m⁻³), και 1,4 mg L⁻¹ (45 kg m⁻³) και για το διάλυμα απορροής 0,42 mg L⁻¹ (25 kg m⁻³), 0,95 mg L⁻¹ (35 kg m⁻³), και 1,33 mg L⁻¹ (45 kg m⁻³) αντίστοιχα. Η τελική συγκέντρωση στο διάλυμα ιχθυοκαλλιέργειας την τελευταία πειραματική ημέρα (D60), ανέρχεται στα 6,96 mg L⁻¹, 9,78 mg L⁻¹ και 12,61 mg L⁻¹ συγκριτικά με την αρχική (D0) των 5,36 mg L⁻¹, ακολουθώντας τα σενάρια από την μικρότερη στη μεγαλύτερη ιχθυοπυκνότητα.

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός ψαριών ανά κυβικό μέτρο νερού, τόσο μεγαλύτερη και η προβλεπόμενη συγκέντρωση νιτρικών και φωσφορικών στο θρεπτικό διάλυμα που διοχετεύεται στα φυτά τομάτας. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία μια πρότυπη υδροπονική καλλιέργεια τομάτας απαιτεί συγκέντρωση νιτρικών (NO₃⁻) 762 mg L⁻¹ και φωσφορικών (PO₄⁻²) 142.35 mg L⁻¹ αντίστοιχα (Σάββας, 2011).

Στην περίπτωση της ιχθυοπυκνότητας 45 kg m⁻³, σε διάστημα 60 ημερών προβλέπεται η συγκέντρωση νιτρικών να φτάσει στα 751,47 mg L⁻¹. Η συγκέντρωση αμμωνίας με βάση τα επίπεδα θερμοκρασίας και τιμής pH κρίνεται τοξική για το είδος της τιλάπιας πάνω από 1.1 mg L⁻¹ (OATA, 2008). Στην περίπτωση της ιχθυοπυκνότητας 35 kg m⁻³ η συγκέντρωση της αμμωνίας κυμαίνεται στο όριο (1,07 mg L⁻¹), ενώ στην περίπτωση ιχθυοπυκνότητας 45 kg m⁻³ βρίσκεται πάνω από το επιτρεπτό όριο (1,36 mg L⁻¹), με κίνδυνο τη χρόνια τοξικότητα ή και τον θάνατο των ιχθύων. Επιπλέον τοξικότητα των ιχθύων μπορεί να προκληθεί σε

συγκεντρώσεις νιτρικών (NO_3^-) πάνω από $400\text{-}500 \text{ mg L}^{-1}$ (Somerville et al., 2014). Η εφαρμογή του σεναρίου ιχθυοπυκνότητας 25 kg m^{-3} συνδυάζει χαμηλά επίπεδα αμμωνίας (0.77 mg L^{-1}) και νιτρικών ($410,45 \text{ mg L}^{-1}$).



Διάγραμμα 3: Προσομοιωμένη εξέλιξη συγκέντρωσης φωσφορικών (α) στο διάλυμα ιχθυοκαλλιέργειας και (β) στο διάλυμα απορροής για τρεις διαφορετικές ιχθυοπυκνότητες: 1) 25 kg m^{-3} , 2) 35 kg m^{-3} και 3) 45 kg m^{-3} .

Η επιθυμητή συγκέντρωση φωσφορικών δεν μπορεί να επιτευχθεί σε καμία από τις υποθετικές περιπτώσεις βιομάζας ψαριών παρά μόνο με ιχθυοπυκνότητα 500 kg m^{-3} (5000 fish m^{-3}), με την εφαρμογή της οποίας η τελική (D60) προβλεπόμενη συγκέντρωση φωσφορικών στο διάλυμα ιχθυοκαλλιέργειας είναι $145,7 \text{ mg L}^{-1}$. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία η μεγαλύτερη ιχθυοπυκνότητα που μπορεί να δοκιμαστεί στο είδος τιλάπιας είναι 500 fish m^{-3} (Hundley et al., 2018). Συμπερασματικά το βέλτιστο σενάριο ιχθυοπυκνότητας που μπορεί να εξυπηρετεί και τα δύο συστήματα καλλιέργειας είναι της 35 kg m^{-3} καθώς ανταποκρίνεται και στις θρεπτικές απαιτήσεις των φυτών σε νιτρικά, αλλά και στα ανεκτά όρια διαβίωσης των ιχθύων στο σύστημα ιχθυοκαλλιέργειας. Για την επίτευξη της πρότυπης συγκέντρωσης νιτρικών στην προκειμένη περίπτωση είναι δυνατή η προσθήκη λιπασμάτων, ενώ για την περίπτωση των φωσφορικών κρίνεται επιτακτική, δηλαδή η εφαρμογή μη συζευγμένου ενυδρειοπονικού συστήματος, έτσι ώστε να μην προκύψει θρεπτική καταπόνηση στην καλλιέργεια τομάτας.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπερασματικά διαφαίνεται ότι ο σχεδιασμός ενός ενυδρειοπονικού συστήματος είναι καθοριστικός για την επίτευξη των βέλτιστων αποδόσεων και των φυτών αλλά και των ιχθύων προς οικονομικό και περιβαλλοντικό όφελος συνάμα. Η υλοποίηση λογισμικών διαχείρισης του υδατικού διαλύματος αλλά και πρόβλεψης της συγκέντρωσης των θρεπτικών στοιχείων μπορούν να αποφανθούν πολύτιμα εργαλεία για την εύρυθμη λειτουργία των ενυδρειοπονικών συστημάτων. Το λογισμικό της παρούσας εργασίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο εκτίμησης της βέλτιστης τάξης πληθυσμού ιχθύων που θα αντιστοιχεί σε μια έκταση καλλιέργειας φυτών, λαμβάνοντας υπόψιν όλες τις απαραίτητες παραμέτρους. Η εφαρμογή του μπορεί να γίνει είτε σε εργαστηριακής είτε σε πιλοτικής κλίμακας ενυδρειοπονικά συστήματα.

Ευχαριστίες

Η εργασία υλοποιήθηκε στο πλαίσιο της Δράσης ΕΡΕΥΝΩ – ΔΗΜΙΟΥΡΓΩ - ΚΑΙΝΟΤΟΜΩ και συγχρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση και εθνικούς πόρους μέσω του Ε.Π. Ανταγωνιστικότητα, Επιχειρηματικότητα & Καινοτομία (ΕΠΑνεΚ) (κωδικός έργου:Τ1ΕΔΚ-01153).

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Cai, J., Leung, P., Luo, Y., Yuan, X., & Yuan, Y. (2018). Improving the performance of tilapia farming under climate variation: perspective from bioeconomic modelling. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*, (608), 1-64.
- El-Sherif, M. S., & El-Feky, A. M. I. (2009). Performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings. I. Effect of pH. *International Journal of Agriculture and Biology*, 11(3), 297-300.
- Huguenin, E. J., & Colt, J. (2002). Design and operating guide for aquaculture seawater systems. 2nd Edition. Elsevier Scientific publishes, Amsterdam, The Netherlands. 328pp
- Hundley, G. C., Navarro, F. K. S. P., Ribeiro Filho, O. P., & Navarro, R. D. (2018). Integration of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) production *Origanum majorana* L. and *Ocimum basilicum* L. using aquaponics technology. *Acta Scientiarum. Technology*, 40, e35460-e35460.
- Lastiri, D. R., Geelen, C., Cappon, H. J., Rijnaarts, H. H., Baganz, D., Kloas, W., ... & Keesman, K. J. (2018). Model-based management strategy for resource efficient design and operation of an aquaponic system. *Aquacultural engineering*, 83, 27-39.
- Martinez, P., Ahmad, R., Al-Hussein, M., 2019a. 1580 A vision-based system for pre inspection of steel frame manufacturing. *Automation in Construction*, 97, 151–163. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.10.021>
- Ornamental Aquatic Trade Association (OATA), (2008), Water Quality Criteria ornamental fish. Company Limited by Guarantee and Registered in England No2738119 Registered Office Wessex House, 40 Station Road, Westbury, Wiltshire, BA13 3JN, UK, info@ornamentalfish.org www.ornamentalfish.org. Version 2.0 March 2008.
- Pagand, P., Blancheton, J. P., & Casellas, C. (2000). A model for predicting the quantities of dissolved inorganic nitrogen released in effluents from a sea bass (*Dicentrarchus labrax*) recirculating water system. *Aquacultural Engineering*, 22(1-2), 137-153.
- Palm, H. W., Knaus, U., Appelbaum, S., Goddek, S., Strauch, S. M., Vermeulen, T., ... Kotzen, B. (2018). Towards commercial aquaponics: a review of systems, designs, scales and nomenclature. *Aquaculture International*, 26(3), 813–842. <https://doi.org/10.1007/s10499-018-0249-z>
- Rakocy, J., Masser, M. P., & Losordo, T. (2016). Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics-integrating fish and plant culture.
- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., & Lovatelli, A. (2014). *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper* 589.
- Tyson, R. V., Treadwell, D. D., & Simonne, E. H. (2011). Opportunities and challenges to sustainability in aquaponic systems. *HortTechnology*, 21(1), 1–13. <https://doi.org/10.21273/horttech.21.1.6>
- Σάββας, Δ. (2011). Καλλιέργειες εκτός εδάφους: Υδροπονία, Υποστρώματα. Εκδόσεις ΑγροΤύπος, Αθήνα.

ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΗΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΡΟΗΣ ΑΕΡΑ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΥΠΕΡΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Β.Λάσκος¹, Ν.Μαλαματάρης²,Θ.Κωτσόπουλος¹, Β. Φράγκος¹

¹Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής, Τμήμα Γεωπονίας, Α.Π.Θ.

² Τομέας Χημικής και Βιομοριακής Μηχανικής, Πανεπιστήμιο του Χιούστον

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία μελετά την επίδραση της υπολογιστικής μηχανικής στον υπολογισμό διαφόρων παραμέτρων και μεταβλητών που συνδέονται με γεωργικές κατασκευές και κτίρια (π.χ αποθήκες, ξηραντήρια, θερμοκήπια, πτηνοτροφεία). Πιο συγκεκριμένα προσομοιώνεται η ροή αέρα πάνω και γύρω από μια κατασκευή ορθογωνικού σχήματος, θέτοντας το μοντέλο της κατασκευής μέσα σε μια υποθετική αεροσήραγγα ορισμένου ύψους, πλάτους και μήκους. Οι διαστάσεις της αεροσήραγγας και της κατασκευής πάρθηκαν με βάση πειραματικά δεδομένα. Σκοπός του όλου αριθμητικού πειράματος είναι να υπολογιστούν η ταχύτητα, η πίεση και οι γραμμές ροής σε όλο το μήκος της αεροσήραγγας, αλλά κυρίως γύρω και πάνω από την κατασκευή. Γι αυτό το λόγο διακριτοποιείται το υπολογιστικό πεδίο της ροής σε μικρές κυβικές μονάδες, τα πεπερασμένα στοιχεία, ζητώντας ο υπολογισμός των παραμέτρων να γίνει στους κόμβους κάθε πεπερασμένου στοιχείου. Θεωρώντας σταθερή τη ροή, και θέτοντας τις κατάλληλες οριακές συνθήκες, οι διέπουσες εξισώσεις Navier-Stokes και συνέχειας τοποθετούνται και στη συνέχεια επιλύονται αριθμητικά (άμεση αριθμητική προσομοίωση) χρησιμοποιώντας τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Για την τοποθέτηση των διεπουσών εξισώσεων και την μετέπειτα επίλυσή τους φτιάχτηκε εκτεταμένος κώδικας σε γλώσσα FORTRAN προσαρμοσμένος για παράλληλο προγραμματισμό που έφερε πέρας το σύστημα του υπερυπολογιστή ARIS, το οποίο βοήθησε στην ελαχιστοποίηση του χρόνου και στην καλύτερη πύκνωση, κατάτμηση και διακριτοποίηση του υπολογιστικού πεδίου. Η όλη διαδικασία επίλυσης τελικά καταλήγει σε ένα αλγεβρικό σύστημα μη γραμμικών διαφορικών εξισώσεων που επιλύεται με την επαναληπτική μέθοδο NEWTON-RAPSHON. Η βάση των επαναλήψεων είναι ο αριθμός Reynolds, ο οποίος είναι ανάλογος της ταχύτητας και της χαρακτηριστικής υδραυλικής διαμέτρου της αεροσήραγγας. Θεωρούμε σαν αρχική τιμή $Re=0.02$ και βασιζόμενοι στο αρχικό παραβολικό προφίλ ταχυτήτων υπολογίζονται οι ταχύτητες και οι πιέσεις σε κάθε κόμβο του υπολογιστικού πεδίου. Δίδεται χαρακτηριστικό κριτήριο σύγκλισης τόσο για την ταχύτητα, όσο και για την πίεση. Παρατηρείται ότι η μέθοδος συγκλίνει μέχρι $Re=1425$. Παρουσιάζονται αριθμητικές προβλέψεις των γραμμών ροής, τόσο ανάντη, όσο και κατάντη της κατασκευής σε λεπτομέρεια, ώστε να κατανοηθεί η τριδιαστατικότητα της ροής και η επίδραση του τοιχώματος σε αυτήν, καθώς και η μεταβολή του μήκους ανακυκλοφορίας της ροής σε σχέση με τον αριθμό Re . Οι παραγόμενες γραμμές ροής ανάντη και κατάντη του εμποδίου θα δείξουν τον επηρεασμό της ροής από τα πλευρικά τοιχώματα και την αναγωγή της από την διδιάστατη φύση στην τριδιάστατη.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ ΔΙΧΤΥΩΝ ΕΝΤΟΜΟΣΤΕΓΑΝΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΝΑΝΟΣΩΜΑΤΙΔΙΑ ΠΥΡΙΤΙΟΥ ΣΤΟΝ ΠΛΗΘΥΣΜΟ ΤΩΝ ΕΝΤΟΜΩΝ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΑΕΡΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΔΙΧΤΥΩΝ

Σοφία Φαλιάγκα και Νικόλαος Κατσούλας

¹Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος, Βόλος, nkatsoul@uth.gr

Περίληψη

Η χρήση διχτυών εντομοστεγανότητας στα ανοίγματα ενός θερμοκηπίου προσφέρει το πλεονέκτημα του μερικού ελέγχου του πληθυσμού των εντόμων στο εσωτερικό του αλλά εγκυμονεί μια σειρά κινδύνων που σχετίζονται με τη μείωση του αερισμού λόγω της πυκνότητας των ινών του διχτυού. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η αξιολόγηση i) της εντομοκτόνου δράσης και ii) των αεροδυναμικών χαρακτηριστικών διχτυών με διαφορετικό πορώδες με ή χωρίς επικάλυψη διοξειδίου του πυριτίου (SiO_2), μιας φιλικής προς το περιβάλλον ουσίας. Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας υποδεικνύουν την υψηλή αποτελεσματικότητα ενός διχτυού με σχετικά μεγάλο πορώδες (25 mesh) και επικάλυψη SiO_2 τόσο στον περιορισμό των εντόμων όσο και στη βελτίωση του αερισμού σε σχέση με ένα μη καλυμμένο κοινό πυκνό δίχτυ (40-50 mesh), προάγοντας έτσι φιλικές προς το περιβάλλον καλλιεργητικές πρακτικές στο θερμοκήπιο.

Λέξεις κλειδιά: SiO_2 , πορώδες, εντομοκτόνος δράση, αερισμός, βιωσιμότητα

EFFECT OF SILICA COATING INSECT-PROOF SCREENS ON PEST CONTROL AND SCREENS AERODYNAMIC PROPERTIES

Sofia Faliagka and Nikolaos Katsoulas

¹University of Thessaly, Department of Agriculture Crop Production and Rural Environment, Laboratory of Agricultural Constructions and Environmental Control, Volos, Greece, nkatsoul@uth.gr

Abstract

The use of insect-proof screens in the vent openings of a greenhouse offers the advantage of partial control of the insect population but at the same time, it carries several risks associated with the reduction of ventilation. This study aimed to evaluate i) the insecticidal efficacy as well as ii) the aerodynamic properties of different screens, non-coated or coated with silicon dioxide (SiO_2) nanoparticles, a non-toxic and environmentally friendly substance. The results of the present work demonstrate the high performance of relatively high porosity (25 mesh) SiO_2 -coated screens in reducing insect infestations and ameliorating the ventilation rate compared to a common non-coated dense screen (40-50 mesh), contributing to more environmental friendly cultivation practices in the greenhouse.

Keywords: SiO_2 , porosity, insecticidal efficacy, ventilation, sustainability

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα δίχτυα εντομοστεγανότητας χρησιμοποιούνται ευρέως στη γεωργία ως μέσο προστασίας των καλλιεργειών έναντι βιοτικών ή αβιοτικών παραγόντων, όπως το χαλάζι, η βροχόπτωση, ο άνεμος και τα έντομα. Συνήθως εφαρμόζονται ως φυσικά και μηχανικά εμπόδια στα ανοίγματα αερισμού των θερμοκηπίων για να εμποδίσουν τις εντομολογικές προσβολές περιορίζοντας ταυτόχρονα την εκτεταμένη χρήση συμβατικών χημικών ουσιών (Teitel et al., 2009).

Η ομοιογένεια του μικροκλίματος των θερμοκηπίων σχετίζεται έντονα με τις φυσικές ιδιότητες των δικτύων, όπως η αεροπερατότητα και το πορώδες (López-Martínez et al., 2020). Η χρήση πυκνών δικτύων (αριθμός κλωστών ανά ίντσα) συμβάλλει στην μείωση του πληθυσμού των εντόμων στον εσωτερικό χώρο του θερμοκηπίου αλλά ταυτόχρονα επηρεάζει αρνητικά τόσο τη θερμοκρασία του αέρα όσο και τη σχετική υγρασία στο θερμοκήπιο (Harmanto et al., 2006). Αρκετοί ερευνητές έχουν μελετήσει την επίδραση αυτών των δικτύων στην απόδοση του αερισμού του θερμοκηπίου, καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι η εγκατάστασή τους στα ανοίγματα (π.χ. παράθυρα) μπορεί να μειώσει το ρυθμό αερισμού κατά 50% (Fatnassi et al., 2002; Katsoulas et al., 2006; Kittas et al., 2008), αυξάνοντας παράλληλα τη θερμοκρασία στο χώρο του θερμοκηπίου. Επομένως, στο περιβάλλον του θερμοκηπίου καταγράφονται υψηλότερα επίπεδα θερμοκρασίας τα οποία επηρεάζουν αρνητικά την ανάπτυξη των καλλιεργειών (Kittas et al., 2002; Katsoulas et al., 2006).

Τα τελευταία χρόνια το ερευνητικό ενδιαφέρον έχει στραφεί στην ανάπτυξη βιώσιμων και φιλικών προς το περιβάλλον καλλιεργητικών πρακτικών. Στην προσπάθεια μείωσης της χρήσης χημικών εντομοκτόνων στο χώρο του θερμοκηπίου, πολλές μελέτες έχουν δείξει πολλά υποσχόμενα αποτελέσματα σχετικά με τον εμποτισμό συμβατικών εντομοκτόνων στα νήματα των δικτύων (Dáder et al., 2014; Arthurs et al., 2018). Ωστόσο, αυτή η τεχνική ήταν ανεπαρκής για τον έλεγχο του θρίπα και του αλευρώδη στο εσωτερικό ενός προστατευμένου περιβάλλοντος. Πρόσφατα, το επιστημονικό ενδιαφέρον στράφηκε στη μελέτη των νανοσωματιδίων διοξειδίου του πυριτίου ως μιας μη τοξικής ουσίας για τον έλεγχο των εντόμων και της επακόλουθης μετάδοσης ασθενειών στα φυτά. Ο τρόπος δράσης των νανοσωματιδίων SiO₂ βασίζεται στην προσκόλληση τους στην επιδερμίδα των εντόμων και στην απορρόφηση τους από τα επιδερμικά τους λιπίδια, καταστρέφοντας το κηρώδες προστατευτικό τους περίβλημα, με αποτέλεσμα τον θάνατο μέσω της αυξανόμενης απώλειας υγρασίας λόγω της αφυδάτωσης (Ayoub et al., 2017).

Οι Faliagka et al. (2020) στην προσπάθεια τους να μελετήσουν την επίδραση του SiO₂ στην θνησιμότητα των εντόμων θερμοκηπίου μελέτησαν διαφορετικούς τύπουςσκευασμάτων νανοσωματιδίων SiO₂ σε μορφή σκόνης στο εργαστήριο συμπεραίνοντας πως το SiO₂ είναι εξαιρετικά αποτελεσματικό ενάντια στις αφίδες, ενός μυζητικού εντόμου που μπορεί να προκαλέσει τεράστιες απώλειες και μείωση στην παραγωγή. Παρόμοια αποτελέσματα παρουσιάστηκαν από τους Agrafioti et al. (2020), μετά την αξιολόγηση της επίδρασης δικτύων εντομοστεγανότητας (50 mesh) οι ίνες των οποίων είχαν καλυφθεί με νανοσωματίδια SiO₂ σε εργαστηριακές δοκιμές. Ωστόσο, οι παραπάνω μελέτες διεξήχθησαν σε εργαστήριο υπό ελεγχόμενες και χαμηλής υγρασίας συνθήκες.

Έτσι, στόχος της εργασίας αυτής είναι να διερευνηθεί αν η χρήση ενός δικτυού με μεγάλο άνοιγμα οπών καλυμμένο με νανοσωματίδια SiO₂ θα μπορούσε να είναι καλύτερη ή τουλάχιστον το ίδιο αποτελεσματική με την περίπτωση χρήσης ενός μη καλυμμένου πυκνού δικτυού που χρησιμοποιείται σήμερα στην πλειοψηφία των εμπορικών θερμοκηπίων. Οι στόχοι αυτής της μελέτης ήταν (α) να προσδιοριστεί η επίδραση της επικάλυψης SiO₂ στις

μηχανικές ιδιότητες τριών ευρέως χρησιμοποιούμενων διχτυών και (β) να μελετηθεί η αποτελεσματικότητα των καλυμμένων με SiO₂ διχτυών στον έλεγχο των εντόμων σε συνθήκες θερμοκηπίου.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Αξιολόγηση της εντομοκτόνου δράσης των SiO₂ διχτυών

Στις θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, στην περιοχή του Βελεστίνου (39° 22', 22° 44', 85 m) έλαβε χώρα ένα πείραμα με σκοπό την αξιολόγηση της εντομοκτόνου δράσης των καλυμμένων με διοξείδιο του πυριτίου διχτυών. Έξι θερμοκήπια μικρής κλίμακας (μήκους 1.5 m × 0.8 m πλάτους × 0.9 m ύψους) κατασκευάστηκαν και τοποθετήθηκαν μέσα σε ένα θερμοκήπιο γοθτικού τύπου (25.0 × 9.6 m και ύψος υδρορροής 5.0 m). Ως μάρτυρες του πειράματος ορίστηκαν τρία θερμοκήπια οι πλευρές των οποίων καλύφθηκαν με ένα κοινό δίχτυ σχετικά χαμηλού πορώδους (40 mesh = 40 κλωστές/ίντσα). Τα υπόλοιπα τρία θερμοκήπια μικρής κλίμακας καλύφθηκαν με ένα δίχτυ με μεγάλο άνοιγμα οπών (25 mesh), οι ίνες του οποίου ήταν καλυμμένες με μια σκόνη SiO₂ (Sylobloc[®] S200). Το σκεύασμα S200 αποτελείται από μια άσπρη άμορφη σκόνη που περιλαμβάνει διοξείδιο του πυριτίου σε ποσοστό 99% με μέγεθος σωματιδίων 2.0-4.0 μm.

Κατά τη διάρκεια του πειράματος, 10 γλάστρες με υγιή φυτά φασολιού (*Phaseolus vulgaris* L.) τοποθετήθηκαν στο εσωτερικό κάθε θερμοκηπίου μικρής κλίμακας. Για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των ειδικά κατασκευασμένων διχτυών πυριτίου, πραγματοποιήθηκε μια τεχνητή προσβολή με αφίδες τοποθετώντας ήδη προσβεβλημένα φυτά έξω από κάθε θερμοκήπιο.

Για τον προσδιορισμό του αριθμού των αφίδων που προσέβαλλαν τα φυτά μέσα σε κάθε θερμοκήπιο έγινε δειγματοληψία συνολικά 30 φύλλων (10 φύλλα/θερμοκήπιο/μεταχείριση) και 15 βλαστών (15 βλαστοί/μεταχείριση). Τα δείγματα συλλέγονταν τρεις φορές την εβδομάδα, αποθηκεύονταν προσωρινά σε διαφανείς επανασφραγιζόμενες πλαστικές σακούλες και στη συνέχεια μεταφέρονταν στο εργαστήριο. Ο αριθμός των αφίδων που προσέβαλλαν κάθε φυτικό μέρος καταγράφηκε χρησιμοποιώντας ένα στερεοσκόπιο (Leica / Wild M3Z Stereo Microscope, Leica Biosystems).

2.2. Αξιολόγηση της επίδρασης των SiO₂ διχτυών στον αερισμό

Για την αξιολόγηση της επίδρασης του διοξειδίου του πυριτίου στην αεροπερατότητα των διχτυών, πραγματοποιήθηκε μια σειρά μετρήσεων σε μια υποηχητική αεροσήραγγα χρησιμοποιώντας τρία δίχτυα διαφορετικού πορώδους (25, 40, 50 mesh) και τρία δίχτυα με τα ίδια χαρακτηριστικά τα οποία ήταν καλυμμένα με σκόνη SiO₂. Τα δίχτυα προσαρμόστηκαν σε ξύλινα πλαίσια και στην συνέχεια τοποθετήθηκαν κάθετα μέσα στην αεροσήραγγα. Η κατεύθυνση ροής του αέρα ήταν κάθετη προς την επιφάνεια του κάθε διχτυού. Ένα ανεμόμετρο τοποθετήθηκε μπροστά από το δίχτυ για την μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου.

Επιπλέον, τα αισθητήρια ενός μανομέτρου (Wohler DM 2000 Digital Manometer) ρυθμίστηκαν σε δύο διαφορετικά σημεία, μπροστά και πίσω από την επιφάνεια του διχτυού, για την καταγραφή της πτώσης πίεσης.

Για την εκτίμηση της αεροπερατότητας των διχτυών χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση Forchheimer (Molina-Aiz et al., 2009; López-Martínez et al., 2020) (Εξίσωση 1).

$$\frac{\mu}{K_p} u + \rho \frac{Y}{K_p^{0.5} |u|} = \frac{\partial P}{\partial x} \quad (1)$$

Όπου, μ είναι το δυναμικό ιξώδες του αέρα ($\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$), K_p είναι η αεροπερατότητα (m^2), u είναι το ταχύτητα αέρα (m s^{-1}), ρ η πυκνότητα αέρα (kg m^{-3}), Y ο παράγοντας αδράνειας, P η πτώση πίεσης (Pa), και x η κατεύθυνση ροής του αέρα.

Σύμφωνα με την Εξίσωση (1), μια πολυωνυμική εξίσωση δευτέρου βαθμού (Εξίσωση 2) χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των τιμών των K_p και Y (Miguel et al., 1997; López-Martínez et al. (2014).

$$\partial P = au^2 + bu \quad (2)$$

Έτσι, μετά την εξίσωση των συντελεστών της Εξίσωσης (1) με αυτούς της Εξίσωσης (2), οι τιμές αεροπερατότητας K_p και ο παράγοντας αδράνειας Y εκτιμήθηκαν χρησιμοποιώντας τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$K_p = e \frac{\mu}{b} \quad (3)$$

$$Y = \frac{a K_p^{0.5}}{e\rho} \quad (4)$$

όπου, e είναι το πάχος του πορώδους υλικού (m)

2.3. Στατιστική ανάλυση

Η σύγκριση των μέσων τιμών των αφίδων στα πειράματα των θερμοκηπίων μικρής κλίμακας πραγματοποιήθηκε εφαρμόζοντας one-way ANOVA σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95% ($p < 0.05$)

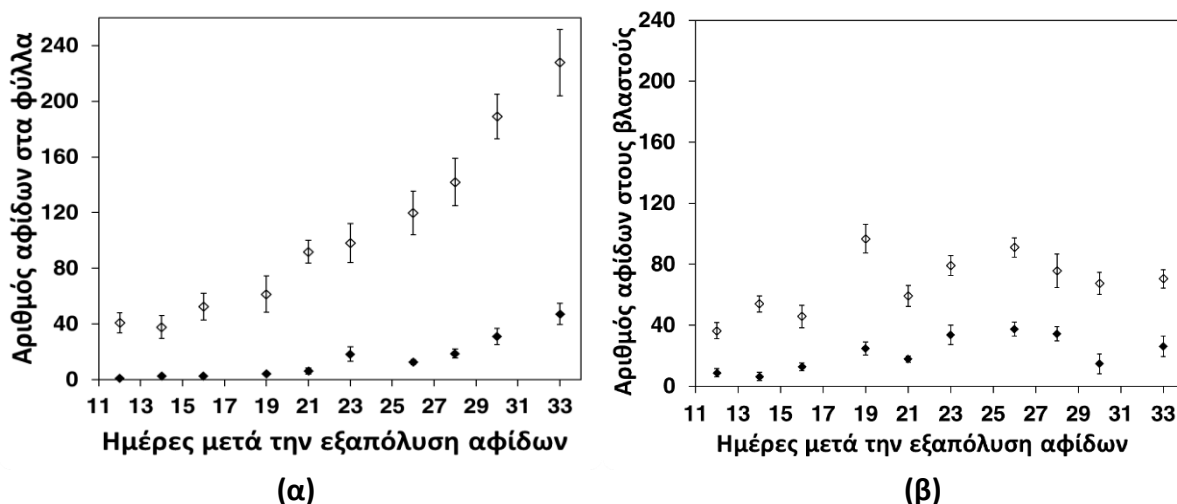
Η ανάλυση των τιμών a , b πραγματοποιήθηκε μέσω της μη γραμμικής παλινδρόμησης μεταξύ των τιμών ∂P και u .

Για τη στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων της παρούσας μελέτης έγινε χρήση του στατιστικού πακέτου IBM SPSS 26.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1. Αξιολόγηση της εντομοκτόνου δράσης των SiO_2 δικτύων

Ο μέσος πληθυσμός των αφίδων που καταγράφηκε τόσο στα φύλλα όσο και στους βλαστούς των φυτών που καλλιεργούνταν κάτω από τα δυο διαφορετικά δίκτυα παρουσιάζεται στο Σχήμα 1 (α-β). Η εφαρμογή των καλυμμένων με SiO_2 δικτύων των 25 mesh οδήγησε σε σημαντικά χαμηλότερο ρυθμό εντομολογικών προσβολών στο εσωτερικό του θερμοκηπίου ($p < 0.05$). Πράγματι, σε σύγκριση με το μη καλυμμένο δίκτυο των 40 mesh, η χρήση του ειδικά κατασκευασμένου δικτυού των 25 mesh μείωσε τον αριθμό των εντόμων στα φύλλα και τους βλαστούς των φυτών κατά 79-97% και 55-88%, αντίστοιχα.

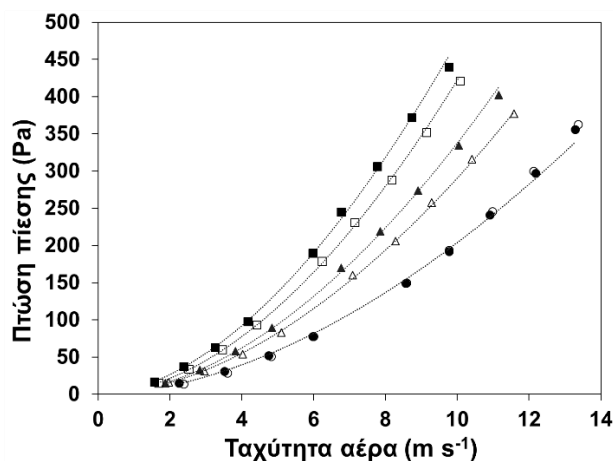


Σχήμα 1. Μέσος πληθυσμός αφίδων ανά (α) φύλλο και (β) βλαστό φυτών κάτω από το καλυμμένο με SiO₂ δίχτυ των 25 mesh και κάτω από το κοινό δίχτυ χωρίς επικάλυψη SiO₂ των 40 mesh. Σχήμα χωρίς γέμισμα: μη καλυμμένα δίχτυα. Σχήμα με γέμισμα: καλυμμένα δίχτυα. Οι γραμμές σφάλματος υποδεικνύουν το τυπικό σφάλμα των μέσων όρων.

Σύμφωνα με τους Subramanyam και Roesli (2000), ο χρόνος δράσης των αδρανών νανοσωματιδίων, όπως το SiO₂, είναι βραδύτερος σε σύγκριση με τα συμβατικά εντομοκτόνα. Το επίπεδο προσβολής εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον χρόνο που απαιτείται για τον εγκλιματισμό των εντόμων στο περιβάλλον του θερμοκηπίου, τον αριθμό των εντόμων που εισάγονται μέσω της αποικίας των αφίδων και τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στο θερμοκήπιο. Ο μεγάλος αριθμός αφίδων μέσα στα θερμοκήπια καλυμμένα με το δίχτυ χωρίς την ειδική επικάλυψη πυριτίου (μάρτυρας) μπορεί να σχετίζεται με τη συνεχή παρουσία μιας αποικίας αφίδων έξω από κάθε θερμοκήπιο μικρής κλίμακας αλλά και τον ρυθμό αναπαραγωγής των εντόμων μετά τη εισβολή τους στο θερμοκήπιο. Πράγματι, οι Debnath et al. (2011), τόνισαν την αποτελεσματικότητα των νανοσωματιδίων SiO₂ στη γονιμότητα των *Sitophilus oryzae*, καθώς δύο μήνες μετά την έκθεση των ατόμων στη σκόνη δεν καταγράφηκαν απόγονοι. Στη παρούσα μελέτη, μπορούμε να υποθέσουμε ότι οι αφίδες εισήλθαν αβίαστα μέσα από τα ανοίγματα των δικτύων ανεξάρτητα από το μέγεθος των οπών (25 ή 40 mesh), χωρίς το δίχτυ να αποτελεί μηχανικό εμπόδιο. Ωστόσο, η επαφή τους με τα νανοσωματίδια SiO₂ οδήγησε στην ακινητοποίησή τους με αποτέλεσμα τον χαμηλό ή μηδενικό ρυθμό αναπαραγωγής και στη συνέχεια σε θάνατο των εντόμων μέσω της διαδικασίας της αφυδάτωσης.

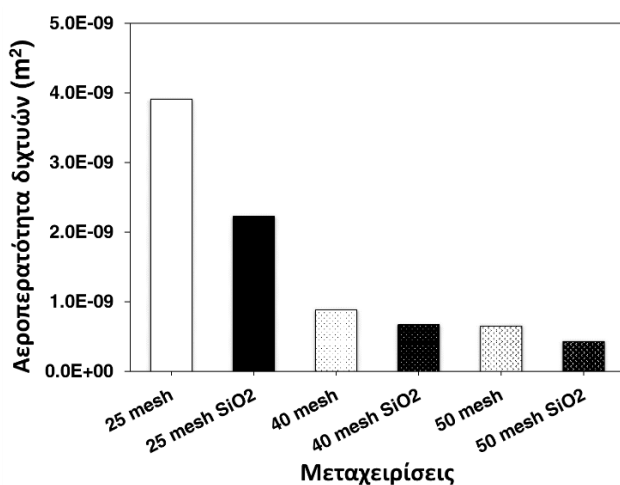
3.2. Αξιολόγηση της επίδρασης των SiO₂ δικτύων στον αερισμό

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων στην αεροσήραγγα έδειξαν ότι η πτώση πίεσης ήταν μεγαλύτερη για τα μη καλυμμένα δίχτυα των 40 και 50 mesh σε σύγκριση με το καλυμμένο με SiO₂ δίχτυ των 25 mesh κατά 14.5% και 26.2%, αντίστοιχα (Σχήμα 2).



Σχήμα 2. Πτώση πίεσης (Pa) κατά την αύξηση της ταχύτητας του αέρα (m s⁻¹). Κύκλος: 25 mesh, τρίγωνο: 40 mesh, τετράγωνο: 50 mesh. Κενά σύμβολα: μη καλυμμένα δίχτυα. Γεμάτα σύμβολα: καλυμμένα με SiO₂ δίχτυα.

Όπως ήταν αναμενόμενο, όσο χαμηλότερο το πορώδες τόσο μεγαλύτερη η πτώση πίεσης. Συνεπώς, η κάλυψη των δικτύων με SiO₂ επηρέασε σημαντικά την αεροπερατότητα τους. Πιο συγκεκριμένα, εκτιμήθηκε ότι η επικάλυψη των δικτύων με SiO₂ προκάλεσε μείωση της αεροπερατότητας από 24 έως 43% σε σύγκριση με τα μη καλυμμένα δίχτυα του ίδιου πορώδους. Ωστόσο, η αεροπερατότητα των καλυμμένων δικτύων των 25 mesh ήταν υψηλότερη σε σύγκριση με τα μη καλυμμένα δίχτυα των 40 και 50 mesh κατά 54 % και 66%, αντίστοιχα (Σχήμα 3).



Σχήμα 3. Αεροπερατότητα δικτύων με διαφορετικό άνοιγμα σπών (25, 40, 50 mesh) με ή χωρίς επικάλυψη διοξειδίου του πυριτίου (SiO₂).

Στην παρούσα μελέτη, έγινε μια προσπάθεια για την εκτίμηση του αερισμού στα θερμοκήπια σε περίπτωση που τα ανοίγματά τους είχαν καλυφθεί με τα προαναφερθέντα δίχτυα. Για το λόγο αυτό υπολογίστηκε ο συντελεστής εκφόρτισης του κάθε δικτύου μέσω της εξίσωσης Bernoulli λαμβάνοντας υπόψη την πτώση πίεσης τόσο του δικτύου όσο και του ανοίγματος των παραθύρων όπως προτάθηκε από τους Kittas et al. (2002).

Λαμβάνοντας υπόψη ότι ο ρυθμός αερισμού του θερμοκηπίου είναι ανάλογος με τον συντελεστή εκφόρτισης (Kittas et al., 2002; Katsoulas et al., 2006), εκτιμήθηκε ότι η εφαρμογή του καλυμμένου με SiO₂ δικτύου των 25 mesh στα ανοίγματα ενός θερμοκηπίου

θα μπορούσε να αυξήσει τον αερισμό κατά 11,5% και 23,1% σε σχέση με ένα μη καλυμμένο δίχτυ είτε των 40 είτε των 50 mesh, αντίστοιχα.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ένας από τους κυριότερους παράγοντες για τη μείωση της πυκνότητας του πληθυσμού των εντόμων στο εσωτερικό ενός θερμοκηπίου είναι η κατάλληλη επιλογή εντομοστεγών δικτύων. Τα χαρακτηριστικά του δικτύου που σχετίζονται με τον αερισμό είναι μεγάλης σημασίας όσον αφορά στην ομοιόμορφη ανάπτυξη των καλλιεργειών καθώς η εγκατάστασή τους στα ανοίγματα αερισμού σχετίζεται με σημαντική ετερογένεια στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου. Συμπερασματικά, η χρήση καλυμμένων δικτύων με νανοσωματίδια διοξειδίου του πυριτίου με σχετικά μεγάλο άνοιγμα οπών (25 mesh) προτείνεται ως εναλλακτική μέθοδος των χημικών εντομοκτόνων, καθώς συνδυάζει τη διαχείριση των εντόμων-εχθρών και του μικροκλίματος, παρέχοντας επαρκή αερισμό και περιορισμένο ρυθμό εντομολογικών προσβολών στο προστατευμένο περιβάλλον ενός θερμοκηπίου. Η χρήση τέτοιων δικτύων στη γεωργία μπορεί να συμβάλει στη μείωση του τελικού υλικού που απαιτείται για την παραγωγή κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων, το οποίο σε συνδυασμό με τη μείωση των χημικών εφαρμογών μπορεί να συμβάλει σημαντικά στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος.

5. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η εργασία υλοποιήθηκε στο πλαίσιο της Δράσης Εθνικής Εμβέλειας «Διμερής και Πολυμερής Ε&Τ Συνεργασία Ελλάδα-Γερμανίας» η οποία συγχρηματοδοτείται από Εθνικούς Πόρους και την Ευρωπαϊκή Ένωση και ειδικότερα από το Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης (ΕΤΠΑ) στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Ανταγωνιστικότητα, Επιχειρηματικότητα και Καινοτομία (ΕΠΑνΕΚ)» του ΕΣΠΑ 2014 – 2020. (κωδικός έργου: Τ2ΔΓΕ-0120)

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Agrafioti, P., Faliagka, S., Lampiri, E., Orth, M., Pätzelt, M., Katsoulas, N., Athanassiou, C.G., 2020. *Evaluation of silica-coated insect proof nets for the control of Aphis fabae, Sitophilus oryzae, and Tribolium confusum*. *Nanomaterials* 10, 1–12. <https://doi.org/10.3390/nano10091658>
- Arthurs, S.P., Krauter, P.C., Gilder, K., Heinz, K.M., 2018. *Evaluation of deltamethrin-impregnated nets as a protective barrier against Western flower thrips, Frankliniella occidentalis (Thysanoptera: Thripidae) under laboratory and greenhouse conditions*. *Crop Prot.* 112, 227–231. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.06.006>
- Ayoub, H.A., Khairy, M., Rashwan, F.A. Abdel-Hafez, H.F. *Synthesis and characterization of silica nanostructures for cotton leaf worm control*. *Journal of Nanostructure in Chemistry* 7, 91–100 (2017). <https://doi.org/10.1007/s40097-017-0229-2>
- Dáder, B., Legarra, S., Moreno, A., Ambros, C.M., Fereres, A., Skovmand, O., Bosselmann, R., Viñuela, E., 2014. *Insecticide-treated nets as a new approach to control vegetable pests in protected crops*. *Acta Hortic.* 1015, 103–112. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2583.6643>
- Debnath, N., Das, S., Seth, D., Chandra, R., Bhattacharya, S.C., Goswami, A., 2011. *Entomotoxic effect of silica nanoparticles against Sitophilus oryzae (L.)*. *J. Pest Sci.* (2004). 84, 99–105. <https://doi.org/10.1007/s10340-010-0332-3>
- Faliagka, S., Agrafioti, P., Lampiri, E., Katsoulas, N., Athanassiou, C.G., 2020. *Assessment of*

- different inert nanoparticles formulations for the control of Sitophilus oryzae, Tribolium confusum, and Aphis fabae.* Crop Prot. 137, 105312. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105312>
- Fatnassi, H., Boulard, T., Demrati, H., Bouirden, L., Sappe, G., 2002. *Ventilation performance of a large Canarian-type greenhouse equipped with insect-proof nets.* Biosyst. Eng. 82, 97–105. <https://doi.org/10.1006/bioe.2001.0056>
- Harmanto, Tantau, H. J., Salokhe, V. M., 2006. *Microclimate and Air Exchange Rates in Greenhouses covered with Different Nets in the Humid Tropics.* Biosystems Engineering, 94(2), 239–253. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2006.02.016>
- Katsoulas, N., Bartzanas, T., Boulard, T., Mermier, M., Kittas, C., 2006. *Effect of vent openings and insect screens on greenhouse ventilation.* Biosyst. Eng. 93, 427–436. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2005.01.001>
- Kittas, C., Boulard, T., Bartzanas, T., Katsoulas, N., Mermier, M., 2002. *Influence of an insect screen on greenhouse ventilation.* Trans. Am. Soc. Agric. Eng. 45, 1083–1090. <https://doi.org/10.13031/2013.9940>
- Kittas, C., Katsoulas, N., Bartzanas, T., Mermier, M., Boulard, T., 2008. *The impact of insect screens and ventilation openings on the greenhouse microclimate.* Trans. ASABE 51, 2151–2165. <https://doi.org/10.13031/2013.25396>
- López-Martínez, A., Molina-Aiz, F.D., Valera, D.L., Espinoza-Ramos, K.E., 2020. *Models for characterising the aerodynamics of insect-proof screens from their geometric parameters.* Biosyst. Eng. 192, 42–55. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.01.013>
- López-Martínez, A., Valera-Martinez, D.L., Molina-Aiz, F., Peña-Fernandez, A., Marin-Membrive, P., 2014. *Microclimate evaluation of a new design of insect-proof screens in a mediterranean greenhouse.* Spanish J. Agric. Res. 12, 338–352. <https://doi.org/10.5424/sjar/2014122-4956>
- Miguel, A.F., Van De Braak, N.J., Bot, G.P.A., 1997. *Analysis of the airflow characteristics of greenhouse screening materials.* J. Agric. Eng. Res. 67, 105–112. <https://doi.org/10.1006/jaer.1997.0157>
- Molina-Aiz, F. D., Valera, D. L., Peña, A. A., Gil, J. A., López, A., 2009. *A study of natural ventilation in an Almería-type greenhouse with insect screens by means of tri-sonic anemometry.* Biosystems Engineering, 104, 224–242. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2009.06.013>
- Subramanyam, B., Roesli, R., 2000. *Inert Nanoparticless.* Altern. to Pestic. Stored-Product IPM 321–380. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-4353-4_12
- Teitel, M., Dvorkin, D., Haim, Y., Tanny, J., Seginer, I., 2009. *Comparison of measured and simulated flow through screens: Effects of screen inclination and porosity.* Biosyst. Eng. 104, 404–416. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2009.07.006>

GAS EMISSION MITIGATION MEASURES FROM LIVESTOCK MANURE MANAGEMENT CHAIN

A. Maragou¹, V. Anestis¹, T. Bartzanas¹

¹*Dept. of Natural Resources Management and Agricultural Engineering, Agricultural University of Athens, Iera Odos 75, 11855 Athens, Greece e-mail: armaragou@aua.gr*

Abstract

In this study, the most effective mitigation options for Greenhouse Gas (GHG) and ammonia (NH₃) emissions in all stages of the livestock manure management chain (i.e. livestock housing, manure storage and field application) are presented. Measures widely discussed are diet modification (housing), regular removal of manure (housing), manure acidification (storage) and anaerobic digestion (manure processing). The effectiveness of these measures was suggested mostly based on designed experimental studies using emission measurement equipment. It is concluded that more research is needed to study more in detail the effect of these measures on the environmental sustainability of livestock products' supply chains.

Keywords: Greenhouse gas emissions, Ammonia emissions, Mitigation measures, Manure management chain

1. INTRODUCTION

Livestock production is a major source of ammonia (NH₃) and greenhouse gas (GHG) emissions. The Livestock Sector contributed a share of around 53% methane (CH₄), 21% nitrous oxide (N₂O), and 75% ammonia (NH₃) to total agricultural emissions in the European Union (UNFCCC, 2016). Thus, the discussion on mitigation strategies for these gases from the livestock farms is extremely timely. Several recent reviews have recently dealt with this topic (Sajeev et al., 2018; Hou et al., 2015) highlighting its significance.

Based on these previous works, in this study, it was attempted to collect and present the most effective strategies for GHG and NH₃ emission abatement in the manure management chain of livestock production systems. Their effectiveness was addressed with the suggested size of emission reduction relative to reference conditions, employing designed, experimental studies that utilized emission measurement equipment.

2. MATERIALS AND METHODS

A number of studies is examined which included gas emission mitigation strategies (e.g. management practices) in an integrated approach. A scientific literature search was performed using the Google Scholar, Web of Science™ and Scopus databases focusing on abatement options of NH₃ and GHG emissions during housing, manure storage and processing and manure field application for swine, cattle and poultry.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. DIET MODIFICATION

Manipulating animal diets has implications on emissions from livestock manure (Sajeev et al., 2018). Reducing Crude Protein (CP) content in animals diet decreases the amount of N in manure and consequently NH₃ emissions. The NH₃ emissions' reduction potential of diet handling is 42 ± 21% relative to conventional diets. In contrast with NH₃, CH₄ emissions increased with a reduction in dietary CP. At lower CP levels, the digestibility of fiber is lower, and when this is excreted with manure, it provides additional carbon for methanogenesis, generating CH₄ during manure storage. N₂O emissions tend to decrease with reduced CP in animal diets. N₂O emissions were negligible at the housing stage; the reduction potential was however 52 ± 39% and 17% at the storage and field application stages, respectively. Also, supplementing animal diet with feed additives such as fiber, acids and enzymes generally led to a decrease in NH₃ emissions.

3.2 HOUSING INTERVENTIONS

Many studies have examined the abatement potential of technologies and strategies such as air scrubbers, frequent removal of manure and type of floor to reduce NH₃ and GHG emissions in livestock housing systems (Sajeev et al., 2018). Chemical and biological scrubbers have been used to reduce NH₃ and odor emissions from pig and poultry housing facilities. Overall estimates indicate potential reduction in NH₃ emissions (59 ± 39%) with the use of air scrubbers, emphasizing in the fact that chemical scrubbers with acid addition (usually sulfuric acid) reduce the pH of washing water and become more effective than biological scrubbers. NH₃ emissions further depend on the surface area of manure in contact with air. A reduction in NH₃ emissions (22 ± 29%) from animal housing facilities with daily or weekly removal of manure has been suggested, accompanied with decreases in CH₄ and N₂O emissions by 55 ± 5% and 41 ± 17%, respectively. Furthermore, in a study with fattening pigs, NH₃ emissions were 2.7 times greater on the straw flow system than on the slatted floor,

and CH₄ emissions were reduced by 40% with the straw flow, but N₂O emissions did not differ significantly according to floor type (Philippe et al., 2007).

3.3 MANURE STORAGE

Manure acidification (with sulfuric acid) is a known strategy which is recognized as one of the best available technologies to reduce NH₃ emissions. Averaged over all manure management stages, NH₃ emissions were reduced by 60 ± 28% (Sajeev et al., 2018). Also, methanogenesis and therefore CH₄ emissions is suggested to be reduced by addition of acids (67 to 87% in cattle slurry). Slurry bio-acidification using sugar and cheese whey has further led to a reduction of NH₃ emissions by 45% and 68%, respectively (Prado et al., 2020). Moreover, a combination of cover and acidification during storage has the potential to effectively reduce NH₃ and GHG emissions.

3.4 ANAEROBIC DIGESTION

Anaerobic digestion is an abatement technology with considerable variability in the outputs that seems to reduce GHG emissions compared to simple storage practices (Sajeev et al., 2018). NH₃ emissions have been shown to increase by 13 ± 76% during the storage of digestate and decrease by 8 ± 34% when applied to agricultural soils, with an average overall tendency for a small decrease in NH₃ emissions by 3 ± 45% for digestates relative to raw slurry. It has been noticed that injection of digested slurry during field application can also reduce NH₃ emissions, relatively to surface spreading. In case of CH₄ emissions, it seems that a reduction by 29 ± 116%, primarily during the storage of digestate, can be achieved.

3.5 FIELD APPLICATION

NH₃ emissions from manure following band spreading, incorporation and injection were suggested 55%, 70% and 80% lower than from surface broadcasted manure, respectively (Hou et al., 2015). Also, on average, shallow injection reduced NH₃ emissions by 71% ± 25% as compared with surface spreading of manure (Sajeev et al., 2018).

4. CONCLUSIONS

In the last 20 years, many studies have analyzed and evaluated the potential of abatement options to reduce NH₃ and GHGs and suggested the availability of such options in every stage of the manure management chain. The most effective measures to reduce NH₃ and GHG emissions seem to be diet modification, frequent removal of manure, manure acidification and anaerobic digesters, whereas other options are associated with tradeoffs or pollution swapping. However, more research is required in order to come to general conclusions with respect to the effectiveness of these mitigation measures in the country level and regarding their effect (i.e. pollution swapping) on the environmental sustainability of livestock supply chains.

5. ACKNOWLEDGEMENTS

This work was financially supported by the Greek Secretariat for Research and Innovation (GSRI), Grant No. T11EPA4-00076, MELS project (funded under the Joint Call 2018 ERA-GAS, SusAn and ICT-AGRI on 'Novel technologies, solutions and systems to reduce the greenhouse gas emissions in animal production systems').

6. REFERENCES

- Hou, Y., Velthof, G. L. & Oenema, O., 2015. Mitigation of ammonia, nitrous oxide and methane emissions from manure management chains: a meta-analysis and integrated assessment. *Glob Chang Biol.*, 1293-1294, 1297-1308.
- Philippe FX, Laitat M, Canart B, Vandenheede M, Nicks B., 2007. Gaseous emissions during the fattening of pigs kept either on fully slatted floors or on straw flow. *Animal*, 249, 245-260.
- Prado J, Chieppe J, Raymundo A, Fangueiro D., 2020. Bio-acidification and enhanced crusting as an alternative to sulphuric acid addition to slurry to mitigate ammonia and greenhouse gases emissions during short term storage *J. Clean. Prod.*, 1,5, 1-9.
- Sajeev A., Winiwarter W., Amon B., 2018. Greenhouse Gas and Ammonia Emissions from Different Stages of Liquid Manure Management Chains: Abatement Options and Emission Interactions. *Journal of Environmental Quality*, 30-39.
- UNFCCC, 2019. Common reporting format (CRF) tables and national inventory reports (NIRs). United Nations Framework Convention on Clim. Change. http://di.unfccc.int/ghg_profile_annex1 (accessed 20 August 2021).

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΝΕΑΡΩΝ ΦΥΛΛΩΝ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ ΜΕ ΠΑΡΟΧΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Ή ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

Γ. Λιάντας¹, Ι. Χατζηγεωργίου^{1,2}, Φ. Μπαντής², Μ. Καραγιοβανίδης³, Α. Κουκουνάρας², Γ.Κ. Ντίνας¹

¹Εργαστήριο Αειφόρων Γεωργικών Κατασκευών και Ανανεώσιμων Ενεργειακών Πόρων, ΙΓΒΦΠ, ΕΛΓΟ-ΔΗΜΗΤΡΑ, 57001 Θέρμη-Θεσσαλονίκη, Ελλάδα

²Εργαστήριο Λαχανοκομίας, Τμήμα Γεωπονίας, Α.Π.Θ., 54124, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα

³ΑΙ ΑΓΡΟ ΙΚΕ, 57001, Θέρμη-Θεσσαλονίκη, Ελλάδα Email: gntinas@ipgrb.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα μελέτη εξετάστηκαν οι απαιτήσεις νεαρών φύλλων μαρουλιού “τύπου baby” που καλλιεργήθηκαν υδροπονικά σε θερμοκήπιο χωρίς έλεγχο κλίματος, υπό ακραίες συνθήκες περιβάλλοντος και διαφορετικές στρατηγικές θέρμανσης ρίζας. Η τιμή στόχος της θερμοκρασίας ρίζας ήταν οι 22°C. Η απαιτούμενη ενέργεια καλύφθηκε από ηλιακούς συλλέκτες (Φ/Β) ή μέσω σύνδεσης με το δημόσιο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Κατά τη διάρκεια του πειράματος καταγράφηκαν η θερμοκρασία του θρεπτικού διαλύματος και η ενέργεια που χρησιμοποιήθηκε. Η απόδοση της καλλιέργειας στη δεξαμενή των Φ/Β ήταν μεν χαμηλότερη κατά 14% εκείνης με το ηλεκτρικό δίκτυο, αλλά η καταναλισκόμενη ενέργεια προήλθε μόνο από πράσινη ενέργεια.

Λέξεις κλειδιά: μαρούλι, φωτοβολταϊκά, υδροπονία, βιώσιμο θερμοκήπιο

EVALUATION OF BABY LETTUCE LEAVES GROWN HYDROPONICALLY IN A GREENHOUSE POWERED BY AN AUTONOMOUS PHOTOVOLTAIC SYSTEM OR THE PUBLIC ELECTRICITY GRID

G. Liantas¹, I. Chatzigeorgiou^{1,2}, F. Bantis², M. Karagiovanidis³, A. Koukounaras², G.K. Ntinas¹

¹Sustainable Agricultural Structures & Renewable Energy Resources Lab, IPBGR, ELGO-DIMITRA, 57001, Themi-Thessaloniki, Greece

²Vegetable Crops Lab, School of Agriculture, AUTH, 54124, Thessaloniki, Greece

³AI AGRO IKE, 57001, Themi-Thessaloniki, Greece

ABSTRACT

In the present study the requirements of “baby” lettuce leaves grown hydroponically in a greenhouse without climate control, under extreme environmental conditions and different root heating strategies were investigated. The target value of the root temperature was 22°C. The required energy was provided by solar panels or through connection to the public electricity network. The nutrient solution temperature and the energy used were recorded during the experiment. The crop yield in the PV tank was lower than that of the electricity grid by 14%, but the consumed energy came exclusively from green energy.

Keywords: lettuce, photovoltaics, hydroponics, sustainable greenhouse

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια η ζήτηση για την κατανάλωση των λαχανικών έχει σημαντική αύξηση. Τα θρεπτικά συστατικά και η θετική επίδραση στην ανθρώπινη υγεία τα καθιστούν απαραίτητα για την καθημερινή διατροφή (Galaverna et al. 2008). Η αξιοποίηση ενός θερμοκηπίου δίνει την δυνατότητα στον παραγωγό να εκμεταλλευτεί το παραγόμενο προϊόν του σε εποχές του χρόνου που δεν ενδείκνυται η ανάπτυξη. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να καλύψει το κενό της αγοράς με καλύτερη τιμή πώλησης ανά κιλό παραγόμενου προϊόντος.

Το περιβάλλον του θερμοκηπίου θα μπορούσε να δημιουργήσει πιο κατάλληλες συνθήκες από ότι η ανάπτυξη στον αγρό (Gruda, 2005), με τη θερμοκρασία να αποτελεί πρωταρχικό παράγοντα για ανάπτυξη φυτών (Hatfield and Prueger, 2015). Σε ελεγχόμενες θερμοκηπιακές καλλιέργειες που υπάρχει ανάγκη για θέρμανση τους χειμερινούς μήνες και ψύξη τους καλοκαιρινούς, είναι αναγκαία η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας. Το υψηλό κόστος ενέργειας οδηγεί τους παραγωγούς στο να μη χρησιμοποιούν το θερμοκήπιο σε ακραίες καιρικές συνθήκες. Η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αν και έχει υψηλό αρχικό κόστος αγοράς προσφέρει τη δυνατότητα καλλιέργειας «πράσινων», φιλικών στο περιβάλλον, προϊόντων με μειωμένο αποτύπωμα άνθρακα και προστιθέμενη εμπορική αξία (Ntinias et al., 2017;2019;2020) Διάφορα λαχανικά μπορούν να καλλιεργηθούν είτε στο έδαφος είτε απουσία εδάφους, με κύκλο ανάπτυξης που κυμαίνεται από 20-40 ημέρες (Francesco Di Gioia et al., 2017). Στη παρούσα μελέτη εξετάστηκε η καλλιέργεια φύλλων μαρουλιού τύπου baby σε υδροπονικό σύστημα επίπλευσης μέσα σε θερμοκήπιο χωρίς έλεγχο κλίματος κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Σκοπός του πειράματος ήταν να συγκρίνει την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές με το δημόσιο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας για την θέρμανση του νερού των δεξαμενών μέσω αντιστάσεων και την επίδραση στην απόδοση της καλλιέργειας.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Στο πείραμα πραγματοποιήθηκε σύγκριση μεταξύ τριών δεξαμενών όγκου 0.6 m^3 η κάθε μία. Οι ενεργειακές ανάγκες της πρώτης δεξαμενής καλύφθηκαν από το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, της δεύτερης μέσω του φωτοβολταϊκού συστήματος, ενώ η τρίτη που αποτέλεσε τον μάρτυρα δεν κατανάλωσε ενέργεια. Η διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου στις δεξαμενές ήταν 19 ημέρες, από το πρώτο φύλλο έως την συγκομιδή.

Οι ηλεκτρικές αντιστάσεις θέρμανσης εγκαταστάθηκαν μέσα στις δύο δεξαμενές και τίθεντο σε λειτουργία όταν η θερμοκρασία νερού έπεφτε χαμηλότερα από τους 22°C . Η απαραίτητη ισχύς για κάθε δεξαμενή παρήχθη είτε από δημόσιο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας (δεξαμενή 1) είτε από το εγκατεστημένο φωτοβολταϊκό σύστημα τεσσάρων ηλιακών συλλεκτών συνολικής ισχύος 1 kWp , εξωτερικά του θερμοκηπίου (δεξαμενή 2). Η ισχύς του κάθε φωτοβολταϊκού ήταν 250 Wp σε σταθερή κλίση 30° και νότιο προσανατολισμό. Το φωτοβολταϊκό σύστημα ήταν αυτόνομο και αποτελούνταν από τους ηλιακούς συλλέκτες (PV panel), τον ρυθμιστή φόρτισης (charge controller), τους συσσωρευτές (batteries) και τον αντιστροφέα τάσης (solar inverter).

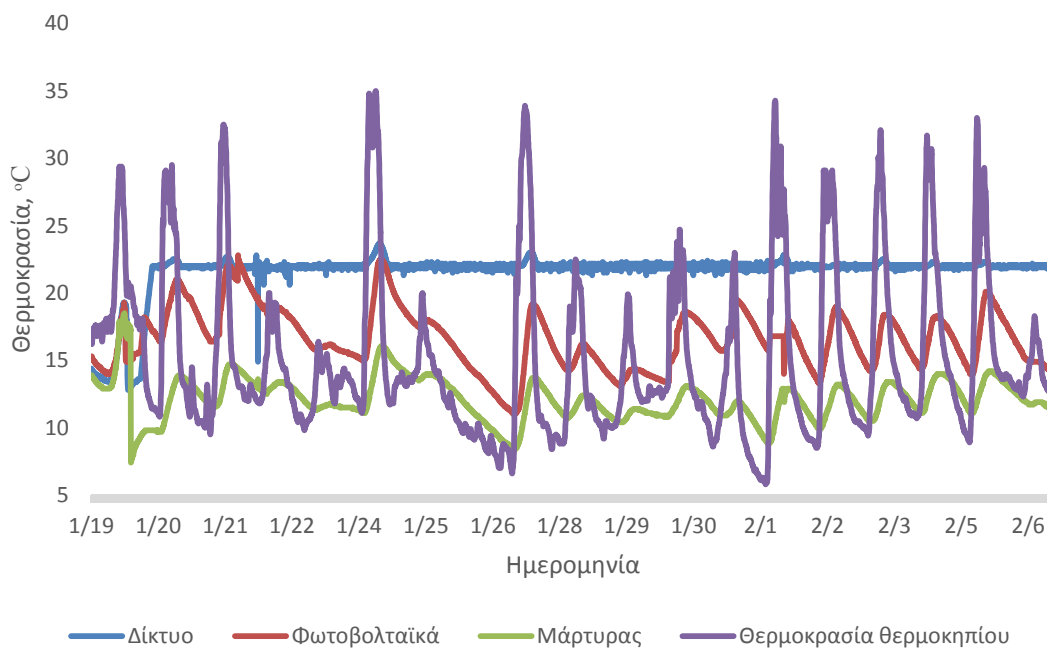
Ο ρυθμιστής φόρτισης μετατρέπει το ρεύμα των φωτοβολταϊκών σε DC-DC ρεύμα και χρησιμοποιείται για να συνδέσει τους ηλιακούς συλλέκτες με την μπαταρία, έτσι ώστε να μειωθεί η τάση εξόδου των φωτοβολταϊκών στα επίπεδα τάσης της μπαταρίας. (Ιορδάνης Κιοσκερίδης, 2019). Οι μπαταρίες ήταν δύο, βαθιάς εκφόρτισης 12 V και 180 Ah .

Ο αντιστροφέας τάσης 1100 W αποτελούνταν από κυκλώματα ηλεκτρονικών ισχύος, ελέγχου και βαθμίδων ασφάλειας και χρησιμοποιήθηκε για να επιτευχθεί η μετατροπή DC

ρεύματος σε AC (230V/50Hz), συμβατό για το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και των ηλεκτρικών συσκευών.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στο διάστημα της καλλιεργητικής περιόδου η απόδοση της πρώτης δεξαμενής ανήλθε στα 2.64 kg/m^2 , ενώ στην δεύτερη και τρίτη δεξαμενή στα 2.32 kg/m^2 και 1.99 kg/m^2 αντίστοιχα. Η πρώτη δεξαμενή ήταν η πιο αποδοτική διότι η θερμοκρασία του νερού παρέμεινε σταθερή καθόλη την διάρκεια του πειράματος, ανεξαρτήτως των εξωτερικών συνθηκών (Σχήμα 1). Συγκεκριμένα είχε 14% μεγαλύτερη παραγωγή από την δεύτερη δεξαμενή και 33% από την τρίτη. Η δεύτερη δεξαμενή δεν είχε την απαραίτητη ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά και η θερμοκρασία είχε συνεχώς αυξομειώσεις. Παρόλα αυτά η δεύτερη δεξαμενή αποδείχθηκε αποδοτικότερη κατά 17% από την τρίτη που δεν είχε αντιστάσεις και δεν θερμαινόταν.

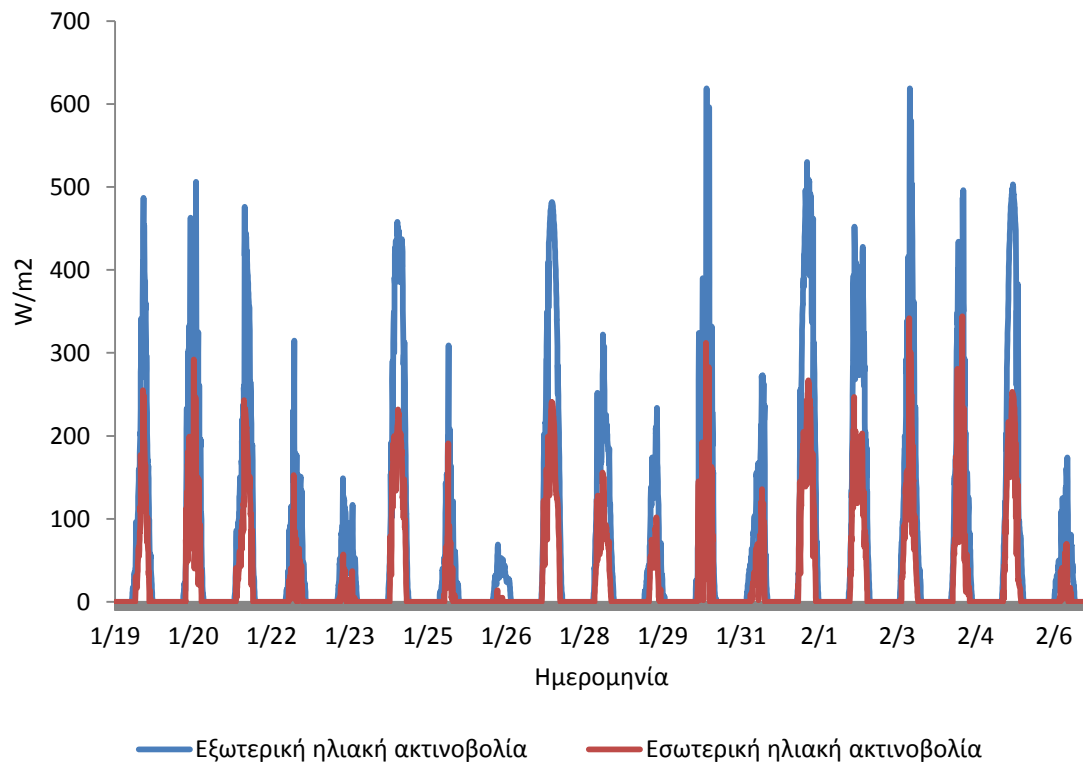


Σχήμα 1. Σύγκριση θερμοκρασίας των δεξαμενών συμπεριλαμβανόμενης και της θερμοκρασίας αέρα του θερμοκηπίου.

Στο Σχήμα 1, φαίνεται ότι η θερμοκρασία της δεξαμενής με παροχή ρεύματος από το δίκτυο ηλεκτρική ενέργειας ήταν σταθερή στους 22°C , ενώ στην δεξαμενή που αντλούσε ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά υπήρχε διακύμανση της θερμοκρασίας έως 10°C . Στην τρίτη δεξαμενή η πορεία της θερμοκρασίας του νερού ακολουθούσε την πορεία της θερμοκρασίας του εσωτερικού περιβάλλοντος του θερμοκηπίου με μικρή διαφορά ώρας λόγω της διαφορετικής τιμής θερμοχωρητικότητας του νερού σε σχέση με τον αέρα.

Στο Σχήμα 2, γίνεται αντιληπτό ότι η εξωτερική ηλιακή ακτινοβολία παρουσίαζε διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια του πειράματος, οι οποίες επηρέαζαν την φόρτιση των μπαταριών από τα Φ/Β πάνελ. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να παρουσιάζονται ημέρες που οι μπαταρίες είτε δεν φορτιζόνταν πλήρως ή δεν ήταν δυνατή καθόλου η φόρτισή τους λόγω μη ηλιοφάνειας. Η μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία σημειώθηκε στις 3-4/02, ενώ η ελάχιστη στις 26/01 με εύρος μεταξύ τους άνω των 500 W/m^2 . Η εισερχόμενη στο θερμοκήπιο ηλιακή ακτινοβολία ακολουθούσε την πορεία της εξωτερικής με μειωμένη τιμή λόγω του

υλικού κάλυψης και δεν επαρκούσε για να θερμάνει τον αέρα του θερμοκηπίου ή το νερό των δεξαμενών.



Σχήμα 2. Ηλιακή ακτινοβολία εντός και εκτός θερμοκηπίου.

Η συνολική ζήτηση για ενέργεια στην δεξαμενή του δικτύου ανήλθε σε 120kWh για τις 19 ημέρες του πειράματος. Στη δεύτερη δεξαμενή η προσφορά από τα φωτοβολταϊκά ήταν μικρότερη από το 50% της συνολικής ανάγκης της δεξαμενής για θέρμανση από αυτή που καταναλώθηκε στη πρώτη δεξαμενή.

Όπως προκύπτει από τα δύο σχήματα, η παραγόμενη ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά, λόγω χαμηλής ηλιακής ακτινοβολίας και μικρής διάρκειας ημέρας του Ιανουαρίου και Φεβρουαρίου, δεν επαρκούσε για ένα πλήρη κύκλο φόρτισης της μπαταρίας, με αποτέλεσμα η θερμοκρασία του νερού να μην παραμένει σταθερή.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα έρευνα εξετάστηκε η υδροπονική καλλιέργεια φύλλων μαρουλιού τύπου baby σε σύστημα επίπλευσης υπό ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες (χειμώνας), σε θερμοκήπιο χωρίς έλεγχο του εσωτερικού περιβάλλοντος, αλλά με διαφορετικές στρατηγικές θέρμανσης των δεξαμενών νερού στις οποίες τοποθετήθηκαν οι δίσκοι της καλλιέργειας (ενέργεια μέσω δικτύου και φωτοβολταϊκού συστήματος). Στις δύο από τις τρεις περιπτώσεις η απόδοση ήταν εξαρτώμενη από τις καιρικές συνθήκες, με το φωτοβολταϊκό σύστημα να μην παρέχει την απαιτούμενη ποσότητα ενέργειας για να διατηρηθεί η καθορισμένη θερμοκρασία θρεπτικού διαλύματος κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Παρόλα αυτά η απόδοση της καλλιέργειας δεν υστερούσε σημαντικά συγκριτικά με την απόδοση της καλλιέργειας με συμβατική μορφή ενέργειας και αν ληφθεί υπόψη το γεγονός ότι παρήχθη με κατανάλωση αποκλειστικά ανανεώσιμης πηγής ενέργειας, το

συγκεκριμένο σύστημα μπορεί να οδηγήσει στην καλλιέργεια φυλλωδών λαχανικών με ουδέτερο αποτύπωμα άνθρακα.

Μια μελλοντική πτυχή για έρευνα θα μπορούσε να είναι η σύνδεση του θερμοκηπίου με το δίκτυο μέσω ενεργειακού συμψηφισμού (net metering). Ένας διαφορετικός τρόπος που η παραγόμενη από το φωτοβολταϊκό σύστημα ενέργεια συμψηφίζεται με την καταναλισκόμενη σε όλη την διάρκεια του έτους. Δηλαδή η αυξημένη παραγωγή ενέργειας τους θερινούς μήνες να συμψηφίζεται με την χειμερινή κατανάλωση.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Di Gioia, F.; Renna, M.; Santamaria, P. 2017. *Sprouts, microgreens and “baby leaf” vegetables*. In *Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables*; Yildiz, F., Wiley, R.C., Eds.; Springer: New York, NY, USA, 2017; pp. 403–428.
- Galaverna G, Di Silvestro G, Cassano A, Sforza S, Doceana A, Drioli E, Marchelli R. 2008. *A new integrated membrane process for the production of concentrated blood orange juice: effect on bioactive compounds and antioxidant activity*. *Food Chem* 106:1021–1030.
- Gruda, N. 2005. *Impact of environmental factors on product quality of greenhouse vegetables for fresh consumption*. *Crit. Rev. Plant Sci.* 24 (3), 227–247 <https://doi.org/10.1080/07352680591008628>.
- Hatfield, J.L., and Prueger, J.H. 2015. *Temperature extremes: effect on plant growth and development*. *Weather Clim. Extrem.* 10, 4–10 <https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.08.001>.
- Ntinias, G.K., Neumair, M., Tsadilas, C.D., Meyer, J. 2017. *Carbon footprint and cumulative energy demand of greenhouse and open-field tomato cultivation systems under Southern and Central European climatic conditions*. *Journal of Cleaner Production* 142(4):3617–3626 (I.F. - 2015 = 4.959).
- Ntinias, G.K., Kadoglidou, K., Tsivelika, N., Krommydas, K., Kalivas, A., Ralli, P., Irakli, M. 2019. *Performance and Hydroponic Tomato Crop Quality Characteristics in a Novel Greenhouse Using Dye-Sensitized Solar Cell Technology for Covering Material*. *Horticulturae*, 5, 42.
- Ntinias, G.K., Dannehl, D., Schuch, I., Rocks T., Schmidt U. 2020. *Sustainable greenhouse production with minimized carbon footprint by energy export*. *Biosystems Engineering* 189:164-178 (IF-2018: 2.983).
- Κιοσκερίδης, Ι. 2019. *Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και εφαρμογές των Ηλεκτρονικών Ισχύος*. Εκδόσεις Τσιόλα.

MELS PROJECT: MITIGATING GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM LIVESTOCK SYSTEMS

V. Anestis¹, T. Bartzanas¹, F. Dragoni², B. Amon²

¹*Dept. of Natural Resources Management and Agricultural Engineering, Agricultural University of Athens, Iera Odos 75, 11855 Athens, Greece*

²*Leibniz-Institute for Agricultural Engineering and Bioeconomy (ATB), 14469 Potsdam, Germany, e-mail: vanestis@aua.gr*

Abstract

The objective of this work is to provide an overview of the ERA-NET MELS Project. MELS builds on the Global Research Alliance DATAMAN project by collating additional data on emissions from manure management and activity /ancillary data. The data of the database expanded by MELS is used to generate functional relationships between GHG and N emissions and ancillary variables, enabling a refinement of national inventories and better assessment of the cost-effectiveness of a range of mitigation measures. A prototype farm-scale DSS will be developed for countries lacking such a tool and implemented in at least one country.

Keywords: DATAMAN database, Emission data collation, Emission data analysis, Emission mitigation, Decision support

1. BACKGROUND

All countries are under pressure to reduce greenhouse gas (GHG) emissions from agriculture and to document those reductions in emission inventories. For the European Union, manure management represents the third largest source of agricultural GHG emissions (9% in 2016) after enteric fermentation (37%) and direct nitrous oxide (N₂O) emissions from soil (30%). However, nitrogen (N) in urine and dung deposited by grazing animals and in organic fertilisers contributes about one third of the latter emissions and is a major contributor to the indirect N₂O emissions (7% of agricultural GHG emissions). Together this means that about a quarter of the agricultural GHG emissions are related to animal excreta and modifying excretal carbon (C) and N flows through manure management and grazing systems, as well as soils, is key to reducing GHG emissions from agriculture. The EU Effort Sharing Agreement and the Paris Agreement create challenging targets for GHG emission reductions. They represent respectively short- and long-term existential threats to livestock production systems. The extent to which these systems will survive will depend on the extent to which they can substantially reduce their GHG emissions and offset remaining emissions through C sequestration.

The objective of this work is to provide an overview of the ERA-NET MELS project which focusses primarily on the short-term threat by gathering knowledge about mitigation measures that are currently available or technically well-advanced and developing methods to implement and document their use at the farm and national scales.

2. OBJECTIVES OF THE PROJECT

The objectives of MELS are the following:

- To improve the methodologies available to inventory compilers to estimate the direct and indirect greenhouse gas (GHG) emissions from livestock production systems, with a particular emphasis on manure management and grassland management.
- To assist inventory compilers to estimate and document the impact of mitigation measures on the emissions reported within national inventories.
- To provide improved algorithms and emission factors for use in farm-scale GHG decision support systems (DSSs).
- To develop an open-access prototype farm-scale GHG DSS.
- To improve methods to assess the cost and savings associated with mitigation measures at the farm and national scales.

3. CONSORTIUM AND WORK PLAN

The MELS project was funded in the framework of the 2018 Joint Call of the three ERA-NET projects on novel technologies, solutions and systems to reduce GHG emissions in animal production systems. It officially started on 01/01/2020 with a duration of 36 months. Its Consortium consists of 10 partners and Leibniz-Institute for Agricultural Engineering and Bioeconomy (ATB) is the coordinating organization (Fig. 1). The work of the Consortium is further advised by distinguished scientists in 5 different research organizations (Fig.1).

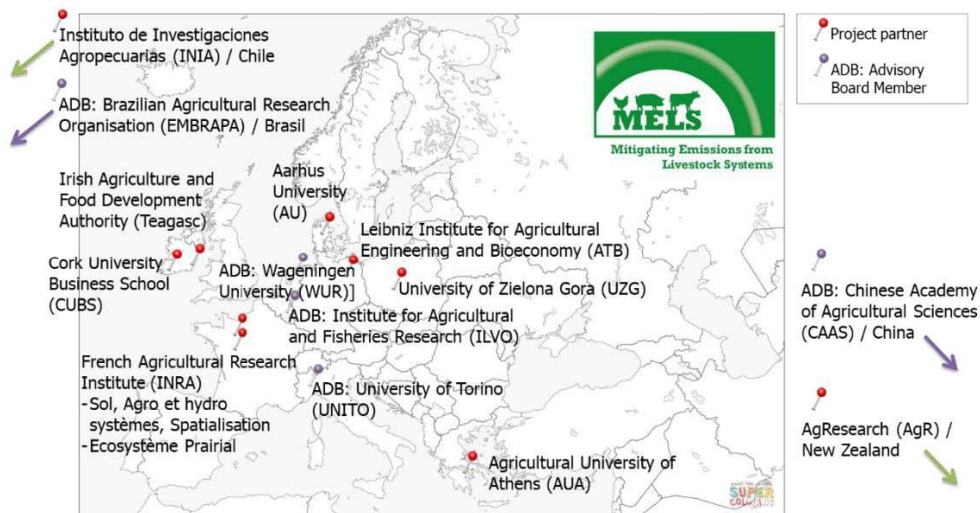


Figure 1. Geographical distribution of the MELS Project partners and Advisory Board (AB)

MELS consists of 6 interconnected work packages (WPs, Fig. 2) closely related to its general objectives.

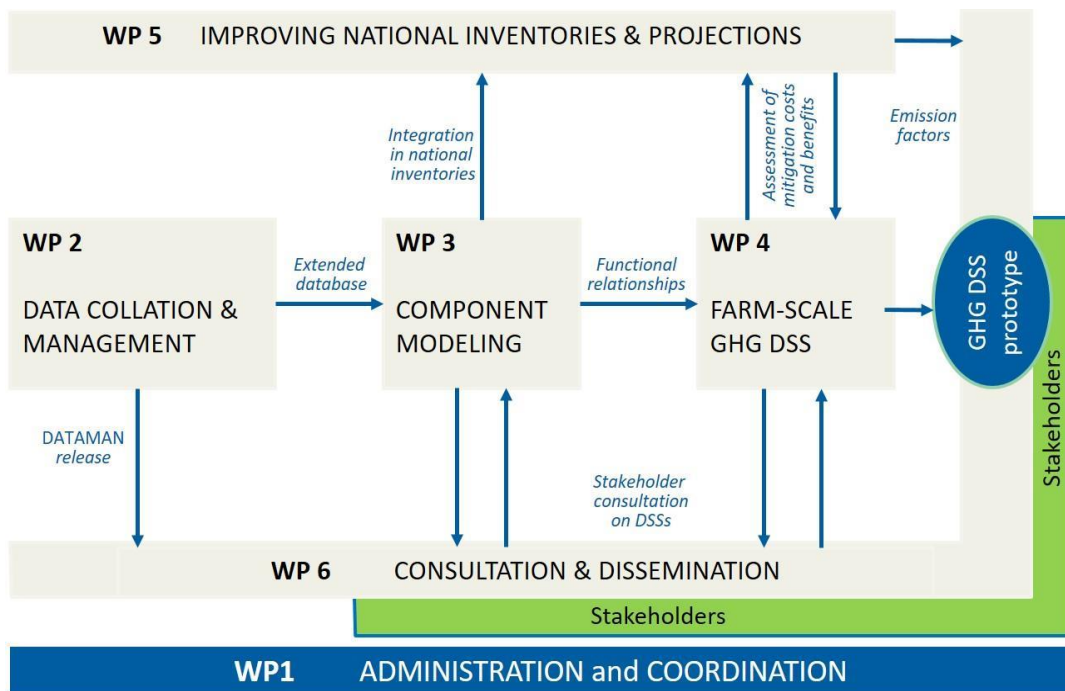


Figure 2. Work Plan of the MELS project

4. WORK PACKAGES OBJECTIVES

WP1: Project Management (Leader: ATB, Contributing partners: all)

The objectives of WP1 are: to manage MELS efficiently and effectively, to monitor project progress, to ensure timely fulfilment of the planned objectives, quality of the results, management of human and financial resources, and to optimise exploitation, dissemination of results and deal with any issues that arise during the project.

WP2: Data collation and database management (Leader: AgR, Contributing partners: ATB, AU, AUA, TEAGASC, INIA, UZG)

Objectives of WP2 are: i) to collate GHG and NH₃ emission factor data and ancillary activity data across the entire manure management chain, including direct deposition by grazing livestock, into a unified database; ii) to include data describing the effect of imposing mitigation measures, iii) to manage the database (i.e. maintain integrity of the data, avoid duplication and enable access from other work packages).

WP3: Component modelling (Leader: INRAe, Contributing partners: AgR, AU, ATB, TEAGASC, INIA)

Objectives of WP3 are: i) to develop functional relationships of GHG emissions from farm components and ii) to develop mechanisms to incorporate the effectiveness of mitigation measures into the functional relationships.

WP4: Farm-scale GHG decision support (Leader: AUA, Contributing partners: TEAGASC, CUBS, ATB, INIA, INRAe, AU)

The objectives of WP4 are: i) to review and characterise existing farm-scale GHG DSSs according to emissions included and factors determining them; ii) to recommend improvements to GHG and cost calculations in existing farm-scale GHG DSSs; iii) to produce a flexible prototype farm-scale GHG DSS for countries without an existing DSS and iv) to assess the future demands on farm-scale GHG DSSs, including the future role for ICT and sensor technologies.

WP5: Improving national emission inventories and projections (Leader: ATB, Contributing partners: AgR, INRAe, TEAGASC, AU, INIA, UZG)

The objectives of WP5 are: to improve accuracy & reportability of agricultural GHG emissions and of effect of mitigation measures in national inventory reporting and to reduce cost of collecting activity data.

WP6: Consultation and dissemination (Leader: TEAGASC, Contributing partners: ATB, AgR, INRAe, AU, INIA, UZG)

The objectives of WP6 are: i) to ensure views of main stakeholders in relation to implementation of MELS are taken into account and ii) to disseminate project's outcomes to stakeholders and coordinate activities.

5. EXPECTED IMPACTS

The MELS project is expected to impact in the following directions:

- Consideration of the potential of GHG mitigation measures applied to manure management at the national and farm scales
- Improvement of methodologies for national inventory compilation regarding livestock production systems (MELS will identify how this could be achieved using existing and new technologies, in particular how data available at the farm scale could be utilized)
- Transparency in the GHG accounting at the livestock farm scale (by indicating where standardisation is appropriate and by identifying methods to maintain transparency)
- Improvement in decision-making at the livestock farm and national scales (MELS will develop generic methods to link the efficiencies of mitigation measures to their costs, allowing more informed decisions at the farm and national scales)

6. ACKNOWLEDGEMENTS

This work was financially supported by the Greek Secretariat for Research and Innovation (GSRI), Grant No. T11EPA4-00076, MELS project (funded under the Joint Call 2018 ERA-GAS,

SusAn and ICT-AGRI on 'Novel technologies, solutions and systems to reduce the greenhouse gas emissions in animal production systems').

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΝΥΔΡΕΙΟΠΟΝΙΑΣ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΚΤΡΟΦΗ ΠΕΣΤΡΟΦΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Χ. Βασδραβανίδης¹, Δ. Παπαδόπουλος², Ι. Χατζηγεωργίου³, Α. Λάττος², Ι.Α. Γιάντσης¹, Γ.Κ. Ντίνας³

¹Τμήμα Γεωπονίας, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Δυτ. Μακεδονίας, 53100, Φλώρινα

²Τμήμα Βιολογίας, Σχολή Θετικών Επιστημών, Α.Π.Θ., 54124, Θεσσαλονίκη

³Εργαστήριο Αειφόρων Γεωργικών Κατασκευών και Ανανεώσιμων Ενεργειακών Πόρων, ΕΛΓΟ
Δήμητρα, 57001 Θέρμη, Θεσσαλονίκη Email: gntinas@ipgrb.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ενυδρειοπονία αποτελεί συνδυασμό ιχθυοκαλλιέργειας και υδροπονίας σε έξυπνα θερμοκήπια. Αν και η παραγωγή ψαριών και φυτών είναι το τελικό προϊόν, η ενυδρειοπονία απαιτεί την ολοκληρωμένη διαχείριση ενός ολόκληρου οικοσυστήματος που περιλαμβάνει τρεις βασικές κατηγορίες οργανισμών: ψάρια, φυτά και βακτήρια. Στην ενυδρειοπονία ελαχιστοποιείται η χρήση λιπασμάτων, μειώνεται το κόστος παραγωγής των φυτών και παράλληλα, το νερό παραμένει ποιοτικό για τα ψάρια, με την βοήθεια των φυτών και των βακτηρίων. Η χρήση και ενσωμάτωση τεχνολογιών ολοκληρωμένης παρακολούθησης ενός τέτοιου συστήματος προσδίδουν εξαιρετικές προοπτικές κέρδους. Στην Ελλάδα τέτοια εγχειρήματα περιορίζονται σε μικρές οικογενειακές και ερευνητικές προσπάθειες. Η ιριδίζουσα πέστροφα παρουσιάζει χαρακτηριστικά που την κατατάσσουν σε βασικό υποψήφιο για την ανάπτυξη της ενυδρειοπονίας στην Ελλάδα.

Λέξεις κλειδιά: Ιχθυοκαλλιέργεια, ιριδίζουσα πέστροφα, βιωσιμότητα, θερμοκήπια

REVIEW ON APPLICATION POSSIBILITIES OF AN AQUAPONICS SYSTEM WITH EMPHASIS ON TROUT BREEDING IN GREECE

C. Vasdravanidis¹, D. Papadopoulos², I. Chatzigeorgiou³, A. Lattos², I.A. Giantsis¹, G.K. Ntinis³

¹Dept. of Agriculture, Faculty of Agricultural Sciences, University of W. Macedonia, 53100, Florina

²Dept. of Biology, Faculty of Science, Aristotle University of Thessaloniki, 54124, Thessaloniki

³Sustainable Agricultural Structures & Renewable Energy Resources Lab, IPBGR, ELGO-DIMITRA, 57001, Themi, Thessaloniki

SUMMARY

Aquaponics is a combination of fish farming and hydroponics in smart greenhouse structures. Although the production of fish and plants is the end product, aquaponics requires the integrated management of an entire ecosystem that includes three basic categories of organisms: fish, plants, and bacteria. In aquaponics, the use of fertilizers is minimized, the production costs of plants are reduced and at the same time, the water remains of good quality for the fish, with the help of plants and bacteria. The use and integration of full monitoring technologies of such a system offer excellent profit prospects. In Greece, such projects are limited to small family and research efforts. The iridescent trout has characteristics that make it a key candidate for the development of aquaponics in Greece.

Keywords: Fish farming, iridescent trout, sustainability, greenhouses

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην ενυδραιοπονία, τα υγρά απόβλητα της ιχθυοκαλλιέργειας υφίστανται μετατροπή μέσω μικροβίων ώστε να χρησιμοποιηθούν ως πηγή θρεπτικών συστατικών για τα φυτά, ενώ η απορρόφηση των θρεπτικών από τους φυτικούς οργανισμούς βελτιώνει την ποιότητα του νερού, το οποίο επιστρέφει στα ψάρια (Yer and Zheng, 2019). Το νερό κυκλοφορεί από τις δεξαμενές των ψαριών προς τα φυτά, διαρκώς φιλτράρεται και επιστρέφει καθαρό στις δεξαμενές των ψαριών (Nelson and Pade, 2007). Στο συγκεκριμένο «κλειστό» οικοσύστημα φυτά και ψάρια μπορούν να αναπτυχθούν ταυτόχρονα.

Σε ένα απλό σύστημα ενυδραιοπονίας, τα ψάρια αναπτύσσονται σε δεξαμενές και σιτίζονται με βιομηχανικά σύμπληκτα κατάλληλα για το είδος του ψαριού που εκτρέφεται. Το νερό από τις δεξαμενές των ψαριών μετακινείται συνεχώς ή κατά διαστήματα με τη βοήθεια σωληνώσεων, αρχικά από το μηχανικό και έπειτα από το βιολογικό φίλτρο, καταλήγοντας στα φυτά και έπειτα πίσω στις δεξαμενές των ψαριών. Καθώς τα ψάρια αναπτύσσονται, τα απόβλητα του μεταβολισμού τους συσσωρεύονται στο νερό και μπορούν να γίνουν τοξικά. Ωστόσο, λόγω της κυκλοφορίας του νερού και με τη δράση βακτηρίων που δημιουργούν αποικίες τόσο στις δεξαμενές των φυτών όσο και στο βιολογικό φίλτρο τα απόβλητα των ψαριών και τα υπολείμματα τροφών τους, μετατρέπονται, σε χρήσιμα για τα φυτά, θρεπτικά συστατικά.

Καθώς το νερό από τις δεξαμενές εκτροφής περνάει στο μηχανικό φίλτρο φιλτράρεται προκειμένου να απομακρυνθούν τα στερεά απόβλητα. Το βιολογικό φίλτρο έχει μεγάλη συνεισφορά στην απομάκρυνση τοξικών ενώσεων από το σύστημα. Η τοξική αμμωνία που παράγεται από τα ψάρια με τη δράση των νιτροποιητικών (*Nitrosomonas* spp. και *Nitrobacter* spp.) βακτηρίων μετατρέπεται σε νιτρικά ιόντα που αποτελούν πηγή αζώτου για τα φυτά.

Με την αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού, την αυξανόμενη ζήτηση των τροφίμων και την ταυτόχρονη μείωση της αγροτικής γης, η ενυδραιοπονία αποτελεί μια από τις πολλά υποσχόμενες λύσεις του προβλήματος της διαθεσιμότητας της τροφής σε παγκόσμιο επίπεδο. Στην Ελλάδα, η τεχνολογία της ενυδραιοπονίας περιορίζεται σε μικρές οικιακές και ερευνητικές προσπάθειες. Η μέθοδος της συγκεκριμένης καλλιέργειας είναι σχεδόν άγνωστη στην Ελλάδα, καθώς όμως το ενδιαφέρον για την ενυδραιοπονία αυξάνεται ραγδαία στην Ευρώπη, αυτή η προσέγγιση εκτιμάται ότι θα αποτελέσει μια από τις μελλοντικές μεθόδους παραγωγής τροφίμων και για τις τοπικές αγορές.

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ - ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΝΥΔΡΕΙΟΠΟΝΙΑΣ: ΑΠΟ ΤΑ ΨΑΡΙΑ ΕΩΣ ΤΑ ΦΥΤΑ

Οι χώρες της μεσογειακής Ευρώπης παράγουν λαχανικά και άνθη εκτός εποχής κυρίως σε χαμηλού κόστους κατασκευές, εκμεταλλευόμενες τις ευνοϊκές κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν, μολονότι έτσι δεν διασφαλίζονται ούτε υψηλές αποδόσεις ούτε ικανοποιητική ποιότητα προϊόντων. Κατά συνέπεια, στις χώρες αυτές, οι περισσότεροι παραγωγοί δεν είναι ιδιαίτερα πρόθυμοι να επενδύσουν εγκαθιστώντας σύγχρονο εξοπλισμό στα θερμοκήπια τους και συνεπώς διστάζουν να αναλάβουν το κόστος εγκατάστασης του εξοπλισμού που απαιτεί η καλλιέργεια εκτός εδάφους. Γι' αυτό τον λόγο η εξάπλωση της υδροπονίας στις μεσογειακές χώρες της Ευρώπης, συμπεριλαμβανομένων της Ελλάδας, άρχισε με χρονική υστέρηση και βαίνει μέχρι σήμερα με σημαντικά πιο αργούς ρυθμούς.

Σε ένα σύστημα ενυδραιοπονίας πρέπει να υπάρχει ισορροπία. Η ιχθυοτροφή που χρησιμοποιείται και ο μεταβολισμός των ψαριών πρέπει να παρέχουν επαρκή θρεπτικά

συστατικά στα φυτά, τα οποία είναι απαραίτητο να τα απορροφούν επαρκώς, προτού το νερό επιστρέψει στις δεξαμενές των ψαριών. Το βιολογικό φίλτρο πρέπει να έχει τέτοιο όγκο ώστε να επεξεργάζεται άμεσα το μεγαλύτερο μέρος αν όχι το σύνολο των αποβλήτων της ιχθυοκαλλιέργειας (FAO, 2015). Η ισορροπία αυτή ακόμα και όταν αποκατασταθεί πλήρως στο σύστημα, είναι ευαίσθητη και πρέπει να ελέγχεται συνεχώς ώστε το σύστημα να είναι αποδοτικό. Για παράδειγμα, κατά το ξεκίνημα μιας παραγωγικής προσπάθειας κρίνεται απαραίτητο να εισαχθούν φυτά μόνο όταν έχουν αρχίσει να εντοπίζονται νιτρικά ιόντα στο νερό, κάτι που αποτελεί ένδειξη ότι αρχίζει να εγκαθίσταται το βιολογικό φίλτρο. Από τη στιγμή που εγκατασταθεί πλήρως το βιολογικό φίλτρο, ο ρυθμός αύξησης των φυτών μπορεί να είναι 2-3 φορές πιο γρήγορος από τη κλασική καλλιέργεια σε έδαφος (FAO, 2015).

Στην υδατοκαλλιέργεια, περίπου το 5% των χρησιμοποιούμενων ζωοτροφών δεν καταναλώνεται από τα ψάρια (Khater et al., 2015). Το 30-40% μετατρέπεται σε βιομάζα ψαριών, ενώ το 60-70% απελευθερώνεται με τη μορφή κοπράνων, ούρων και αμμωνίας (FAO, 2014). Μελέτες αναφέρουν ότι 1 kg τροφής (30% πρωτεΐνης) απελευθερώνει συνολικά περίπου 27.6 g N καθώς και 1 kg ιχθύων απελευθερώνει περίπου 577 g BOD, 90.4 g N και 10.5 g P (Tyson et al., 2011).

Στην Ενυδρειοπονία, τα απόβλητα των ψαριών και οι ακατανάλωτες τροφές χρησιμοποιούνται ως λιπάσματα για την παραγωγή φυτών, μετατρέποντας τα απόβλητα σε βασική πηγή θρεπτικών για τα φυτά. Στη διαδικασία αυτή ο ρόλος των βακτηρίων είναι κρίσιμος. Στο βιολογικό φίλτρο, η ολική αμμωνία (NH_3^+ και NH_4^+) με τη βοήθεια βακτηρίων οξειδώνεται σε νιτρικά ιόντα (NO_3^-) που είναι η μορφή αζώτου που απορροφούν τα φυτά (Rakocy et al., 2012; FAO, 2014). Η μετατροπή πραγματοποιείται μέσω διαδοχικών αντιδράσεων και περιλαμβάνει δύο διαφορετικές ομάδες βακτηρίων τα *Nitrosomonas*, τα οποία μετατρέπουν το ιόν αμμωνίου σε νιτρώδη ιόντα (NO_2^-), τα οποία μετατρέπονται σε νιτρικά ιόντα (NO_3^-) με τη δράση των βακτηρίων *Nitrobacter*. Σημαντικός είναι και ο ρόλος των ετερότροφων βακτηρίων που εμπλέκονται στην ανοργανοποίηση των στερεών αποβλήτων (FAO, 2014). Ως εκ τούτου, τα νιτρικά και άλλα θρεπτικά συστατικά εμπλουτίζουν το νερό και κυκλοφορούν εντός του συστήματος όπου λαμβάνει χώρα η αφομοίωσή τους από τα φυτά (FAO, 2014). Έχει αποδειχθεί ότι τα νιτρικά ιόντα στο νερό μπορούν να μειωθούν περισσότερο από 97% (Lennard, 2006).

Στις δεξαμενές των ψαριών, η πυκνότητα τους μπορεί να κυμαίνεται από 10-20 kg/m^3 εφόσον πάντα υπάρχει επαρκής οξυγόνωση και αποδοτικό σύστημα φιλτραρίσματος (FAO, 2014). Σε ειδικές περιπτώσεις μπορεί η πυκνότητα των ψαριών να φθάσει μέχρι και τα 140-200 kg/m^3 , ωστόσο σε μια τέτοια περίπτωση είναι δύσκολο να αποφευχθεί η συσσώρευση της αμμωνίας μετά τη χορήγηση τροφής (Pantanella, 2012). Η ιριδίζουσα πέστροφα σε χαμηλής τεχνολογίας σύστημα ενυδρειοπονίας μπορεί να καλλιεργηθεί με πολύ καλή απόδοση αύξησης και ποιότητας σάρκας, σε πυκνότητες 7.26 kg/m^3 (Birolo et al., 2020). Μελέτες έχουν δείξει ότι κατά μέσο όρο για κάθε 60-100 gr τροφής απαιτείται ένα τετραγωνικό μέτρο (m^2) συστήματος ενυδρειοπονίας για να καθαρίζεται αποτελεσματικά το νερό (Rakocy et al., 2006). Επίσης, ένα τετραγωνικό μέτρο (m^2) ενυδρειοπονικής καλλιέργειας μπορεί να απομακρύνει 0.83 g N και 0.17 g ολικού P (Tyson et al., 2011).

Η μέθοδος ενυδρειοπονίας που χρησιμοποιεί υπόστρωμα (MBT- media bet technique) είναι η πιο κοινή μέθοδος που εφαρμόζονται σε ενυδρειοπονικά συστήματα μικρής κλίμακας (Rakocy, 2012) ενώ οι πόροι του υλικού πλήρωσης παρέχουν στήριξη στα φυτά αλλά λειτουργούν ως μηχανικό και βιολογικό φίλτρο (FAO, 2014). Αντίστροφα, η μέθοδος ενυδρειοπονίας με ρηχό ρεύμα πλούσιο σε θρεπτικά (NFT- nutrient film technique) και η

καλλιέργεια σε βαθιά νερά (DWC) μπορούν να χρησιμοποιούνται για εμπορικά συστήματα ενυδρείοπονίας, αλλά και οι δυο τύποι απαιτούν μηχανικό φίλτρο και βιολογικό φίλτρο. Η απορροή του νερού γίνεται με τη βαρύτητα όπου συγκεντρώνονται στο φίλτρο όπου βρίσκεται η υποβρύχια αντλία (Rakocy, 2012).

Βασικά πλεονεκτήματα της ενυδρείοπονίας αποτελούν η μειωμένη απαίτηση σε νερό και η μηδαμινή ρύπανση του περιβάλλοντος. Σε ένα σύστημα ενυδρείοπονίας δύναται να ελεγχθούν τα στερεά απόβλητα, η αμμωνία και τα νιτρώδη, τα οποία εφόσον καταλήξουν σε υδάτινο αποδέκτη μπορούν να προκαλέσουν ευτροφισμό. Καθώς τα σύγχρονα συστήματα ενυδρείοπονίας έχουν την μορφή των κλειστών συστημάτων ανακυκλοφορίας νερού (RAS) υπάρχει μειωμένη ανάγκη για χρήση νερού. Ένα σύστημα RAS χρησιμοποιεί 90-99% λιγότερο νερό από τα κλασικά συστήματα υδατοκαλλιέργειας (Timmons and Ebeling, 2010). Οι μοναδικές απώλειες νερού ενός ενυδρείοπονικού συστήματος οφείλονται στην κίνηση των ψαριών, στην εξάτμιση, στην διαπνοή από τα φυτά και τις προσθαφαίρέσεις νερού όταν κρίνεται απαραίτητο. Έχει υπολογιστεί ότι ένα σύστημα ενυδρείοπονίας χρησιμοποιεί μόλις 0.3-5% του νερού του ανά μέρα (Maucieri et al., 2018). Ακόμη, η παραγόμενη ποσότητα φυτικής βιομάζας, σε σχέση με τον όγκο νερού που χρησιμοποιείται, είναι 5-10 φορές μεγαλύτερη συγκριτικά με τη κλασική γεωργία (Licamele, 2009).

Πολλά άλλα είδη ψαριών κρίνονται κατάλληλα και έχουν σημειώσει εξαιρετικούς ρυθμούς ανάπτυξης και υψηλά ποσοστά επιβίωσης σε συστήματα ενυδρείοπονίας (π.χ. *Oreochromis niloticus*, *Cyprinus carpio*, *Clarias gariepinus*, *Oncorhynchus mykiss* κ.α.). Κάποια εκτρεφόμενα είδη καλλιεργούνται σε περιοχές όπου δεν συναντώνται φυσικοί πληθυσμοί (μη ενδημικά) συνεπώς κρίνεται απαραίτητο να λαμβάνεται υπόψη η τοπική νομοθεσία που διέπει την εισαγωγή οποιοδήποτε νέου είδους πριν από το ξεκίνημα οποιασδήποτε παραγωγικής προσπάθειας.

Ειδικότερα, η ιριδίζουσα πέστροφα (*Oncorhynchus mykiss*) είναι ένα ψυχρόφιλο και αυτόχθονο είδος της Βόρειας Αμερικής και της Ασίας. Ωστόσο, εκτρέφεται σε τουλάχιστον 82 ακόμη χώρες, συμπεριλαμβανομένης της Ελλάδας όπου παρουσιάζει ιδιαίτερα θετικά αποτελέσματα οικονομικότητας και βιωσιμότητας ως κλάδος, καθώς ανέχεται μεγάλο εύρος περιβαλλοντικών συνθηκών και παρουσιάζει πολύ υψηλό ρυθμό ανάπτυξης (FAO, 2015). Είναι δυνατό να καλλιεργηθεί σε θερμοκρασίες κάτω των 20°C υπό ελεγχόμενες συνθήκες περιβάλλοντος και διαλυμένου οξυγόνου σε κλειστούς υπόγειους χώρους, εξασφαλίζοντας ικανές συνθήκες διαβίωσής του. Είναι ένα είδος με υψηλό ρυθμό αύξησης, ανεκτικό στην υψηλή πυκνότητα εκτροφής, μιας και φτάνει σε εμπορεύσιμο μέγεθος έως και ένα κιλό σε λιγότερο από έναν χρόνο. Σε συνθήκες κλειστού συστήματος καλλιέργειας απαιτεί αυξημένα ποσά διαλυμένου οξυγόνου άνω των 5 ppm, καλή ροή και ποιότητα νερού, καθώς αναπτύσσεται καλύτερα σε επίπεδο pH από 6,7 έως 8,2 (FAO, 2014). Σε κάθε περίπτωση, για την επιλογή του είδους ψαριού που θα επιλεγεί για ένα σύστημα ενυδρείοπονίας, λαμβάνεται υπόψη η τιμή του στην αγορά, η ανάγκη της αγοράς για το συγκεκριμένο ψάρι και η γεωγραφική περιοχή που θα λαβει χώρα η εκτροφή (Forchino et al., 2017). Η ιριδίζουσα πέστροφα είναι ένα εδώδιμο ψάρι με μεγάλη εμπορική αξία, σε σύγκριση με άλλα είδη ψαριών, λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες και της πλούσιας γεύσης της. Παρουσιάζει γρήγορο ρυθμό αύξησης σε συνδυασμό με την ικανότητά της να ανέχεται μεγάλο εύρος περιβαλλοντικών συνθηκών και άριστη αναλογία ταΐσματος- αύξησης βάρους καθώς και αποβολή περιττωμάτων. Λόγω του μεγάλου ρυθμού αύξησής της διαθέτει αυξημένο ποσοστό αποβλήτων στα φυτά γεγονός που οδηγεί σε ταχύ ρυθμό ανάπτυξης των φυτών (Velichkova et al., 2019). Συνεπώς, αποτελεί ένα ελκυστικό είδος για την έναρξη ενός εγχειρήματος ενυδρείοπονίας στην Ελλάδα. Ένα καλά στημένο

σύστημα ενυδρειοπονίας διαθέτοντας αυξημένη αποτελεσματικότητα χρήσης των πόρων, αποτελεί ένα οικονομικά και περιβαλλοντικά βιώσιμο σύστημα (van Woensel et al., 2015) και επομένως μπορεί να προσελκύσει επενδύσεις στη χώρα μας.

Σύμφωνα με την βιβλιογραφία περισσότερα από 150 διαφορετικά φυτά μπορούν να αναπτυχθούν σε συστήματα ενυδρειοπονίας. Τα παραγόμενα φυτά θεωρούνται οργανικά προϊόντα, πιο ασφαλή για ανθρώπινη κατανάλωση από τα φυτικά προϊόντα συμβατικής καλλιέργειας (Kharter and Ali, 2015). Τα κυριότερα είναι τα φυλλώδη πράσινα φυτά τα οποία έχουν γρήγορη ανάπτυξη, ενώ από τα καρποφόρα η τομάτα (*Solanum lycopersicum*), το αγγούρι (*Cucumis sativus*) και η πιπεριά (*Capsicum annuum*) έχουν καλλιεργηθεί με επιτυχία (FAO, 2014). Υπάρχουν 2 είδη φυτών που μπορούν να εισαχθούν στην ενυδρειοπονία. Πρώτον, αυτά που έχουν μικρή απαίτηση σε θρεπτικά συστατικά όπου περιλαμβάνονται φυλλώδη πράσινα λαχανικά και βότανα, όπως το μαρούλι (*Lactuca sativa*), η μέντα, ο βασιλικός και ο κόλιανδρος και δεύτερον τα φυτά με μεγάλες ανάγκες σε θρεπτικά συστατικά όπως οι τομάτες οι μελιτζάνες το μπρόκολο, το σπανάκι (*Spinacia oleracea*), καθώς και φρούτα όπως η φράουλα.

3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συστήματα ενυδρειοπονίας αποτελούν έναν ισορροπημένο συνδυασμό ανάμεσα στην υδατοκαλλιέργεια και στην υδροπονία όπου μπορεί να συζευχθεί αρμονικά και με βιώσιμο τρόπο η παραγωγή ψαριών και φυτών σε ερασιτεχνικό και επαγγελματικό επίπεδο. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν βάση βιβλιογραφικής ανασκόπησης συνοψίζονται στα εξής:

Τα συστήματα αυτά μπορούν να εξασφαλίσουν την τροφή σε οικογενειακές επιχειρήσεις μικρής κλίμακας και είναι συστήματα στα οποία δεν απαιτείται προσθήκη ανόργανων-οργανικών λιπασμάτων καθώς η λίπανση των φυτών εξασφαλίζεται διαμέσου των απεκκρίσεων των ψαριών.

Ο σχεδιασμός ενός συστήματος ενυδρειοπονίας θα πρέπει να γίνεται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο που γίνεται και στα κλειστά συστήματα εκτροφής ψαριών, μιας και στοχεύουν στην αύξηση της παραγωγικής διαδικασίας ψαριών και φυτών. Η βελτιστοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας εξαρτάται από παράγοντες όπως ο αριθμός των ψαριών, η παροχή του νερού, ο ρυθμός ανταλλαγής των αερίων, η πυκνότητα των ψαριών, η απομάκρυνση των στερεών αποβλήτων και το σχήμα της δεξαμενής.

Σε ένα σύστημα ενυδρειοπονίας η ανάπτυξη και η παραγωγή των φυτών εξαρτάται από την ημερήσια ποσότητα τροφής που χορηγείται στα ψάρια και την ημερήσια παραγόμενη συγκέντρωση αμμωνίας από τα ψάρια, προκειμένου η παραγωγή των φυτών να φτάσει σε μέγιστα δυνατά επίπεδα. Η αποτελεσματικότητα του συστήματος εξαρτάται από την συνεχή του παρακολούθηση (pH, αμμωνία, νιτρώδη και νιτρικά ιόντα, υγεία ψαριών και φυτών).

Ένα σύστημα ενυδρειοπονίας μπορεί να δώσει λύση σε πολλά θέματα βιωσιμότητας όπως η απαίτηση σε νερό και λιπάσματα, η ρύπανση του περιβάλλοντος και η μειωμένη διαθεσιμότητα γόνιμων εδαφών. Τέτοια συστήματα παράγουν τροφή με περιβαλλοντικά φιλικές πρακτικές.

Σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η επιλογή του ψαριού που θα χρησιμοποιηθεί για εκτροφή σε ένα σύστημα ενυδρειοπονίας. Η ιδανική πυκνότητα ιριδίζουσας πέστροφας που συνίσταται να εφαρμοστεί σε ένα σύστημα ενυδρειοπονίας μικρής κλίμακας φτάνει έως 7.26 kg/m^3 .

Η ιριδίζουσα πέστροφα αποτελεί ελκυστικό προϊόν για την εγκατάσταση μιας ενυδρειοπονικής μονάδας συγκριτικά με άλλα είδη ψαριών λόγω του εξαιρετικά γρήγορου ποσοστού αύξησης, της άριστη αναλογίας ταΐσματος - αύξησης βάρους καθώς και της εύκολης αποβολής περιττωμάτων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Birolò, M., Bordignon, F., Trocino, A., Fasolato, L., Pascual, A., Godoy, S., Nicoletto, C., Maucieri, C. and Xiccato, G., 2020. *Effects of stocking density on the growth and flesh quality of rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) reared in a low-tech aquaponic system.* Aquaculture, 529, 735653.
- FAO 2014. *Small-scale aquaponic food production - Integrated fish and plant farming.*
- FAO 2015. *Management of the aquaponic systems.*
- Forchino, A. A., Lourguioui, H., Brigolin, D. and Pastres, R., 2017. *Aquaponics and sustainability: The comparison of two different aquaponic techniques using the Life Cycle Assessment (LCA).* Aquacultural Engineering, 77, 80-88.
- Khater, E.S.G., Bahnasawy, A.H., Shams, A.E.H.S., Hassaan. M.S. and Hassan, Y.A., 2015. *Utilization of effluent fish farms in tomato cultivation.* Ecological engineering, 83, 199-207.
- Kharter E.S.G. and Ali S.A., 2015. *Effect of Flow Rate and Length of Gully on Lettuce Plants in Aquaponic and Hydroponic Systems.* Journal of Aquaculture Research & Development, 6, 348-354.
- Lennard, W.A. and Leonard, B.V., 2006. *A Comparison of Three Different Hydroponic SubSystems (Gravel Bed, Floating and Nutrient Film Technique) in an Aquaponic Test System.* Aquaculture International, 14, 539-550.
- Licamele J., 2009. *Biomass Production and Nutrient Dynamics of an aquaponics System.* PhD Thesis.
- Maucieri, C., Nicoletto, C., Junge, R., Schmutz, Z., Sambo, P. and Borin, M., 2018. *Hydroponic systems and water management in aquaponics: A review.* Italian Journal of Agronomy, 11, 1-31.
- Nelson R.L. and Pade, J.S., 2007. *Aquaponic equipment the clarifier.* Aquaponics Journal, 4, 30–31.
- Pantanella E., 2012. *Nutrition and quality of aquaponic systems.* Doctor Thesis.
- Rakocy, J. E., 2012. *Aquaponics-Integrating Fish and Plant Culture.* Aquaculture Production Systems, 1, 343-386.
- Timmons M. and Ebeling J., 2010. *Recirculating Aquaculture Systems.* Aquaculture Production Systems.
- Tyson, R.C., Treadwell, D.D. and Simonne, E.H., 2011. *Opportunities and Challenges to Sustainability in Aquaponic Systems.* HorTechnology, 21, 6-13.
- Velichkova K., Sirakov I., Stoyanova S., Staykov Y., 2019. *Cultivation of lettuce (Lactuca sativa L.) and rainbow trout (Oncorhynchus mykiss W.) in the aquaponic recirculation system,* 20 (3), 967-973.
- Yep B. and Zheng Y., 2019. *Aquaponic trends and challenges – A review.* Journal of Cleaner Production, 228, 1586-1599.

MILKEY PROJECT: DECISION SUPPORT SYSTEM FOR SUSTAINABLE AND GHG OPTIMIZED MILK PRODUCTION IN KEY EUROPEAN AREAS

V. Anestis¹, T. Bartzanas¹, F. Dragoni², B. Amon²

¹*Dept. of Natural Resources Management and Agricultural Engineering, Agricultural University of Athens, Iera Odos 75, 11855 Athens, Greece*

²*Leibniz-Institute for Agricultural Engineering and Bioeconomy (ATB), 14469 Potsdam, Germany
e-mail: vanestis@aua.gr*

Abstract

The objective of this work is to provide an overview of the ERA-NET MilKey Project. MilKey is developing an ambitious whole system concept research design for 3-pillar (3P: environmental, economic, social) sustainability of dairy production systems (DPS) targeted to key European regions. By following this approach, MilKey is addressing the achievement of GHG emission reduction through the development of a biophysical-economic tool at farm level, delivering information on the most promising mitigation options. As a result, a platform for sustainable 3P concepts for DPS in key European regions and an online barn climate and emission control tool will be available.

Keywords: 3-pillar sustainability, Dairy cattle production, Emission mitigation, Decision support, European regions

1. BACKGROUND

Dairy production systems (DPS) are an essential backbone of European agriculture. Nevertheless, these systems continue to face many challenges across the three pillars (3P) of sustainability. These challenges are associated to the increased globalization and high price volatility, to the end of milk quota and to complex issues such as production and consumption of dairy products per se, covering diet and health, ammonia emissions and air quality, greenhouse gas (GHG) emissions and climate change, degradation of natural resources, global food security and trade and animal welfare. Negative attention to European DPS has been especially caused by the negative environmental impacts of greenhouse gas emissions and nitrogen losses to air, soil and water. In addition, for European DPS region-specific concepts are most prominently required and conflicts between the three pillars of sustainability are most evident. It is therefore essential that holistic concepts are developed to ensure economic, environmental and social pillars of sustainability for future DPS.

The objective of this work is to provide an overview of the ERA-NET MilKey project which attempts to address the aforementioned challenges for DPS of important European regions.

2. OBJECTIVES OF THE PROJECT

All the objectives of MilKey aim at developing whole system concepts for sustainable and GHG optimized milk production targeted to key European areas:

- Analysis of drivers and sustainability aspects of DPS across Europe
- Identification of key priorities for 3P-sustainability
- Assessment of 3P-sustainability on case study farms across Europe
- Identification of key GHG and NH₃ mitigation options
- Assessment of 3P-sustainability interactions and GHG / NH₃ emission mitigation potentials for key European areas
- Testing of an ICT-tool for measurement of climate and emissions in barns
- Development of the MilKey platform as interactive knowledge hub

3. CONSORTIUM AND WORK PLAN

The MilKey project was funded in the framework of the 2018 Joint Call of the three ERA-NET projects on novel technologies, solutions and systems to reduce GHG emissions in animal production systems. It officially started on 01/01/2020 with a duration of 36 months. Its Consortium consists of 10 partners across Europe and Leibniz-Institute for Agricultural Engineering and Bioeconomy (ATB) is the coordinating organization (Fig. 1). The work of the Consortium is further advised by distinguished scientists in 5 different research organizations (Fig.1).

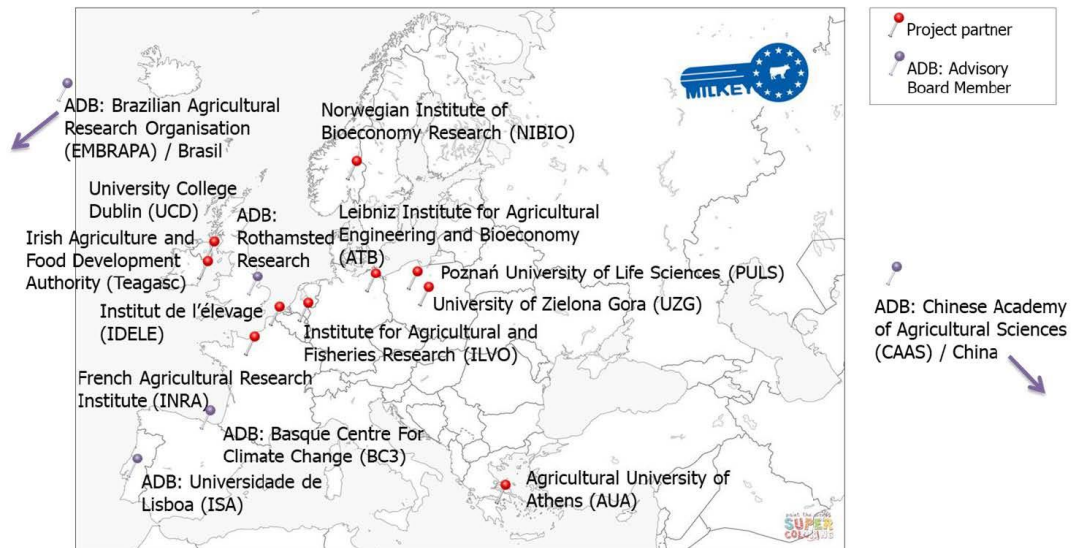


Figure 1. Geographical distribution of the Project partners and Advisory Board (AB)

MilKey consists of 6 interconnected work packages (WPs, Fig. 2) closely related to its general objectives.

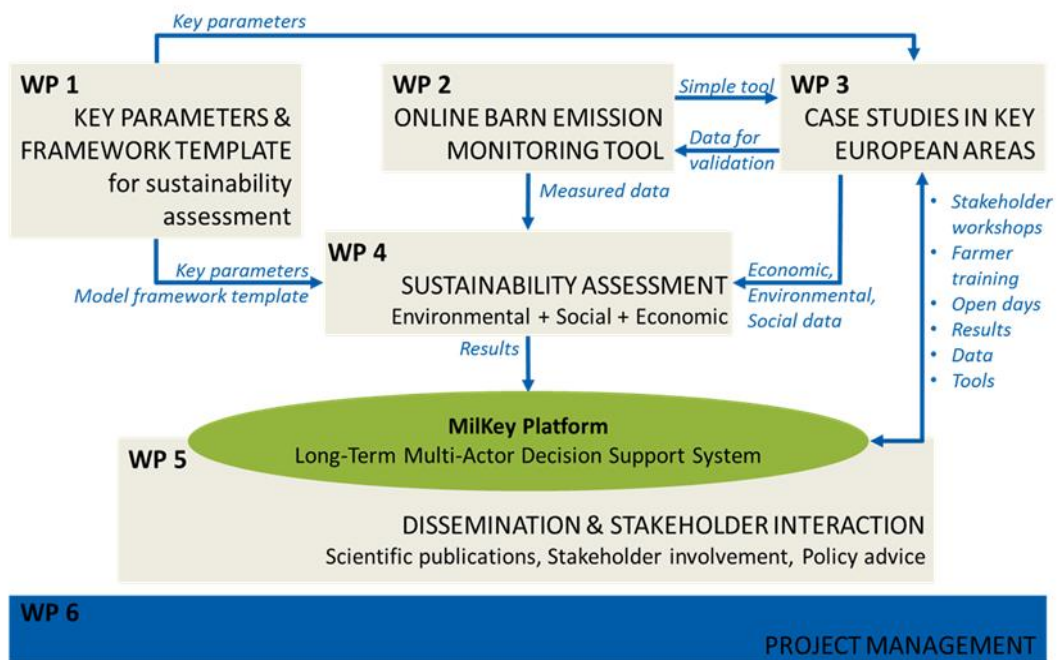


Figure 2. Work Plan of the MilKey project

4. WORK PACKAGES OBJECTIVES

WP1: Key parameters and framework of the MilKey emission mitigation and sustainability assessment (Leader: NIBIO, Contributing partners: all)

The objectives of WP1 are to identify key parameters and develop a model framework for the 3P sustainability assessment and evaluation of GHG mitigation measures in MilKey.

WP2: Online monitoring and control tool for barn climate and emissions: development and demonstration (Leader: ILVO, Contributing partners: ATB, AUA, INRAE, IDELE, PULS)

The objectives of WP2 are to develop an Online Tool for monitoring Indoor barn Climate, animal stress and Emission levels of air pollutants (OTICE) giving real time information on the temporal and spatial distribution of indoor air quality parameters (including visualization), the level of animal activity (e.g. individual stress monitoring via respiration rate) and the emission levels of air pollutants.

WP3: Case study farms (Leader: TEAGASC, Contributing partners: all, expect INRAe)

The objectives of WP3 are to characterize and collect sustainability parameters identified in WP1 (in collaboration with WP4) on case study farms in key European areas.

WP4: 3-pillar sustainability assessment and GHG mitigation potentials for key European areas (Leader: INRAe, Contributing partners: ATB, NIBIO, UCD, UZG, ILVO, PULS, TEAGASC, IDELE, AUA)

The objective of the WP4 is to develop a method to assess dairy production strategies in key European regions from a sustainability and technology perspective using flexible concepts for the development of sustainable concepts.

WP5: Dissemination, stakeholder interaction, and MilKey platform (Leader: AUA, Contributing partners: all)

The objective of WP5 is: to maximize the impact of the project through a comprehensive dissemination of the project outputs including active communication to stakeholders outside the project consortium.

WP6: Coordination and Management (Leader: ATB, Contributing partners: all)

The objective of this WP is to coordinate and manage communication between partners (delivery of milestones and deliverables assures quality control via a scientific advisory board and facilitates communication and interaction with projects from ERA Gas, ERA SusAn and ERA ICT).

5. EXPECTED IMPACTS

The MilKey project is expected to impact in the following directions:

- Integration of all three pillars of sustainability into the assessment of European DPS
- Enabling of contrasting impetus to the three pillars and allow flexible concepts for key European areas
- Visualization of barn climate for optimization and emission control, and for animal welfare monitoring
- Enabling stakeholders, farmers and politicians to make sound, knowledge-based decisions for DPS in European regions
- Informing the consumer about dairy production systems and their consequences on economy, environment, animal welfare, animal health, rural development
- Informing and contributing to EU policy development for the future of the CAP and regulatory framework for linking agriculture and sustainability
- Following a true multi-actor approach by including stakeholders and farmers as key element throughout the whole project
- Creation of an easy to use and long living online platform that assists stakeholder and farmers in finding sustainable solutions in their region and that informs the consumer about the key element of DPS in their region
- Positioning Europe as a world-leader in sustainable dairy production systems as a blueprint to be copied by other world regions

6. ACKNOWLEDGEMENTS

This project was financially supported by the Greek General Secretariat for Research and Innovation (GSRI), Grant No. T11EPA4-00074, MilKey project (funded under the Joint Call 2018 ERA-GAS, SusAn and ICT-AGRI on 'Novel technologies, solutions and systems to reduce the greenhouse gas emissions in animal production systems').

ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΡΟΚΑΣ: Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΨΥΞΗΣ ΤΟΥ ΘΡΕΠΤΙΚΟΥ ΔΙΑΛΥΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

I. Χατζηγεωργίου^{1,2}, Γ. Λιάντας¹, Π. Καρνούτσος³, Φ. Μπαντής², Α. Κουκουνάρας², Γ.Κ. Ντίνας¹

¹Εργαστήριο Αειφόρων Γεωργικών Κατασκευών και Ανανεώσιμων Ενεργειακών Πόρων, ΙΓΒΦΠ, ΕΛΓΟ Δήμητρα, 57001 Θέρμη, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα

²Εργαστήριο Λαχανοκομίας, Τμήμα Γεωπονίας, Α.Π.Θ., 54124, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα

³ΙΑ ΑΓΡΟ ΙΚΕ, Θέρμη, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα

e-mail: gntinas@ipgrb.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία αξιολογήθηκε η καλλιέργεια φύλλων ρόκας που πραγματοποιήθηκε θερινούς μήνες σε επιπλέουσα υδροπονία σε θερμοκήπιο, χωρίς έλεγχο της θερμοκρασίας αέρα αλλά με την εφαρμογή διαφορετικών θερμοκρασιών στο θρεπτικό διάλυμα. Τοποθετήθηκαν δύο δεξαμενές καλλιέργειας όπου στη μία η θερμοκρασία διατηρήθηκε σταθερή στο χώρο του διαλύματος στους 22.0°C με τη χρήση συστήματος ψύξης (chiller), ενώ στην άλλη δεν εφαρμόστηκε κανένας έλεγχος. Οι παράμετροι που ελέγχθηκαν αφορούσαν τη συνολική παραγωγή, και τον ποιοτικό έλεγχο των φύλλων ρόκας (περιεκτικότητα σε νιτρικά και συνολική αντιοξειδωτική ικανότητα). Συμπερασματικά, η δεξαμενή με την ελεγχόμενη θερμοκρασία σημείωσε μεγαλύτερες αποδόσεις στην παραγωγή, χωρίς ωστόσο να παρατηρηθούν σημαντικές ποιοτικές διαφορές.

Λέξεις κλειδιά: ρόκα, σύστημα επίπλευσης, νιτρικά ιόντα, αντιοξειδωτική ικανότητα, φωτοβολταϊκά

HYDROPONIC CULTIVATION OF ROCKET: EFFECT OF NUTRIENT SOLUTION COOLING ON PRODUCT QUANTITY AND QUALITY

I. Chatzigeorgiou^{1,2}, G. Liantas¹, P. Karnoutsos³, F. Bantis², A. Koukounaras², G.K. Ntinis¹

¹Sustainable Agricultural Structures & Renewable Energy Resources Lab, IPBGR, ELGO-DIMITRA, 57001, Thermi, Thessaloniki, Greece

²Vegetable Crops Lab, School of Agriculture, AUTH, 54124, Thessaloniki, Greece

³IA AGRO IKE, 57001, Thermi, Thessaloniki, Greece

ABSTRACT

In the present work we evaluated the cultivation of rocket leaves in a greenhouse floating hydroponics system, during summer without air temperature control but by applying different temperatures to the nutrient solution. Two tanks were used; in the first, the solution temperature was kept constant at 22.0°C using a cooling system (chiller), while in the second no control was applied. The parameters tested were total yield, and quality of rocket leaves (nitrate content and total antioxidant capacity). In conclusion, the tank with the controlled temperature recorded higher yields, without, however, significant quality differences.

Keywords: rocket, floating system, nitrate ions, antioxidant capacity, photovoltaics

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται αυξανόμενο ενδιαφέρον στην κατανάλωση μικρού μεγέθους φυλλωδών λαχανικών (baby), μεταξύ των οποίων το μαρούλι (*Lactuca sativa* L.), η ρόκα (*Eruca sativa* M.), το σπανάκι (*Spinacia oleracea* L.), που είναι πλούσια σε βιοενεργά συστατικά (Saini et al., 2017; Koukounaras et al., 2020) και παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλομορφία σε χρώματα, υφές, αρώματα και γεύση (Gil et al., 2012). Ιδιαίτερα στις μεσογειακές χώρες παρουσιάζει ενδιαφέρον η κατανάλωση της ρόκας που προτιμάται για την πικάντικη γεύση της και τα έντονα αρώματά της.

Η καλλιέργεια της σε θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις και σε σύστημα υδροπονίας, συνδυάζει τη δυνατότητα ελέγχου του περιβάλλοντος και ειδικά της θερμοκρασίας, με τα πλεονεκτήματα των υδροπονικών καλλιεργειών. Ιδιαίτερα η επιπλέον υδροπονία χαρακτηρίζεται από χαμηλό κόστος εγκατάστασης, ευκολία στους καλλιεργητικούς χειρισμούς και δυνατότητα μηχανικής συγκομιδής, καθώς η ανάπτυξη των φυτών είναι ομοιόμορφη και επομένως παρουσιάζουν ενιαίο χρόνο συγκομιδής (Gonnella et al., 2003).

Η ποιότητα των φυλλωδών λαχανικών στις υδροπονικές καλλιέργειες εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη θερμοκρασία του αέρα και του θρεπτικού διαλύματος (Tomasi et al., 2015), με το ιδανικό θερμοκρασιακό εύρος για τη ρόκα να κυμαίνεται από 10.0 έως 25.0°C. Ωστόσο, στις κλιματικές συνθήκες της Μεσογείου, η θερμοκρασία των θερμοκηπίων ιδιαίτερα τους θερινούς μήνες μπορεί να ξεπεράσει και τους 40.0°C προκαλώντας αλλοίωση της γεύσης, λιγότερο τρυφερά φύλλα, κατσάρωμα και κάψιμο των φύλλων.

Επιπλέον, στα φυλλώδη λαχανικά ενδέχεται συχνά να παρατηρηθούν υψηλές συγκεντρώσεις σε βλαβερές ενώσεις, όπως είναι τα νιτρικά, των οποίων η συκέντρωση εξαρτάται από περιβαλλοντικούς παράγοντες (εποχή, ηλιακή ακτινοβολία, θερμοκρασία), αλλά και τη λίπανση που εφαρμόζεται στην καλλιέργεια (Magnani et al., 2007). Παρουσιάζεται επομένως εποχιακή διακύμανση, με τάση μείωση από τους χειμερινούς στους θερινούς μήνες (Drews et al., 1995).

Ο έλεγχος της θερμοκρασίας και ιδιαίτερα η ψύξη του θρεπτικού διαλύματος, έχει αναφερθεί ότι είχε ως αποτέλεσμα την καθυστέρηση εμφάνισης μυκητολογικών ασθενειών και φυσιολογικών ανωμαλιών στα φυτά (Resh, 2016). Σχετικά με τη ρόκα, στους 20°C παρατηρείται αυξημένη παραγωγικότητα, αύξηση στο ρυθμό φωτοσύνθεσης και στα ανόργανα στοιχεία, παρά τη μείωση των συνολικών φαινολικών ενώσεων (He et al., 2016).

Στόχος της παρούσας μελέτης ήταν η εκτίμηση της επίδρασης της ψύξης του θρεπτικού διαλύματος σε φυτά ρόκας και σύστημα επιπλέον υδροπονίας, κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών. Συγκεκριμένα, στόχος ήταν η αξιολόγηση της παραγωγής (φρέσκο και ξηρό βάρος) και των ποιοτικών χαρακτηριστικών (περιεκτικότητα σε νιτρικά και συνολική αντιοξειδωτική ικανότητα).

2. ΥΛΙΚΑ & ΜΕΘΟΔΟΙ

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε τον Ιούλιο του 2018 σε θερμοκήπιο του ΙΓΒΦΠ στις εγκαταστάσεις του ΕΛΓΟ-ΔΗΜΗΤΡΑ στη Θέρμη Θεσσαλονίκης. Για τους σκοπούς του πειράματος σπάρθηκαν σπόροι ρόκας (*Eruca sativa* M.) σε δίσκους, με χρήση τύρφης ως υπόστρωμα, σε πυκνότητα 1235 φυτά/m². Οι δίσκοι ποτίζονταν καθημερινά μέχρι και το στάδιο του δεύτερου πραγματικού φύλλου, οπότε και μεταφέρθηκαν στις δεξαμενές της υδροπονίας.

Σε όλη τη διάρκεια του πειράματος δεν εφαρμόστηκε καμία μέθοδος ψύξης ή θέρμανσης του θερμοκηπίου εκτός από τον φυσικό αερισμό από τα παράθυρα της οροφής. Οι δίσκοι της καλλιέργειας τοποθετήθηκαν σε δύο δεξαμενές που πληρώθηκαν με 500L θρεπτικό

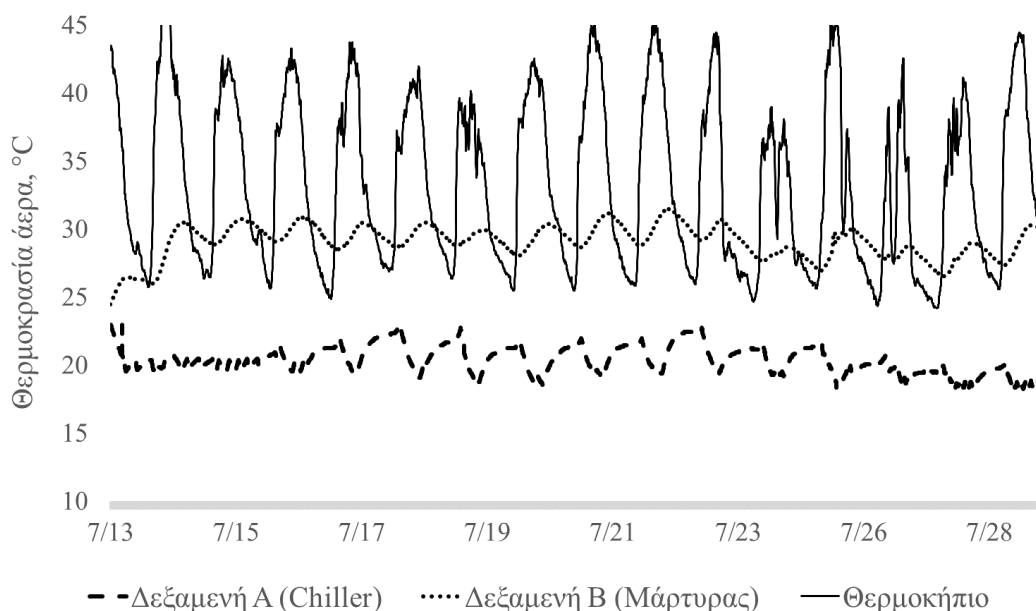
διάλυμα Hoagland 100% η κάθε μία. Κάθε δεξαμενή είχε αντλία ανακυκλοφορίας νερού για την ομοιόμορφη κατανομή του θρεπτικού διαλύματος και αντλία οξυγόνου για τον εμπλουτισμό του θρεπτικού διαλύματος. Από τις δύο δεξαμενές που χρησιμοποιήθηκαν στη μία εγκαταστάθηκε υδροπονικό chiller (A δεξαμενή) για τη διατήρηση της θερμοκρασίας του θρεπτικού διαλύματος στους 20.0°C, ενώ στη δεύτερη που λειτούργησε ως μάρτυρας (B δεξαμενή), δεν εφαρμόστηκε κανένας έλεγχος της θερμοκρασίας του. Η κάλυψη των αναγκών των δεξαμενών σε ρεύμα έγινε με αξιοποίηση φωτοβολταϊκών πάνελ που ήταν τοποθετημένα εξωτερικά κατά μήκος του θερμοκηπίου. Η θερμοκρασία και των δύο δεξαμενών καταγράφονταν με τη βοήθεια αισθητήρων κάθε 5 λεπτά.

Η συγκομιδή πραγματοποιήθηκε σε όλα τα φυτά 22 ημέρες μετά τη σπορά και μετρήθηκε το χλωρό βάρος των φύλλων ανά φυτό. Όλα τα φύλλα ανά δίσκο ομογενοποιήθηκαν σε μπλέντερ και προσδιορίστηκε η περιεκτικότητά τους σε νιτρικά (Cataldo et al., 1975), ενώ με την ανάλυση FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) προσδιορίστηκε η αντιοξειδωτική τους ικανότητα (Benzie and Strain, 1996).

Για την καλλιέργεια της ρόκας χρησιμοποιήθηκαν 3 δίσκοι ανά δεξαμενή, θεωρώντας κάθε δίσκο ως μία διαφορετική επανάληψη. Τα δεδομένα αναλύθηκαν με την ανάλυση διακύμανσης ANOVA.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η θερμοκρασία του θρεπτικού διαλύματος στην A δεξαμενή κυμαίνονταν στα ιδανικά για την ανάπτυξη του φυτού επίπεδα, με μέσο όρο τους 21.9°C, ενώ στη B δεξαμενή η θερμοκρασία έφτανε κατά μέσο όρο τους 30.0°C (Σχήμα 1). Η θερμοκρασία του αέρα του θερμοκηπίου κυμαίνονταν μεταξύ 26.0 και 43.0°C (Πίνακας 1).



Σχήμα 1. Σύγκριση θερμοκρασίας των δεξαμενών (A: chiller, B: Μάρτυρας) συμπεριλαμβανόμενης και της θερμοκρασίας αέρα του θερμοκηπίου.

Η μείωση της θερμοκρασίας του θρεπτικού διαλύματος είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της συνολικής παραγωγής κατά 18.9% στην A δεξαμενή σε σύγκριση με τον μάρτυρα. Αντίθετα, δεν επηρέασε σημαντικά την περιεκτικότητα των φυτών σε νιτρικά όπου σημειώθηκαν 639.9mg/kg και 628.5mg/kg στην A και B δεξαμενή αντίστοιχα (Πίνακας 1). Σε

κάθε περίπτωση η περιεκτικότητα και των δύο δεξαμενών ήταν σημαντικά κάτω από τα όρια που τείθενται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (6000 mg NO₃/kg) για τη ρόκα τη συγκεκριμένη καλλιεργητική περίοδο. Τέλος, σημαντικές διαφορές δεν παρατηρήθηκαν ούτε στην περιεκτικότητά τους στη συνολική αντιοξειδωτική ικανότητα.

Πίνακας 4. Η μέση θερμοκρασία των δεξαμενών, το εύρος θερμοκρασίας περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια του πειράματος και οι μέσοι όροι που αφορούν την απόδοση, την περιεκτικότητα σε νιτρικά και συνολικά αντιοξειδωτικά, και προκύπτουν από τους 3 διαφορετικούς δίσκους καλλιέργειας – επαναλήψεις, σε κάθε δεξαμενή.

Μεταχείριση	Θερμοκρασία (°C)	Απόδοση (kg φρ. Βάρους /στρέμμα)	Νιτρικά (mg/kg)	Συνολικά αντιοξειδωτικά (μg ασκορβικού οξέος/g φρ. βάρους)
Δεξαμενή Α (Chiller)	22.0±1.0	2800	639.9	135.1
Δεξαμενή Β (Μάρτυρας)	28.0±2.0	2400	628.5	153.6
Θερμοκήπιο	30.0±3.0			

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η καλλιεργητική πρακτική που συνδυάζει υδροπονικό σύστημα επίπλευσης με ψύξη της ζώνης ανάπτυξης του ριζικού συστήματος θα μπορούσε να αξιοποιηθεί για την αύξηση της παραγωγής της ρόκας ακόμα και σε δυσμενείς καιρικές συνθήκες σε θερμοκήπιο, χωρίς να απαιτείται συμπληρωματική ψύξη του θερμοκηπίου. Επιπλέον, αντίστοιχες πειραματικές μετρήσεις παρουσιάζουν ενδιαφέρον και για άλλα φυλλώδη λαχανικά, ανοίγοντας τον δρόμο για επιπλέον έρευνα. Η ενεργειακή και τεχνοοικονομική μελέτη σκοπιμότητας θα μπορούσαν να αποτελέσουν πεδίο μελλοντικής έρευνας.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Benzie, Iris F.F. and Strain, J.J., 1996. *The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of "Antioxidant Power": The FRAP Assay*. Analytical Biochemistry, 239 (1), 70-76.
- Cataldo, D. A., Maroon, M., Schrader, L. E. and Youngs, V. L., 1975. *Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid*. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 6:1, 71-80.
- Drews, M., Schonhof, I., and Krumbein, A., 1995. *Influence of growth season on the content of nitrate, vitamin C, beta-carotin, and sugar of head lettuce under greenhouse conditions*. Gartenbauwissenschaft, 60, 180-187.
- Gil, M.I., Tudela, J.A., Martínez-Sánchez, A. and Luna, M.C., 2012. *Harvest maturity indicators of leafy vegetables*. Stewart Postharvest Review, 8:1-9.
- Gonnella, M., Serio, F., Conversa, G. and Santamaria, P. 2002. *Yield and quality of lettuce grown in floating system using different sowing density and plant spatial arrangements*. Acta Hortic, 614, 687-692.
- Koukounaras A, Bantis F, Karatolos N, Melissas C and Vezyroglou A. 2020. *Influence of pre-harvest factors on postharvest quality of fresh-cut and baby leafy vegetables*. Agronomy, 10:1-11.

- Magnani, G., Filippi, F., Borghesi, E. and Vitale, M., 2007. *Impact of sunlight spectrum modification on yield and quality of ready-to-use lettuce and rocket salad grown on floating system*. Acta Horti, 801, 163-170.
- Resh, H.M., 2016. *The Medium, Hydroponic Food Production*, CRC Press, 125-132.
- Saini, R.K., Ko, E.Y. and Keum, Y.S., 2017. *Minimally processed ready-to-eat babyleaf vegetables: production, processing, storage, microbial safety, and nutritional potential*. Food Reviews International, 33:6, 644-663
- Tomasi, N., Pinton, R., Dalla Costa, L., Cortella, G., Terzano, R., Mimmo, T., Scampicchio, M. and Cesco, S., 2015. *New 'solutions' for floating cultivation system of ready-to-eat salad: A review*. Trends in Food Science & Technology, 46 (2), 267-276.

FARMSUSTAINABL PROJECT: ENABLING SMART LIVESTOCK FARMING TECHNOLOGIES FOR ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY USING BLOCKCHAIN

V. Anestis¹, T. Bartzanas¹, Z. Tsiropoulos², E. Anastasiou²

¹*Dept. of Natural Resources Management and Agricultural Engineering, Agricultural University of Athens, Iera Odos 75, 11855 Athens, Greece*

²*Agricultural and Environmental Solutions – AGENSO, Greece*
e-mail: vanestis@aua.gr

Abstract

The objective of this work is to provide an overview of the ERA-NET FarmSustainaBl Project. FarmSustainaBl proposes the integrated use of wireless sensor networks, data analytics and modelling that enable an efficient decision support system together with a state-of-the-art cloud solution supporting blockchain for livestock agriculture. By tracing the livestock feed and greenhouse gases' (GHG) emissions, the FarmSustainaBl project will contribute to raising consumer awareness on the importance of low-GHG emission livestock produce as well as be able to optimize the production and lower the GHG emission in animal production systems.

Keywords: GHG Emission mitigation, ICT technologies, Blockchain, Decision support

1. BACKGROUND

Farming livestock – cattle, sheep, goats, pigs and chickens – contributes around 6 billion tonnes of greenhouse gases (GHG) (carbon dioxide, methane and nitrous oxide) to the atmosphere each year. While estimates vary, this could represent up to 18% of global emissions. Studies have shown that GHG emissions from livestock could be reduced by around 2.4 billion tonnes of greenhouse gases each year through technology and management. Achieving these savings will be dependent on improvements in feeding practices (better pastures, new types of food, more grains and others), improved ways of handling manure, and improved genetics and animal management. Precision Farming (PF) uses new technologies to handle and manage farm information. The premise of PF is that this better use of information improves economic returns and reduces environmental impact. Precision Livestock Farming (PLF) technologies enable continuous, automatic monitoring of animal welfare, health, production and environmental impact in real-time. However, due to the huge amount of data monitored and gathered it is not always easy to transform them into useful practices and services for the farmers and advisors.

The objective of this work is to provide an overview of the ERA-NET FarmSustainaBl project which attempts to propose a novel ICT solution in mitigating GHG emissions from livestock systems.

2. OBJECTIVES OF THE PROJECT

The objectives of FarmSustainaBl are the following:

- Monitoring the the animal feed, the animal behaviour and characteristics and the stable environment. Specifically, IoT devices will be installed in the farm for monitoring key parameters of:
 - i. the stable environment (temperature, humidity, gas sensors (NO_x, CO_x, CH₄, NH₃, etc.),
 - ii. the animal (accelerometer, motion sensor, weight sensor, etc.) and
 - iii. the feed (flow sensor, weight sensor, humidity sensor etc.).
- A web based platform will be developed that will collect and analyse all the aforementioned data for providing recommendations to the livestock farming stakeholders (farmers, consultants etc) in order to take management decisions for reducing GHG emissions
- Blockchain Technology (BCT) will be used in the platform for developing different features such as data protection, data privacy, data sharing, traceability and smart contracts among the livestock farming stakeholders
- A knowledge base will be created in the platform through which ICT processes will be shared by farmers and will help with them to:
 - i. decide about the various inter – related parameters that are required to have optimum use of environmental resources available (i.e. reduced GHG emissions)
 - ii. share with experts, any interim or major problems that may crop up during the whole livestock farming process e.g. sowing of seed to delivering milk from cows
 - iii. market products with reduced GHG to livestock farming stakeholders

Figure 1 presents the conceptual architecture of the project.

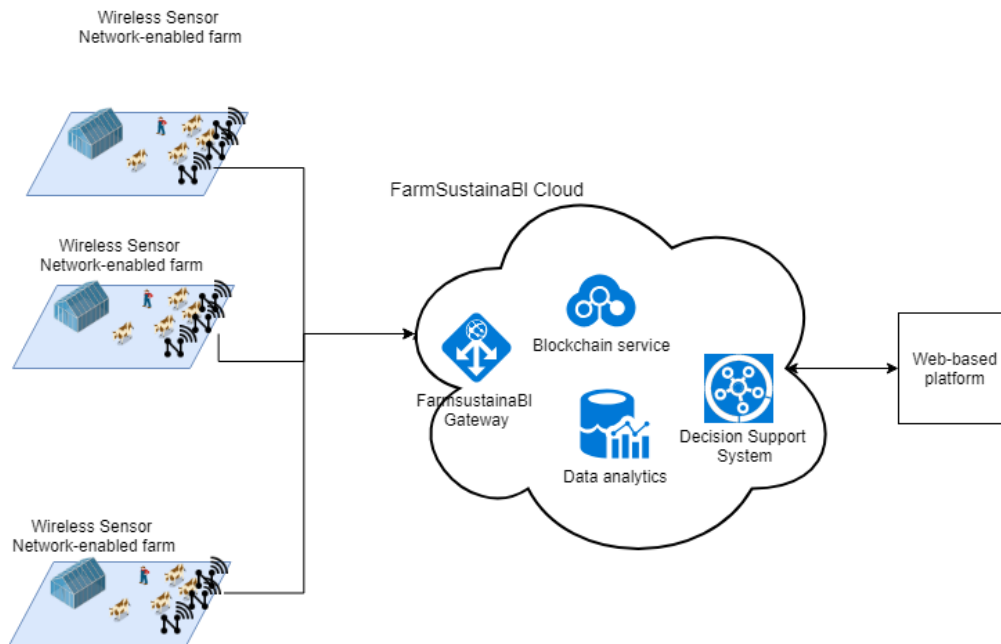


Figure 1. FarmSustainaBI conceptual architecture

3. CONSORTIUM AND WORK PLAN

The FarmSustainaBI project was funded in the framework of the 2018 Joint Call of the three ERA-NET projects on novel technologies, solutions and systems to reduce GHG emissions in animal production systems. It officially started on 01/10/2019 with a duration of 36 months. Its Consortium consists of 5 partners (Coordinator: AGENSO), 3 of which are SMEs (Fig. 2).



Figure 2. Geographical distribution of the FarmSustainaBI Project partners

FarmSustainaBI consists of 6 interconnected work packages (WPs) closely related to its general objectives.

4. WORK PACKAGES OBJECTIVES

WP1: Project Management (Leader: AGENSO, Contributing partners: all)

The objectives of WP1 are: to manage the project to meet the budget and the time schedule, to maintain direct communication with the EC and ensure reporting is undertaken,

to oversee legal, contractual, data management, IPR, ethical and diversity matters and to ensure project and exploitation risk and mitigation measures are assessed and applied.

WP2: Business and technical requirements (Leader: BEIA, Contributing partners: all)

WP2 will lay the foundation of the whole project and affect the entire development and integration stack of FarmSustainaBI (WP3 – WP6) by identifying the relevant use cases, describing the user- / market requirements and the functional specifications. This will be achieved by a strong focus on the user's and the market needs.

WP3: Data Analytics and Modeling and Simulation (Leader: SDU, Contributing partners: All)

The main goal of WP3 is to develop the methodology for data analytics and modeling and simulation that aims to improve on predefined performance measures. This goal results in the following objectives:

- Develop methods and tools that utilize data obtained through precision farming for decision support
- Provide a framework for precision farming decision support that aims to minimize greenhouse gas emissions

WP4: FarmSustainaBI platform (Leader: BEAM, Contributing partners: all)

WP4 will develop the FarmSustainaBI platform, including the Wireless Sensor Network-enabled farm, the FarmSustainaBI Cloud and the web-based platform.

WP5: Testing and piloting (Leader: BEIA, Contributing partners: all)

The WP5 purpose is to integrate and test the developed components as a set of pilots. These pilots will bring evidence in favour of our idea by showing how they can be instantiated in reality and by revealing the potential and the power of the cognitively enabled IoT stacks.

The evaluation of the demonstrators will be based on the use cases and on the underlying requirements from WP2.

WP6: Communication, Dissemination & Exploitation (Leader: AGENSO, Contributing partners: all)

The objectives of WP6 are to define a detailed communication, dissemination and exploitation strategy that will lead to the successful deployment of a set of promotional and dissemination materials and enable fast exploitation of the developed products. This WP will:

- widely disseminate the project results at regional, national and European level;
- ensure as widespread as possible the communication of the new products and services generated within the consortia;
- develop the exploitation channels and commercialization strategy for the novel products.

5. EXPECTED IMPACTS

The MELS project is expected to impact in the following directions:

- Holistic solutions for reducing greenhouse gases emission in livestock farming: Using emerging technologies such as Internet of Things and Blockchain, FarmSustainaBI will ensure that its platform will be relevant to the reduction of GHG emissions for the next 5-10 years. Moreover, the platform components will enhance state-of-the-art decision support systems for livestock farming as well as pave the way for further innovation in livestock sector.

- Redesigning animal production systems: FarmSustainaBI project will apply modeling and simulation in combination with data analytics and optimization methods to increase the

efficiency of the animal production systems. This will ensure that key performance metrics such as greenhouse gases emissions, animals' wellbeing and productivity will be optimized under economic and environmental sustainability.

- Technical options for the monitoring and mitigation of GHG emissions from animal production systems: FarmSustainaBl platform targets the use of Internet of Things technologies to monitor the animal feed, behaviour and the stable environment for deriving meaningful insights and leading to greenhouse gases emission-aware business decisions. The use of blockchain technology will enable smart contracts with fair prices for farmers that produce livestock using environmentally friendly practices.

6. ACKNOWLEDGEMENTS

This work was financially supported by the Greek Secretariat for Research and Innovation (GSRI), Grant No. T11EPA4-00057, FarmSustainaBl project (funded under the Joint Call 2018 ERA-GAS, SusAn and ICT-AGRI on 'Novel technologies, solutions and systems to reduce the greenhouse gas emissions in animal production systems').

ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF COMMERCIAL GREENHOUSE CROPS IN GREECE

V. Anestis¹, L. Andris¹, T. Bartzanas¹

¹*Dept. of Natural Resources Management and Agricultural Engineering, Agricultural University of Athens, Iera Odos 75, 11855 Athens, Greece*

e-mail: vanestis@aua.gr

Abstract

The objective of this paper is to estimate the environmental performance (using Life Cycle Assessment) of two potted Poinsettia products (EP3G: 3l PP pot, VENLO 2×3.2 2016m² glasshouse; EP0.68P: 0.68l PP pot, plastic greenhouse 1051.2m² (PE roof and PC walls)) and one potted Geranium product (PZ2.2P: 2.2l PP pot, same plastic greenhouse), all grown on a commercial nursery farm located in Attica Region, Greece. The results indicate that a less fossil fuel dependent on-farm heating system and a less GHG emitting substrate alternative would be at least required for the improvement of the environmental performance of the studied supply chains.

Keywords: Environmental Performance, Carbon Footprint, Life Cycle Assessment, Greenhouse potted floriculture, Greece

1. INTRODUCTION

The assessment of potential environmental impacts of potted, ornamental greenhouse crop products' supply chains has received low attention in the scientific literature to date (e.g. Marble et al., 2011). Due to the rapid growth of this industry, globally and due to the very intensive crop production practices applied, assessment of environmental impacts and of mitigation options using Life Cycle Assessment approaches requires further investigation. This is true especially for Greece where relevant assessments are still very rare.

The objective of this paper is to estimate the environmental performance of two potted Poinsettia (*Euphorbia Pulcherrima sp.*) and one potted Geranium (*Pelargonium Zonale sp.*) crop products, all grown in the greenhouses of a commercial nursery farm located in the Attica Region in Greece. Due to the significance of the climate change impact category in the environmental performance of a product's supply chain, this study will further focus on discussing the reasons for the differences in the carbon footprint (CF) estimates of the three products' studied supply chains.

2. MATERIALS AND METHODS

For all plants, fertigation using an open hydroponic system and peat as a substrate was applied. The first product (EP3G) was a Poinsettia plant grown in a 3l PP pot (average final weight: 2.5kg) and in a VENLO 2×3.2 glasshouse of total covered surface 2016m². The second product (EP0.68P) was a Poinsettia plant grown in a 0.68l PP pot (average final weight: 0.6kg) and in a plastic greenhouse (PE roof and PC walls) of total covered surface 1051.2m². The third product (PZ2.2P) was a Geranium plant grown in a 2.2l PP pot (average final weight: 1.8kg) and in the same plastic greenhouse. An attributional LCA was conducted using two reference flows: a) one pot of each product and b) 1kg of net plant biomass for each product. Three supply chain systems were defined and cradle-to-central flower market system boundaries (i.e. the supply chain of the product up to its transport to the Central Flower Market in Athens) were considered. Primary data was supplied by the farmer for one growing period per product (time boundary for the assessment) with the growing periods of EP3G and EP0.68P being almost con-current (year 2019) and the growing period of PZ2.2P (year 2020) following the one of EP0.68P. Emissions from: a) fuel combustion in the agricultural machinery, in the heating facility of the nursery farm and during the transport of the product from the nursery farm to the central flower market, b) from nitrogen and phosphorus synthetic fertilizer application to the pots and c) from the application of plant protection products were all estimated using the primary data collected. To complete the compilation of the LCI model, Ecoinvent v.3.4 (Ecoinvent, 2018), Agri-footprint v.4.0 (e.g. Durlinger et al., 2017) and Agribalyse v. 1.3. (Koch and Salou, 2016) secondary datasets were used and the environmental burden of the related material inputs and waste outputs to treatment was allocated to the growing periods of interest for each product. The IPCC 2013 v. 1.03 method was utilized for the estimation of the CF while the SimaPro v. 8.5.2 PhD software (Pré, 2017) for the simulation of the supply chains and obtaining LCIA results.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The CF estimates when expressed per pot of plant at the point sale were equal to 3.41, 0.90 and 0.76kg CO₂eq for the products EP3G, EP0.68P and PZ2.2P, respectively, while when expressed per kg of plant biomass at point of sale equal to 2.98, 3.16 and 0.97kg CO₂eq for the products EP3G, EP0.68P and PZ2.2P, respectively. CO₂ emission due to the combustion of heavy fuel oil for greenhouse heating in the nursery farm was the major contributor to the

total CF estimate for both EP3G and EP0.68P products while fossil CO₂ emission from peat production and its transport to the nursery farm the major contributor to the total CF estimate for the PZ2.2P product. The results indicate that the use of '1 pot at the point of sale' as a reference flow would be inappropriate for a comparison of the CF estimates between the three different products of interest and that the choice of reference flow could be misleading regarding the relative CF performance of the EP0.68P product. They further indicate that the CF per kg of plant biomass at the point of sale for the Poinsettia products is potentially larger than the CF for the Geranium product mostly due to the use of heating by burning heavy fuel oil in the case of the former. The potentially larger CF estimate for EP0.68P in comparison to the EP3G is connected to its higher GHG emissions per kg of poinsettia biomass both from the nursery farm and the inputs for greenhouse climate control (mostly heavy fuel oil production).

4. CONCLUSIONS

A less fossil fuel dependent heating system on-farm and a less GHG emitting substrate alternative would be at least required for the improvement of the environmental performance of the three products' supply chains of interest.

5. REFERENCES

- Durlinger, B., Koukouma, E., Broekema, R., van Paasen, M., Scholten, J., 2017. Agri-footprint 4.0 - Part 2: Description of data. Blonk Consultants, Gouda, The Netherlands
- Ecoinvent, 2018. Ecoinvent version 3.4 [WWW Document]. URL <https://v34.ecoquery.ecoinvent.org/Home/Index>
- Koch, P., Salou, T., 2016. AGRIBALYSE®: METHODOLOGY - Version 1.3. November 2016. Angers, France
- Marble, S., Prior, S. A., Runion, G., Torbert, H., Gilliam, C. H., & Fain, G. B., 2011. The Importance of Determining Carbon Sequestration and Greenhouse Gas Mitigation Potential in Ornamental Horticulture, HortScience horts, 46(2), 240-244.
- Pré, 2017. Simapro [WWW Document]. URL <https://simapro.com>



**12^ο Πανελλήνιο Συνέδριο
Γεωργικής Μηχανικής**

ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ ΚΑΙ ΝΕΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ



OPTIMA – ΠΡΟΟΔΟΣ ΣΤΗ ΒΕΛΤΙΩΜΕΝΗ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΓΙΑ ΑΚΡΙΒΗ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟ ΦΥΤΙΚΩΝ ΑΣΘΕΝΕΙΩΝ ΣΕ ΜΟΝΙΜΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ ΚΑΙ ΛΑΧΑΝΙΚΑ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΑΓΡΟΥ

A. Μπαλαφούτης¹, M. Μωραΐτης¹, N. Μυλωνάς², Σ. Φουντάς², Π. Σταματελόπουλος³, Z. Τσιρόπουλος³

¹Ινστιτούτο Βιο-οικονομίας & Αγρο-τεχνολογίας, Δημάρχου Γεωργιάδου 118, 38333, Βόλος

²Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ιερά Οδός 75, 11855, Αθήνα

³AGENSO, Μάρκου Μπότσαρη 47, 11742, Αθήνα

email: a.balafoutis@certh.gr

Περίληψη

Αυτή η εργασία αναπτύσσει ένα φιλικό προς το περιβάλλον πλαίσιο ολοκληρωμένης διαχείρισης ασθενειών για αμπελώνες, μηλεώνες και καλλιέργειες καρότου, παρέχοντας μια ολιστική προσέγγιση που περιλαμβάνει τις παρακάτω κρίσιμες πτυχές για επιτυχή διαχείριση ασθενειών: α) χρήση νέων βιολογικών φυτοπροστατευτικών προϊόντων, β) μοντέλα πρόγνωσης ασθενειών, γ) φασματικά συστήματα έγκαιρης ανίχνευσης ασθενειών και δ) τεχνικές ψεκασμού ακριβείας. Θα συμβάλει στη μείωση της εξάρτησης της ευρωπαϊκής γεωργίας από χημικά φυτοπροστατευτικά προϊόντα με λιγότερα κατάλοιπα και μειωμένες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία.

Λέξεις κλειδιά: Ολοκληρωμένη διαχείριση, βιολογικά φυτοπροστατευτικά προϊόντα, μοντέλα πρόγνωσης ασθενειών, φασματικής ανίχνευση νόσου, ψεκασμός ακριβείας

OPTIMA – PROGRESS IN OPTIMISED PEST INTEGRATED MANAGEMENT TO PRECISELY DETECT AND CONTROL PLANT DISEASES IN PERENNIAL CROPS AND OPEN-FIELD VEGETABLES

A. Balafoutis¹, M. Moraitis¹, N. Mylonas², S. Fountas², P. Stamatelopoulos³, Z. Tsiropoulos³

¹Institute of Bio-economy & Agro-technology, Dimarchou Georgiadou 118, 38333, Volos

²Agricultural University of Athens, Iera Odos 75, 11855, Athens

³AGENSO, Markou Mpotsari 47, 11742, Athens

email: a.balafoutis@certh.gr

Abstract

This work develops an environmentally friendly Integrated Pest Management (IPM) framework for vineyards, apple orchards and carrots by providing a holistic integrated approach which includes all critical aspects related to integrated disease management, such as i) use of novel biological Plant Protection Products, ii) disease prediction models, iii) spectral early disease detection systems and iv) precision spraying techniques. It will contribute significantly to the reduction of the European agriculture reliance on chemical Plant Protection Products resulting in reduced use of agrochemicals, lower residues and reduced impacts on human health.

Keywords: IPM, biological plant protection products, disease prediction models, spectral disease detection, precision spraying

1. INTRODUCTION

As global population approaches 9 billion by 2050 (UN, 2015), the UN Food and Agriculture Organization (FAO) expects that demand for agricultural outputs will increase by 60% compared with the annual average from 2005 through 2007, representing an increase of approximately 1% per year. Also, the total crop yield reduction caused by all crop pest species (estimated to be around 67,000 —including plant pathogens, weeds, invertebrates and some vertebrate species) reaches 40% (Oerke et al., 1994). Therefore, global food security is undermined by pests alongside other constraints, such as inclement weather, poor soils and farmers' limited access to technical knowledge (Chandler et al., 2011). Ways to make crop protection more sustainable are required and Integrated Pest Management (IPM) is promoted as the best way forward, shown also by its central position in the 2009/128/EC Sustainable Use Directive on Plant Protection Products (PPPs) (EU, 2009).

IPM could make a difference in this effort, as it emphasizes on the growth of a healthy crop with the least possible disruption to agro-ecosystems, and encourages natural mechanisms for pest management (Lamichhane et al., 2016). IPM is a systems approach that combines different crop protection practices and subsequent integration of appropriate measures that discourage the development of populations of harmful organisms and keep the use of plant protection products and other forms of intervention to levels that are economically and ecologically justified and reduce or minimize risks to human health and the environment (Flint and van den Bosch, 1981).

Synthetic PPPs have been common practice in industrialised countries for pest management since the Green Revolution and together with optimised crop varieties, intensive mechanization, irrigation and crop nutrition through rigorous fertilization, they increased agricultural yields significantly (70% in Europe and 100% in the USA (Lamichhane et al., 2016)). Ideally, PPPs are used to exterminate the targeted pests. Unfortunately, the application of PPPs worldwide is being executed with limited consideration to the dosage rate, optimum number of applications, timing and frequency resulting in rampant use of these agrochemicals, under the axiom: “if little is good, much more will be better” (Wasim Aktar et al., 2009), having as result the contamination of natural resources by PPPs, including soil, water, turf and all vegetation types. On the contrary, Bio-PPPs are a particular group of crop protection tools that can substitute or support synthetic PPPs and are ideal for IPM schemes. Bio-PPPs are defined as a mass-produced agent manufactured from a living microorganism or a natural product and sold for the control of plant pests (EU, 2009). That said, Bio-PPPs show attractive properties, such as their selectivity, their little or no toxic residue production, and the significantly lower development costs in comparison to synthetic PPPs (Hajek, 2004).

PPPs are mainly applied, especially in conventional agriculture, using hydraulic and hydro-pneumatic sprayers. The principle of operation is to convert a PPP formulation that in most cases is diluted in water (or another liquid carrier) into droplets that will be sprayed upon the canopy of the selected crop to spread the chemical compound. Unfortunately, dose-transfer to the biological target (i.e. the pest) through PPP spraying has high inefficiencies and significant amounts of the active ingredient end up elsewhere in the environment (Graham-Bryce, 1977) contaminating natural resources (water, soil, air). There are numerous routes of environmental contamination from PPPs. Contamination can be either point source which is mainly related to the handling of PPPs on a farm during cleaning, filling, remnant liquid management, transport and storage (TOPPS, 2008a) or diffuse source which is mainly related to run-off from field after application, discharge from drainage and off

target deposition of spray due to wind (spray drift) (TOPPS, 2008b). Therefore, diffuse sources can be mainly reduced through optimization of spraying technology. Novel spraying equipment with precise application spraying capabilities uses only the approved and advised amount of PPPs reducing therewith both wastes – such as remnants in the sprayer – and risks, yet ensuring optimised biological efficacy with the greatest input cost effectiveness.

The overall objective of OPTIMA is to develop an environmentally friendly IPM framework for use-cases in orchards, vineyards and open-field vegetables by providing a holistic approach which includes the major elements related to integrated disease management: (i) combined use of bio-PPPs and synthetic PPPs, (ii) DSS for disease prediction, (iii) spectral disease detection systems and (iv) precision spraying techniques.

OPTIMA advanced IPM framework consists of 4 main pillars (Prediction, Detection, Selection and Application), and focuses on plant diseases that annually damage high-value crops and demand high amounts of fungicides to be applied in numerous spraying applications. OPTIMA works on apple scab, grape downy mildew and Alternaria leaf blight of carrot, based on the importance of these diseases and crops for European agriculture.

2. METHODOLOGY

To achieve all objectives of OPTIMA and deliver a fully functional IPM system, the following actions are taken:

1. End-users' requirements are being assessed following the co-creation approach, while participating in the design and evaluation of the developed products, tools and strategies throughout the project life-time. End-users are also evaluating the features of the demonstrated IPM system in the pilot areas.
2. A Decision Support System (DSS) is designed and developed for the prediction of grape downy mildew, apple scab and Alternaria leaf blight of carrots based on agro-climatic, pathogen biological cycle algorithms and users' testimonies and a portable advanced Early Detection System (EDS) is also developed for in-field localization and monitoring of the selected diseases using state of the art machine learning;
3. Novel sustainable IPM strategies are also being developed, to be applied as preventive or therapeutic control methods for the selected plant diseases both at experimental and commercial scale. Several biological and chemical intervention strategies for Alternaria leaf blight in carrots, grape downy mildew in vineyards and apple scab in apple orchards are being tested experimentally to expand the range of available tools and the best performing options will be used for the optimum application strategy to be pilot testing.
4. Technological advancement are being brought together to identify and develop optimal spray configuration and parameters for the different crop-disease combinations and reduce spray drift. These findings together with different variable rate application solutions are used to develop three smart sprayers for each disease/crop combination.
5. All above mentioned components of the IPM system are being evaluated separately and as a whole. The DSS and EDS are tested in three selected pilot areas, while the efficacy of selected synthetic and bio-PPPs is evaluated as well. The smart sprayers for each crop are tested to quantify the improvements on deposition, coverage and drift reduction in comparison to conventional sprayers, at commercial fields. Finally, all IPM system components as a whole are tested in-field and compared with conventional crop protection methods.
6. Finally, an extended Life-Cycle Assessment (LCA) is performed combined with Human and Environmental Risk Assessment (HERA) using a Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) to

identify and quantify the human health, environmental and socio-economic impacts and risks of treatments of the selected crops, comparing the conventional with the proposed IPM crop protection system.

3. LATEST PROGRESS

In the context of Community Building, focus group meetings were conducted successfully in the three countries (Spain, Italy, France), while farmers were able to see and evaluate the latest developments of the IPM system operating in the field. Attendants were very interested and evaluated very positively the OPTIMA IPM components (Figure 1). The meeting of the French case will take place in early September. As a next step, end-users will follow the pilot trials and assess the quality of the whole, deployed IPM system.



Figure 1. OPTIMA 3rd Focus Group in Spain

Regarding advanced methods for prediction and early detection of plant diseases, the OPTIMA DSS (Figure 2a) uses weather forecast data and growth models for Downy mildew in vineyards, Apple scab in apple orchards and Alternaria leaf blight in carrots, in order to predict and display the best timeframes for spraying to prevent pest outbreaks. A weather station has been installed in all 3 pilot sites in order to compare the performance of the OPTIMA DSS with local weather data and data acquired by weather services (Figure 2b).

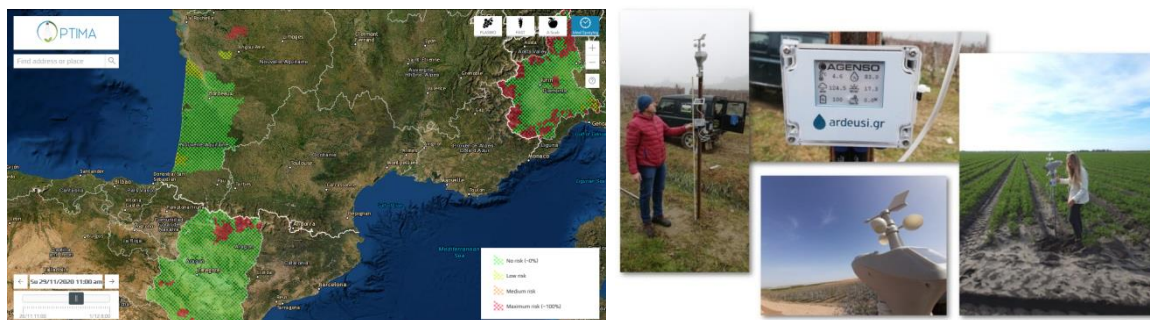


Figure 2. (a) Decision Support System Interface; (b) Weather stations in Italy, Spain and France

As for the EDS, an RGB imaging setup together with deep learning algorithms to identify OPTIMA crop/disease combinations was developed. It was tested in the Netherlands with images from apple leaves and sent to Greece to be tested by capturing vineyards and carrot plants images under field conditions. RGB based smart cameras were developed and sent to Spain and Italy for the pilot testing phase (Figure 3). Soon a 3rd system will be sent to France as well. The 3 smart cameras systems are being tested in field conditions mainly as for their ability to detect diseases with high precision. Detections and localization information

through GPS are automatically sent to the DSS where prescription maps are developed for the smart sprayers.



Figure 3. Details from the EDS

A series of tests regarding combined synthetic and biological PPPs application and assessment of host and PPP resistance mechanisms has been conducted with more than 12 bio-PPP per selected crop. The results showed that:

- Alternaria leaf blight in carrots trials in Greece and France under controlled conditions (4 trials) highlighted several efficient biological products and pathogen resistance inducers. Additional field experiments in France and Greece led to efficient IPM strategies to control Alternaria leaf blight that are currently being tested in large scale field experiments.
- Apple scab trials in Italy were carried out under controlled conditions (potted plants) and highlighted several products controlling the disease, however, their efficiencies must be also confirmed in field conditions and new trials are under progress.
- Grape downy mildew trials in Italy and in Greece under controlled conditions showed that some of the tested biological control agents, resistance inducers and low-risk substances were effective in reducing the disease. As the active compounds of the tested bio-PPP are very different, dissimilar mechanisms of action are expected. Current experimentation in vineyards involve the combination of different efficient PPPs in IPM schemes to evaluate the level of protection against grape downy mildew (Figure 4).



Figure 4. Details from the experiments carried out

As for the developed and optimized innovative spraying technologies, the individual smart components of the OPTIMA IPM system have already by now been developed and tested. The communication between the OPTIMA controller and the various subcomponents has been established and the physical integration of the smart components in the prototype

smart sprayers has been finalized for the carrot, vineyard & orchard sprayer (Figure 5). Unfortunately, COVID-19 related travel restrictions complicated the simulations and the functionality testing, causing a delay in assembly and resulting in some field spray applications being missed in the orchard and vineyard case field trials. Next, the smart components and communication protocols will be fine-tuned where needed and additional deposition and drift trials using a Pulse Width Modulation system will be performed.



Figure 5. The smart sprayers (for vineyards, apple orchards and open field carrots respectively)

Besides sprayer developments, viability trials with bio-PPPs containing bacteria were performed. Temperatures of 40°C or higher were found to significantly decrease the viability or even cause total inactivation, whereas no effect of mechanical stress was found. Therefore, very little to no effect of the spray application on bio-PPP viability is expected in real field conditions. Droplet characterization measurements with bio-PPPs, to determine the effect of these products on the droplet size and velocity distribution, are ongoing.

Pilot testing of developed technologies is currently ongoing as the field trials to assess the biological efficacy of treatments have already begun for the apple case in a compilation of 3 farms with a total size of 15.27ha in Epila, Zaragoza (Spain) and for the vineyard case in a 5.9ha farm with Barbera, Moscato and Chardonnay varieties in Canelli (Asti, Italy) (Figure 6). The trials for the carrot case in France are yet to begin; the trial is set up in the middle of a 30ha plot of seasonal carrots in the commune of Marcheprime, in Landes de Gascogne.

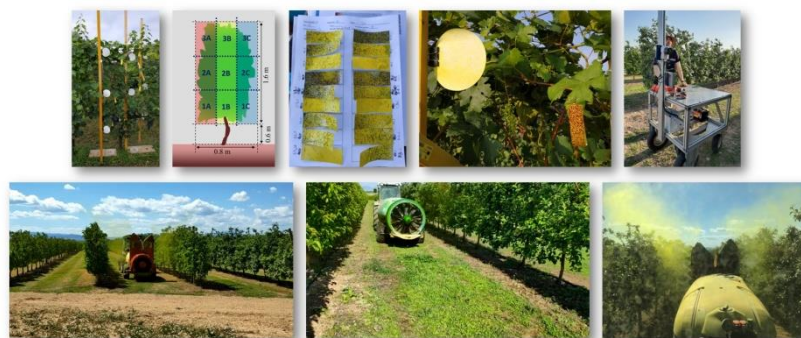


Figure 6. Snapshots from the OPTIMA field trials.

In short, the references that are evaluated are: (0) conventional sprayer, representative practice of the zone, (1) Adjusted conventional sprayer according to Best Management Practices, (2) Smart sprayer, based on information from the DSS and the EDS, (3) Adjusted conventional sprayer, using combination of synthetic and selected bio-PPPs, (4) Smart

sprayer, developed in OPTIMA for the specific crop and (5) Smart sprayer, based on DSS and EDS information, using synthetic and bio-PPPs (full OPTIMA IPM system).

The developed smart sprayers will also be evaluated in terms of deposition, coverage, drift and ground losses compared to the conventional ones (normal practice and adjusted one), in order to quantify the application improvement.

Human Health, Environmental and Socioeconomic Life-Cycle Analysis & Risk Assessment carries out a multilateral analysis. An extended life-cycle assessment (LCA) of the three OPTIMA crops is currently being implemented based on data collected from the field trials for three system boundaries: i) full crop system, ii) the IPM system and iii) a crop-disease focus. Figure 7a shows a diagram with the PPP application and distribution per environmental compartment, which is part of the approach developed to calculate the impacts, which is sensitive to different crops, PPPs, plant growth stages and sprayer configurations.

The work to assess the potential risks of PPP application on soil organisms, beneficial arthropods and pollinators continues, focusing on the different OPTIMA references in the vineyards field trials (Italy). Refined risk values, including crop interception parameters according to the different sprayers used and the BBCH score of the crop, and different refinement exposure coefficients for each organism groups, were derived based on planned application dosages. Different PPPs lab testing to fill the data gaps for honeybees and in-soil organisms continues, focusing on products used in vineyards and carrots (Figure 7b).

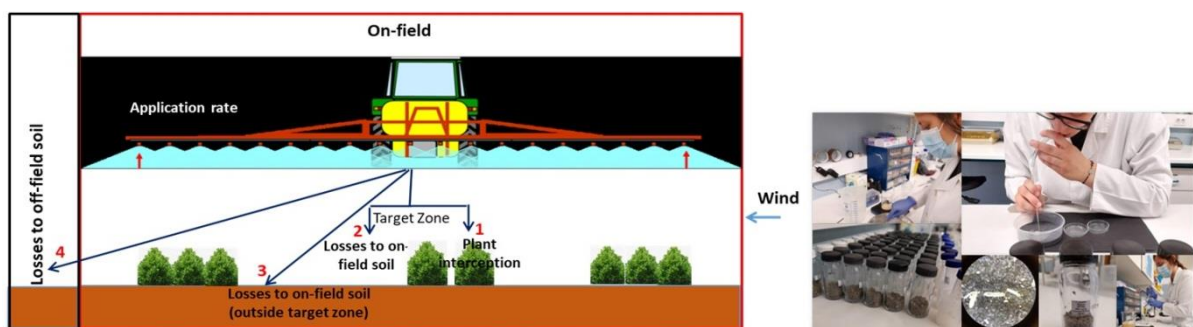


Figure 7. (a) Framework of the environmental impact of spraying in carrots (b) Tests of impact on different organism groups

Human Health Risks regarding the use of PPPs under conventional practices for three cultures have been assessed. Long-term exposure Human Risks have been estimated in accordance to ASTM E2081: Standard Guide for RBCA (Risk-Based Corrective Action) standard approach and site-specific models, using toxicological data obtained from regulatory documents and scientific publications, while personal exposure data has been provided by OPTIMA partners. The planning field data for the Italian vineyard has been used to a sensitivity assessment of risks. Preliminary results indicate that (i) the substitution of some synthetic PPPs by bio-PPPs, (ii) the use of the DSS and (iii) the combination of the DSS and the use of bio-PPPs may lead to reductions in the Hazard Index and in the Total Carcinogenic Index. OPTIMA works on the definition of a strategy to include fate models addressing wind-drift transport of PPPs on the moment of field application (Figure 8).

The team focuses on building a coherent set of evaluation criteria for a Multi-Criteria Decision Analysis of alternative OPTIMA systems. Based on the literature, the team's expertise, and inputs from focus groups in France, Italy and Spain, potential criteria were listed, trimmed (dropping less relevant criteria), and organized as a hierarchy.

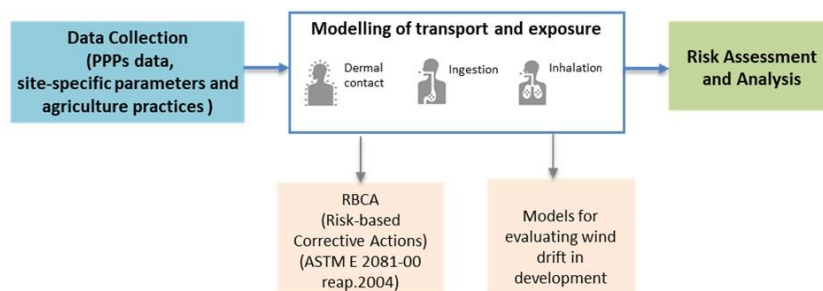


Figure 8. Human health impact assessment

4. ACKNOWLEDGEMENTS

This Project has received funding from the European Union's Horizon 2020 Research and Innovation Programme under Grant Agreement No. 773718.

5. REFERENCES

- Chandler, D., Bailey A.S., Tatchell G.M., Davidson G., Greaves J., Grant W.P. (2011). The development, regulation and use of biopesticides for integrated pest management, *Phil. Trans. R. Soc. B*, 366 (1573):1987-1998. doi: 10.1098/rstb.2010.0390
- EU. (2009) <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:309:0071:0086:en:PDF>
- Flint, M.L. & van den Bosch, R. (1981). *Introduction to integrated pest management*. New York: Plenum Press. doi: 10.1017/S0014479700013715
- Graham-Bryce, I.J. (1977) *Crop Protection: A Consideration of the Effectiveness and Disadvantages of Current Methods and of the Scope for Improvement*, *Philosophical Transactions Royal Society London, Series B, Biological Sciences*, 281 (980): 163-179. doi: 10.1098/rstb.1977.0131
- Hajek, A. (2004). *Natural enemies: an introduction to biological control*. Cornell University, New York Cambridge University Press, doi: 10.1017/CBO9780511811838
- Lamichhane J.R., Dachbrodt-Saaydeh S., Kudsk P., Messéan A. (2016). *Toward a Reduced Reliance on Conventional Pesticides in European Agriculture*, *Plant Disease*, 100 (1), 10-24. doi: 10.1094/PDIS-05-15-0574-FE
- Oerke E.C., Dehne H-W., Schonbeck F., Weber A. (1994). *Crop production and crop protection: estimated losses in major food and cash crops*. Elsevier doi: 10.1016/C2009-0-00683-7
- TOPPS. (2008a) http://www.topps-life.org/uploads/8/0/0/3/8003583/topps_best_management_practices_findoc_070613.pdf
- TOPPS (2008b) http://www.topps-life.org/uploads/8/0/0/3/8003583/ansicht_drift_book_english.pdf
- UN. (2015) <http://www.un.org/en/development/desa/news/population/2015-report.html>, accessed on April 25th, 2019
- Wasim Aktar, Dwaipayan Sengupta, Ashim Chowdhury (2009). *Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards*, *Interdiscip Toxicol*. 2(1): 1–12. doi: 10.2478/v10102-009-0001-7

INNOSETA - ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΚΑΙΝΟΤΟΜΩΝ ΠΡΑΚΤΙΚΩΝ ΓΙΑ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟ ΨΕΚΑΣΜΟΥ, ΚΑΤΑΡΤΙΣΗ ΚΑΙ ΠΑΡΟΧΗ ΣΥΜΒΟΥΛΩΝ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΓΕΩΡΓΙΑ ΜΕΣΩ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΓΝΩΣΗΣ ΚΑΙ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑΣ

Μ. Μωραΐτης¹, Κ. Βαϊόπουλος¹, Α. Μπαλαφούτης¹, Μ. Κουτσιαράς², Σ. Φουντάς², Β. Κανάκη², Α. Κουτσούρης², Μ. Καμινιάρης³, Ζ. Τσιρόπουλος³

¹Ινστιτούτο Βιο-οικονομίας & Αγρο-τεχνολογίας, Δημάρχου Γεωργιάδου 118, 38333, Βόλος

²Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ιερά Οδός 75, 11855, Αθήνα

³AGENSO, Μάρκου Μπότσαρη 47, 11742, Αθήνα

k.vaiopoulos@certh.gr

Περίληψη

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η δημιουργία ενός θεματικού δικτύου για τον εξοπλισμό ψεκασμού, την εκπαίδευση και την παροχή συμβουλών, σκοπεύοντας στην αποτελεσματική συνεργασία ερευνητών, βιομηχανίας, εφαρμογών και γεωργικής κοινότητας. Αυτό το δίκτυο συνδέει άμεσα εφαρμοστέες ερευνητικές και εμπορικές λύσεις με τις ανάγκες σε επίπεδο βάσης αλλά και καινοτόμες ιδέες, συμβάλλοντας έτσι στο κλείσιμο του χάσματος έρευνας και καινοτομίας σε αυτόν τον τομέα. Το δίκτυο αφορά τις ανάγκες ψεκασμού στα δημητριακά, τα λαχανικά, τους οπωρώνες, τους αμπελώνες και τα θερμοκήπια και οργανώνεται σε επτά εθνικούς κόμβους καινοτομίας που συνδέονται με διεθνή διαδραστικά εργαστήρια και ένα ψηφιακό εργαλείο εν ονόματι πλατφόρμα SETA.

Λέξεις κλειδιά: **Ψεκαστικός Εξοπλισμός, Εκπαίδευση, Συμβουλευτική**

INNOSETA - ACCELERATING INNOVATIVE PRACTICES FOR SPRAYING EQUIPMENT, TRAINING AND ADVISING IN EUROPEAN AGRICULTURE THROUGH AKIS MOBILIZATION

Μ. Moraitis¹, Κ. Vaiopoulos¹, Α. Balafoutis¹, Μ. Koutsiaras², Σ. Fountas², Β. Kanaki², Α. Koutsouris², Μ. Kaminiaris³, Ζ. Tsiropoulos³

¹Institute of Bio-economy & Agro-technology, Dimarchou Georgiadou 118, 38333, Volos

²Agricultural University of Athens, Iera Odos 75, 11855, Athens

³AGENSO, Markou Mpotsari 47, 11742, Athens

k.vaiopoulos@certh.gr

Abstract

The aim of this work is to set-up a Thematic Network on Spraying Equipment, Training and Advising designed for the effective exchange between researchers, industry, extension services and farming community. This network links directly applicable research and commercial solutions and grassroots level needs and innovative ideas thoroughly captured, thus contributing to close the research and innovation divide in this area. The proposed network is organized to cover spraying application needs in cereals, vegetables, orchards, vineyards and greenhouses organized in seven national innovation hubs linked with international interactive workshops and an ICT tool named SETA Platform.

Keywords: **Spraying Equipment, Training, Advising**

1. INTRODUCTION

Global agriculture relies on synthetic Plant Protection Products (PPP) for pest management including insecticides, fungicides, herbicides, rodenticides, molluscicides, nematocides, plant growth regulators and others to support sustainable yield productivity. Farmers and crop advisors/extension service personnel follow conventional crop protection strategies that were established after the Green Revolution during 1950-1960 maintaining, in general, significant use of PPPs with potential significant impact on the environment and human health [1]. In the meantime, PPP industry and research entities have been developing more sustainable novel PPPs either biological or chemical that show high efficacy in lab environment, but their efficacy rate is reduced significantly, when applied in field conditions with the current spraying practices. Even more, spraying technologies have experimented in the last years an important improvement in terms of efficiency and safety, including in their development the latest advances in electronics, data management and safety aspects. New sprayers have experienced a revolutionary improvement allowing a better and safer use of PPPs.

New PPP developments and the latest advancements in intelligent sprayers have been complemented with a large list of Best Management Practices (BMP), alternative methods for dose/volume selection adapted to canopy structure, safe recommendations to reduce drift, resident exposure and point sources' contamination, development of electronic and web based Decision Support Systems (DSS) to improve the phase-use of PPPs [2]. But unfortunately, there is still an important gap between research developments and the actual use of the available tools and practices by the farmers, especially for this large number of small and medium producers with limited access to the information [3]. If this gap closes, then European agriculture could become more sustainable with minimum environmental, socioeconomic and human health impact. Since new legislation has applied efforts to the use-phase of PPPs, it is now time to integrate all the disposable tools and practices that previous research have demonstrated to be interesting. However, there is still another key element that is absolutely needed to achieve success in the whole process: an adequate training of all the professionals involved in the process, which represents the key factor for the whole integration. Therefore, only when agricultural stakeholders gain knowledge of existing and future technological advancements in spraying technology and adequate training is achieved in all of the European territory will the system be able to implement the policies in the legal framework and to produce food in a better and more sustainable way.

The main objective of INNOSETA is to set up an Innovative self-sustainable Thematic Network on Spraying Equipment, Training and Advising (SETA) to contribute in closing the gap between the available novel high-end crop protection solutions either commercial or from applicable research results with the everyday European agricultural practices by promoting effective exchange of novel ideas and information between research, industry, extension and the farming community so that existing research and commercial solutions can be widely communicated, while capturing grassroots level needs and innovative ideas from the farming community.

2. METHODOLOGY

In order to achieve the objective of INNOSETA, the project has a series of tasks that are working in parallel.

1. Creation of an inventory of directly applicable spraying equipment and technologies, training materials and advisory tools available from the large stock of research results and commercial applications

INNOSETA creates an inventory that includes research results and commercial applications in the three sub-categories that SETA embrace, namely (i) Spraying Machinery and their components, (ii) electronic technologies (software and hardware) applied in sprayers and (iii) best management practices and training developments adapted to particular crop and regional conditions. The work is based on systematic reviewing of scientific articles, European and national research and applied projects and existing market solutions in the above mentioned areas. More specifically, spraying machinery and electronic technologies are reviewed separately by spanning from solutions that are still in the experimental/piloting stage and that could benefit from users' feedback, all the way to solutions that have been adopted in practice but are not widespread. Regarding application techniques, the reviewing covers all aspects of training/advising best practices during the application of PPPs by the end-users that have been provided in several projects from research and industrial community that are currently spread in different means of dissemination (books, brochures, websites, smartphone apps, etc.) The SETA solutions are evaluated on the basis of criteria such as potential to reduce the use of PPPs, mitigate spray drift, increase yield and/or quality, decrease production costs and reduce environmental and human health impact.

2. Assessment of end-user needs and interests, and identification of factors influencing adoption taking into account regional specificities

INNOSETA assesses end-users needs and interests and identifies and characterises the factors that influence farmers' generation shift, adoption and diffusion of SETA. The project also identifies best practices in the use of SETA and explores and assesses the processes at play and the barriers for their adoption and mainstreaming in the different regional/national contexts. Emphasis is placed on social factors such as the needs, beliefs and attitudes of farmers and other actors. The outcomes and methodologies of PRO-AKIS [4], AGRISPIN [5] and Smart-AKIS [6] are used to support the appraisal of innovation processes specific to SETA and the role of extension and advisory services in adoption and generation of innovations.

3. Generation of interactive multi-actor, innovation-based collaborations among different stakeholders

INNOSETA facilitates the development of interactive innovation processes in the national/regional agricultural value chains, by bringing together farmers, advisors, researchers, industrial partners and other actors in interactive innovation workshops. A conceptual framework is implemented, by which the SETA inventoried will be adapted to the regional/national contexts for an effective and targeted dissemination. Grassroots-level ideas are being captured and channelled using the same approach, resulting in concrete innovation-based projects developed in response to practical needs of end-users, which will be more quickly put into practice thanks to the empowerment of the actors and the co-ownership generated during the collaborations. This process is widened to the EU level for generating cross-border collaborations in the area of SETA.

4. Set up of an ICT tool for the on-line assessment of the Spraying Equipment, Training and Advising and the crowdsourcing of grassroots-level ideas and needs

INNOSETA implements an online and interactive approach to communication, interaction and knowledge sharing and exchange through the use of a specifically designed ICT tool, the "SETA Platform", which deploys the collected information and knowledge on SETA in the

form of easily accessible end-user material following the EIP-Service Point format .The SETA Platform is the tool for online assessment of the inventoried SETA by stakeholders across Europe and allows for the crowdsourcing of grassroots-level ideas and needs for research. Upon project finalisation, the SETA Platform will be capable to be integrated into the EIP-Service Point ensuring the long term accessibility of material produced.

5. Liaise with EIP-AGRI and its structures:

INNOSETA has established direct communication with the European Innovation Partnership for Agricultural Productivity and Sustainability (EIP-AGRI) and its widely developed Operational Groups (OG) across Europe in order to maximize stakeholder mobilization and enhance the impact of the project activities and outcomes for closing the research and innovation divide in the SETA area of interest. INNOSETA serves many current and future OGs as it lies across the whole agricultural sector covering all crop production systems (arable, orchards, vineyards, vegetables). It is also linked with OGs related to crop protection and promote the fact that efficient spraying is a key to successful PPP application in the field. INNOSETA also establishes links with the other EIP-AGRI Thematic Networks (TN) in the EU member states. A large number of practice abstracts will be developed following the EIP-AGRI format in an easy-to-understand language by the farmers.

3. RESULTS

The project has been active for the last 39 months (total duration of 42 months) and most of its activities have been executed successfully.

Regarding the inventory of research results and industry solutions of SETA, there was a methodology selection and then a survey was constructed to collect all possible SETA solutions from the partners and external providers. There were three rounds of running the survey and the accumulative results in different categories of SETA can be seen in Figure 1 and the process is under development until the end of the project (October 2021).

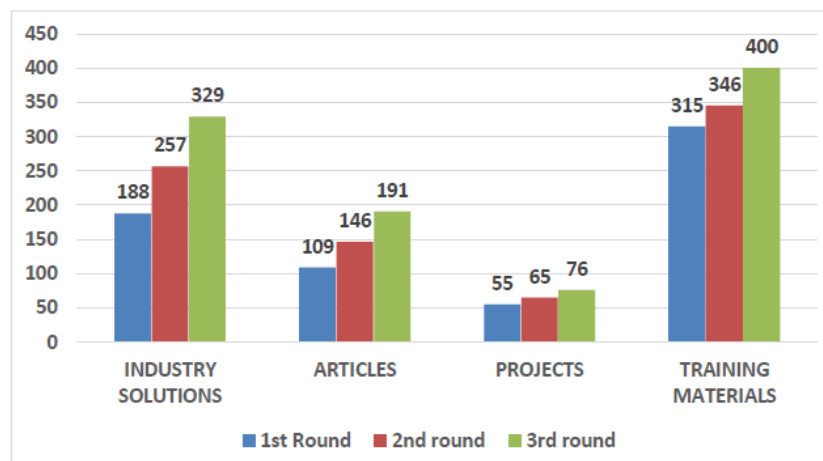


Figure 1. Number of SETA in the INNOSETA inventory per round

As for the assessment of farmers' needs and identification of factors affecting innovation, adoption, and diffusion of spraying best practices, a survey to farmers and SETA experts in the 7 countries involved was conducted and very interesting results were produced.

The education level of farmers was different among the 7 countries, but in general it was based on technical background. The farms were mainly family-owned and the income of the owner was mainly from agricultural activities.

Spraying equipment is mainly owned by the farmer and the main criteria to select them is spray efficacy, ease to use and operator's safety. The knowledge of operating their equipment is from their own experience and from the manufacturers or dealers. As for their knowledge on innovative spraying equipment, the majority of the interviewed arable farmers have a high familiarity (74-95%) with almost all presented technologies, with only autonomous sprayers being less known (58%). 3D crop farmers show a bit less knowledge in innovative technologies, especially for target detection systems (57%) and automatic variable rate sprayers (50%). Greenhouse farmers do not show low awareness for any of the presented innovations (always more than 66%).

From the innovations that farmers know best, arable and 3D-crop farmers seem to give high importance to the aspects of reducing pollution and usefulness for farming, while the greenhouse farmers give significance to the effectiveness increase and the work comfort.

The farmers that have already adopted one of the shown technologies are users of drift reducing nozzles in arable and 3D-crops and of lance with pressure control device in greenhouses. The innovation adopters of this survey are informed mainly from the manufacturers/dealers and then from their own experience. They like the adopted technologies mainly for their ease to use, reliability and economic performance. Arable adopters are willing to purchase other innovation in the future with GPS/section control being the most popular, while 3D-crop growers would purchase first a target detection system and greenhouse farmers automated or self-propelled boom sprayers for internal use.

As for the non-adopter farmers, they would mainly trust an innovation that is demonstrated to them in action and they would appreciate if they get a subsidy support to proceed with the purchase with the required training, but not sharing the cost with another farmer. They also state that they do not move to such innovations due to their small farm size and the increased cost of initial purchase. In the same direction, when asked regarding the reasons to invest in an innovative spraying technology, they declare that they would do it mainly for economic reasons or because the existing machinery is too old or damaged.

It is very positive that among all interviewed farmers, 90% knows what spray drift is and what the buffer zones are (86%). The main motivation they find to apply drift reduction techniques is the increased effectiveness of the PPP and the respective cost reduction and then they are environmentally driven. The majority of the farmers (63%) declare that they adjust their machinery before spraying, but even though the rest are periodically do so. Nozzles are in general replaced within the season or the previous one (63%). 93% of the farmer read the labels of the PPP container at least the first time they use it, but only 51% of them apply the recommended dose every time and 67% of them respect the time lag between applications. Their main source of information regarding PPPs is the dealer and the farmer's experience, with the advisors following.

Farmers in general visit agricultural fairs at least once a year (85%), where they have their most recent information of innovations available, followed by the internet and professional press. Farmers seek equipment that is primarily reliable in the long run, easy to use and safe, but they are also interested in good support, compatibility and reduced environmental impact.

Technology is important for farmers, as they believe highly that it can improve farming (97%), but can also assist on complying with the EU regulations (88%). They experiment with new technology in a high extend (82%) and they select them mainly based on their usability and user-friendliness.

The project also produced five videos presenting the innovation timelines of specific spraying technologies that were envisioned, designed and developed in INNOSETA hubs, as shown in the following link: <http://www.innoseta.eu/communication-dissemination-material/innovation-case-studies-videos/>

Interactive multi-actor innovation and networking on SETA has been very extensive and 17 regional workshops were organised. Relevant existing networks dealing with SETA across Europe were identified and then a common methodology for the organisation of the regional workshops in the seven hubs was produced. The workshops were structured based on three discussion pillars: (i) Spray quality and application precision; (ii) Spray drift reduction; (iii) Prevention of point source pollution, environmental safety and operator's health. Interaction between participants was ensured by dividing 3 groups, one for each pillar. First, participants were asked to identify the priority issues and challenges and then a number of SETA innovations that were selected according to the specificities of each hub were presented so they rank them based on their ability to meet the issues previously identified. Participants were asked to give ideas on how the two highest ranked innovations could find application in the field in a technical, regulatory or organizational perspective. During this conversation, attendants had to showcase the needs they have that these innovations do not cover and give their ideas on policies that could address the challenges identified during these sessions. Based on all these results, participants provided their ideas for new research calls on the SETA subject and showed their interest to participate in specific multi-actor research collaborations.

Even if the needs, ideas and interests are very country-specific, similarities appear between countries. There are a lot to be done to make farmers to use the technologies they have in a better way or to start using technologies that are not anymore considered as innovations, such as air induction nozzles that most farmers in all hubs mentioned as a key technology for drift reduction, but are used rarely in the field. Another result with global presence in all hubs' workshops is the need for better training of farmers on proper sprayer calibration, drift reduction techniques and technologies and correct use of protection equipment. Another outcome of the workshops was that stakeholders believe in developing innovations that could assist in higher application precision, but at the same time consider the existing technological and/or agronomic state of the art still not enough to make good use of these innovations. Finally, participants of these workshops gave their attention in the high cost of technological leaps such as robots, canopy sensors, sprayer setting automation, for most farms' economics.

After the completion of the 17 regional workshops, a webinar dedicated to the SETA Platform was executed, followed by a Networking webinar and a unified transnational workshop, all in online format, the results of which are not yet available. Based on the results of all these events and the regional workshops, INNOSETA will produce policy recommendations until the end of the project (October 2021).

The SETA platform development and operation has been executed within the plan of the project with the website continuously optimised, updated, improved and extended. The Platform's first page (Figure 2) gives the opportunity to the user to select between commercial products, research projects, training material and scientific articles and then he/she is transferred to the second page (Figure 3), where there is a side menu to filter the categories of the user's preferences. After filtering, the user can select a specific SETA that is presented in detail (Figure 4).

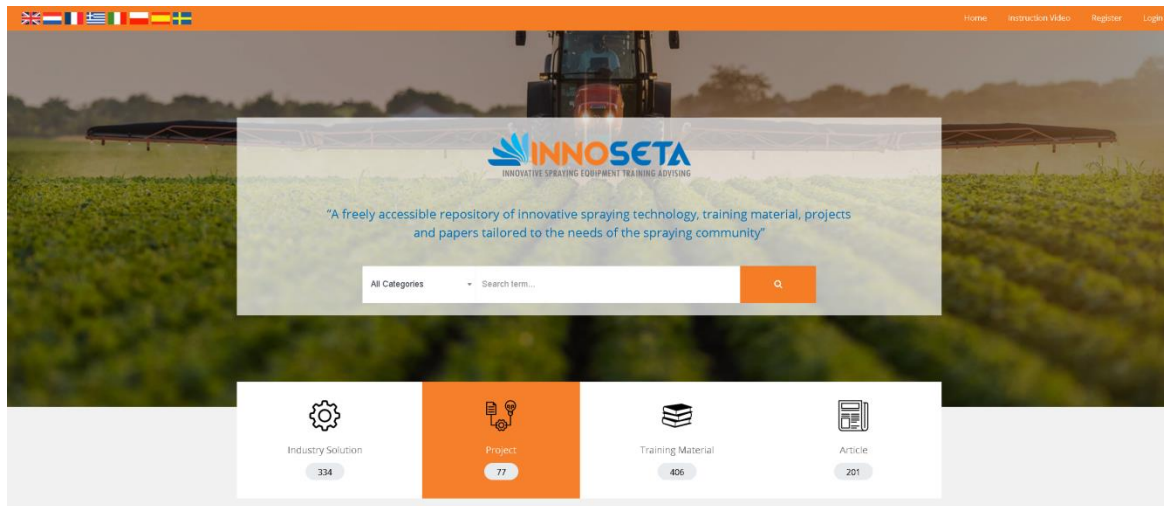


Figure 2. First page of SETA Platform (<https://platform.innoseta.eu/>)

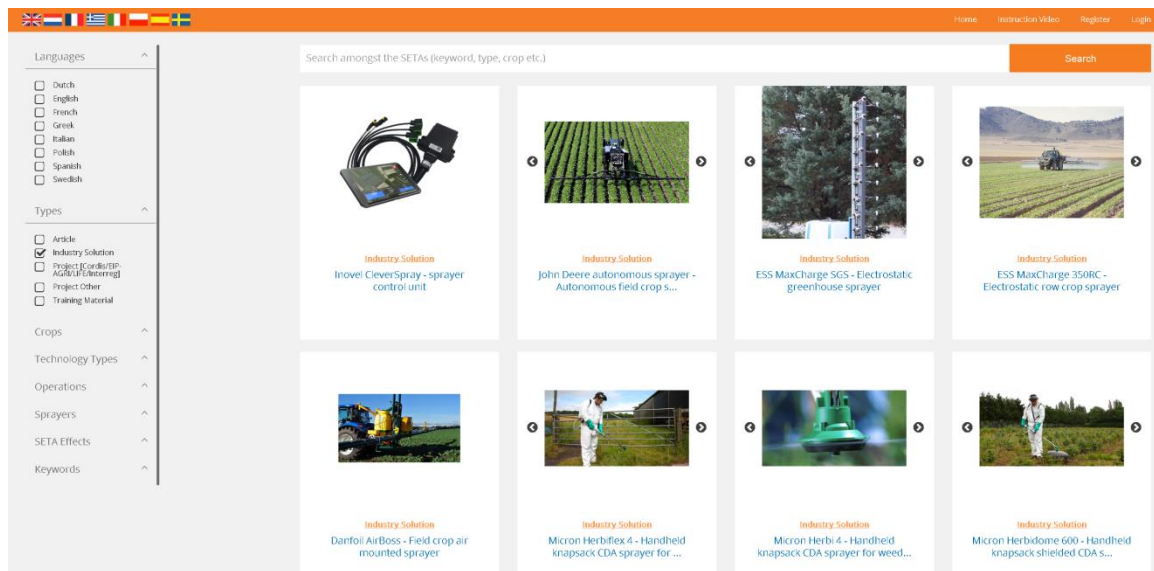


Figure 3. Second page of SETA platform (<https://platform.innoseta.eu/list?type%5B%5D=5>)

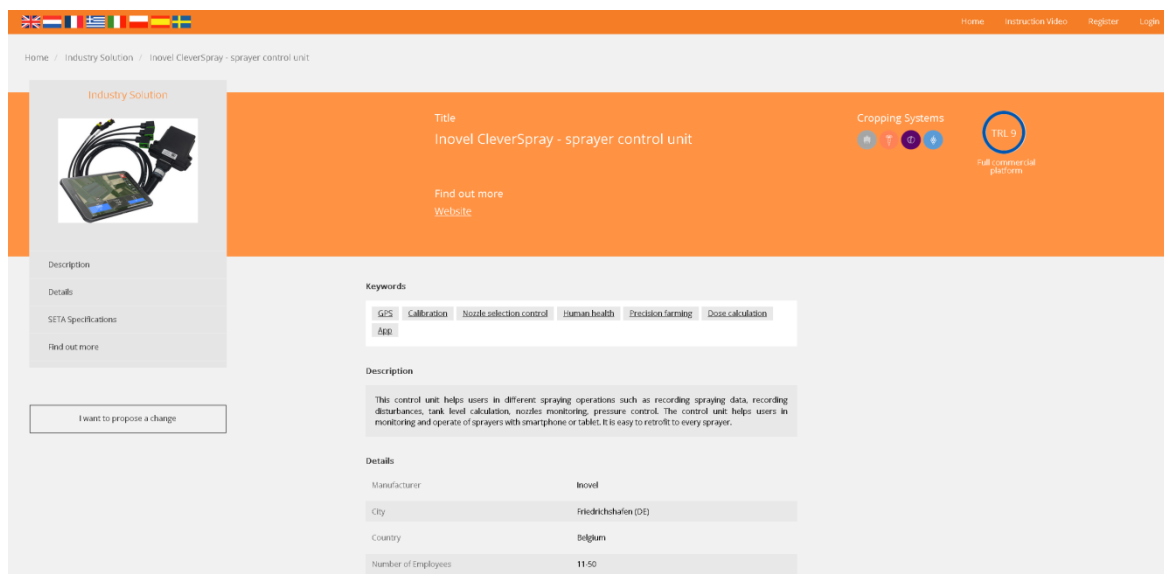


Figure 4. Example of unique technology page (<https://platform.innoseta.eu/product/358>)

The platform has high visibility (Figure 5), with continuously increasing registered users (Figure 6).

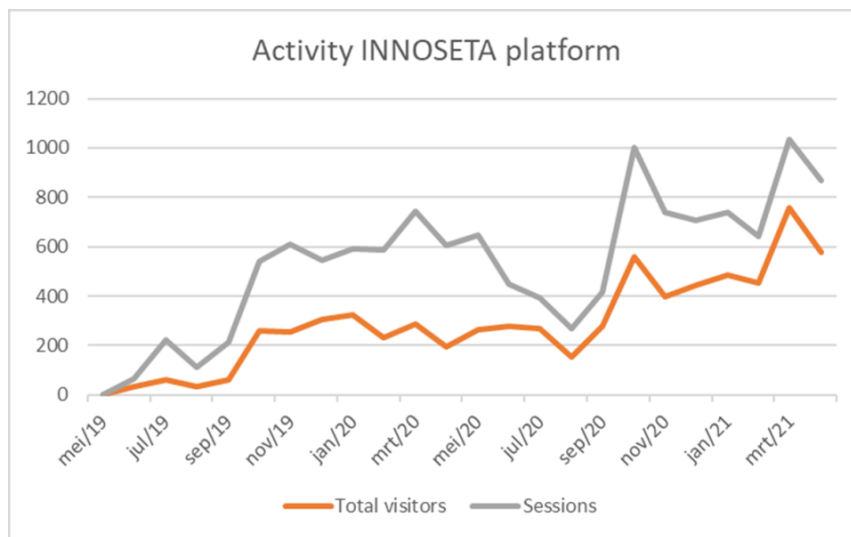


Figure 4. SETA platform activity

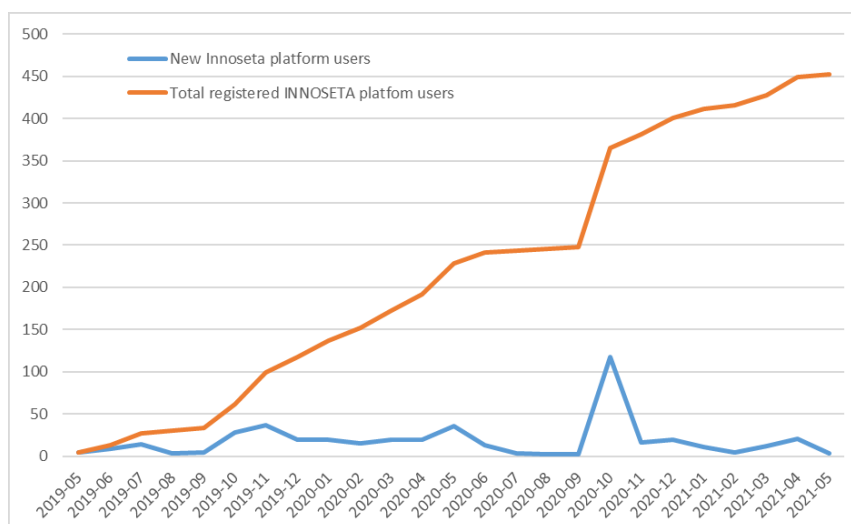


Figure 5. SETA Platform registration rate

As for communication and dissemination activities, INNOSETA content has reached out to an estimate of 800.000 people by the utilization of communication and dissemination channels by consortium partners, but most importantly with the participation in international workshops and conferences, the drastic increase in social media followers (wider reach to estimated audiences), and with the communication of consortium partners through national TV and radio. The website of the project (www.innoseta.eu), the SETA Platform (<https://platform.innoseta.eu/>) and the social media ([Facebook](#), [Twitter](#), [LinkedIn](#), [Instagram](#) and [YouTube Channel](#)) have played a significant role on this matter.

4. ACKNOWLEDGEMENTS

This Project has received funding from the European Union’s Horizon 2020 Research and Innovation Programme under Grant Agreement No. 773864.

5. REFERENCES

- [1] E. C. Oerke, "Crop losses to pests," *J. Agric. Sci.*, vol. 144, no. 1, pp. 31–43, 2006, doi: 10.1017/S0021859605005708.
- [2] "Project TOPPS webportal." [Online]. Available: <http://www.topps-life.org/>.
- [3] P. Zarco-Tejada, N. Hubbard, and P. Loudjani, "Precision agriculture: an opportunity for EU farm-ers – potential support with the CAP 2014–2020," Brussels, Belgium, 2014.
- [4] "PRO-AKIS Project findings." [Online]. Available: <https://430a.uni-hohenheim.de/pro-akis>. [Accessed: 29-Oct-2021].
- [5] "AgriSpin Project Homepage." [Online]. Available: <https://agrispin.eu/>. [Accessed: 29-Oct-2021].
- [6] "Smart-AKIS Project Homepage." [Online]. Available: <https://www.smart-akis.com/>. [Accessed: 29-Oct-2021].

RES4LIVE – ΕΞΥΠΝΗ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΑ ΜΕ ΣΤΟΧΟ ΤΗ ΜΗΔΕΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΟΡΥΚΤΑ ΚΑΥΣΙΜΑ

**Δ. Τύρης¹, Δ. Μανωλάκος¹, Θ. Μπαρτζάνας¹, Β. Ανέστης¹, Α. Μπαλαφούτης², Μ.
Μωραϊτίης², Π. Μπακάλης³, Α. Γκούντας³, Σ. Κοτσιλίτης⁴, Σ. Καλογρίδης⁴**

¹Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ιερά Οδός 75, 11855, Αθήνα

²Ινστιτούτο Βιο-οικονομίας & Αγρο-τεχνολογίας, Δημάρχου Γεωργιάδου 118, 38333, Βόλος

³ΨΥΚΤΟΘΕΡΜ (ΛΥΓΕΡΟΣ Γ & ΣΙΑ ΟΕ), Χρυσοστόμου Σμύρνης 70-72, Πειραιάς, 18540

⁴PLEGMA Labs A.E., Φραγκοκκλησιάς 7, 15125, Μαρούσι

email: dtyris@aua.gr

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η πλήρης αντικατάσταση της κατανάλωσης ενέργειας από ορυκτά καύσιμα συγκεκριμένων αναγκών τεσσάρων πιλοτικών κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων, αποδεικνύοντας ότι η γεωργία χωρίς ορυκτά καύσιμα μπορεί να επιτευχθεί με βιώσιμο τρόπο. Καινοτόμες τεχνολογίες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας θα εγκατασταθούν, δοκιμαστούν και αξιολογηθούν, λειτουργώντας ως πειστήριο από-ορυκτοποίησης. Στόχος είναι η παροχή προηγμένων, οικονομικά αποδοτικών και βιώσιμων τεχνολογιών, που θα προσφέρουν λειτουργική ευελιξία και ανώτερη θερμική άνεση των ζώων για αυξημένη παραγωγικότητα με ελάχιστο αντίκτυπο στην κλιματική αλλαγή.

Λέξεις κλειδιά: Ενεργειακή απόδοση, Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, Θερμική άνεση εκτρεφόμενων ζώων, Έξυπνος έλεγχος και διαχείριση ενέργειας

RES4LIVE – ENERGY SMART LIVESTOCK FARMING TOWARDS ZERO FOSSIL FUEL CONSUMPTION

**D. Tyris¹, D. Manolakos¹, T. Bartzanas¹, V. Anestis¹, A. Balafoutis², M. Moraitis², P. Bakalis³,
A. Gkountas³, S. Kotsilitis⁴, S. Kalogridis⁴**

¹ Agricultural University of Athens, Iera Odos 75, 11855, Athens

² Institute of Bio-economy & Agro-technology, Dimarchou Georgiadou 118, 38333, Volos

³PSYCTOTHERM (LIGEROS, G., & CO. O.E.), Chrisostomou Smirnis 70-72, 18540, Piraeus

⁴PLEGMA Labs S.A., Fragkokklisias 7, 15125, Marousi

email: dtyris@aua.gr

Abstract

The aim of this work is to totally replace the fossil fuel consumption of certain needs in four pilot farms, proving that fossil-free-energy farming is possible to be achieved with a sustainable way. Innovative Renewable Energy Sources technologies will be installed, tested, and evaluated, serving as the means of de-fossilizing evidence. The overall objective is to provide advanced, cost-effective and sustainable technologies, that will offer operational flexibility, and superior thermal comfort of the animals for increased productivity with minimum climate change impact.

Keywords: Energy end-use efficiency, Renewable energy sources, Livestock thermal comfort, Smart control and energy management

1. INTRODUCTION

Fossil fuel use in the agricultural domain has negative effects becoming a major source of greenhouse gas (GHG) emissions, with significant contributions to global climate change and the risk of food security (FAO, 2019; Dubois et al., 2017). One of the most energy consuming sub-sectors of agriculture is intensive livestock that is mainly based on fossil fuels use, contributing to ~40% of global agricultural output. This sector includes more than 2.6 million farms spread all over the EU (EUROSTAT, 2018) - about 25% of all agricultural holdings - while it represents about 45% of the total energy demand in the agricultural sector (Dumont et al., 2017), indicating that it is highly dependent on fossil energy, mainly for electricity, heating, and fuels for machinery operation. Both electricity and thermal energy is required to cover strongly diversified energy demand, such as cooling-heating of the indoor livestock buildings environment, running of equipment and tractors, lighting, and ventilation systems. However, more sustainable livestock production and de-fossilizing energy needs in husbandry facilities emerge as crucial aspects within EU.

With declining costs and improvement of reliability and performance of key Renewable Energy Sources (RES) technologies (e.g., PVs, heat pumps, biogas), the opportunities for farmers and specifically for livestock producers to engage in RES production are increasing, and new business models are emerging on the market. However, this large portfolio of options also creates complex questions, because the potential, performance and impacts of RES technologies depend on the local climate and desirable indoor conditions, size and type of farm, management techniques, degree of mechanization, and socio-economic factors.

The above, create specific challenges for the individual farmer including the need for sound advice, investment support and risk management. The adaptation of RES technologies and machinery and their demonstration at a largescale on farm level require supporting measures with respect to spatial planning, infrastructure, different business models and market organization, trends that are not all under control from a farmers' perspective. RES4LIVE project will fill these gaps ensuring a wider adoption of RES and energy efficiency technologies, machinery, and techniques in livestock farms towards a zero-fossil fuel consumption. A great part of RES4LIVE technical work deals with the adaptation of specific technologies for both energy and fuels so that to perfectly fit livestock farming and becoming attractive in terms of cost effectiveness, operational flexibility and with low maintenance, suitable for livestock buildings located in rural areas.

The strategic objective of RES4LIVE is to develop and bring into the market integrated, cost-effective, and case-sensitive RES solutions towards achieving fossil-free livestock farming. To that end, RES4LIVE will adapt and test promising RES technologies in energy-intensive livestock farming (swine, dairy, and poultry) for greatly reducing the fossil energy that is the main source to cover the energy demand. Dedicated, optimal designs combined with energy efficiency and other solutions are proposed, demonstrated in 4 pilot farms, and evaluated technically, economically, environmentally, and socially. The overall objective is to provide advanced and cost-effective technologies to the livestock sector that ensure the sustainability of the farms' operation, and the superior thermal comfort of the animals for increased productivity with minimum climate change impact.

2. METHODOLOGY

The RES4LIVE will run for 48 months and includes 8 WPs. The work is divided into three highly interacting Phases, for achieving the specific objectives. The RES4LIVE overall concept

is presented in Figure 1, and the methodology applied during each phase is described in the Sections below.

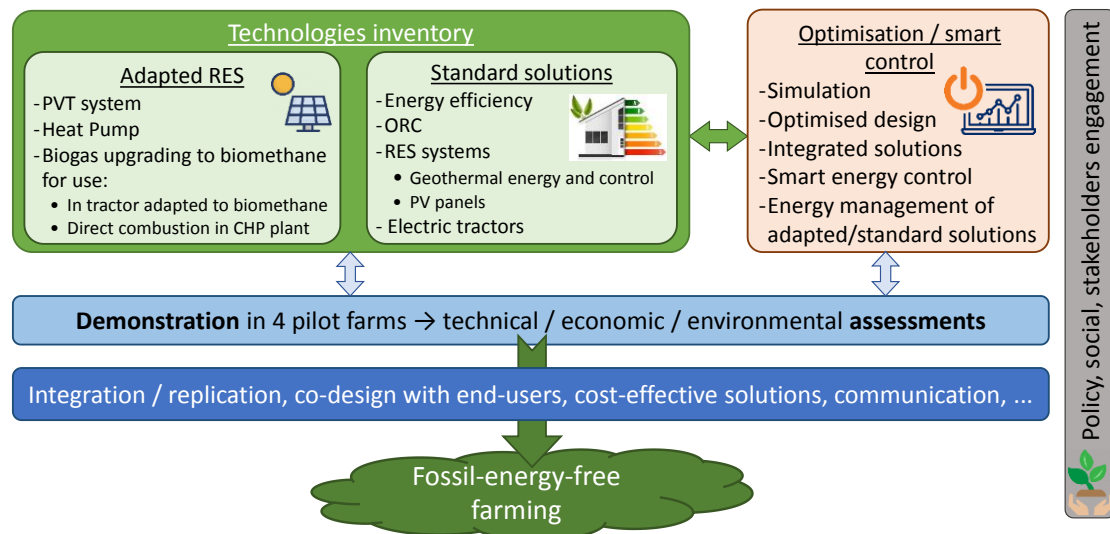


Figure 1. RES4LIVE overall concept

2.1. Scientific and technology development activities

The RES adaptation for each of the main technologies considers the specific needs of the pilot farms, in order to accelerate the development process (WPs 1, 2). PVT systems are an excellent choice for livestock farming as they combine the simultaneous generation of heat - addressing the various temperature levels of the farms' heating needs - and electricity. The farms' energy needs will be identified, based on the feedback of engaged stakeholders (of WPs 6, 7), towards the co-design process, adapting the PVT system design for greatly reducing its costs.

Regarding the heat pump, the designs adapted to farms will be developed according to the defined temperature levels of heating/ cooling delivery and relative humidity for the dehumidification function, and the possible combination with the PVT collectors and/ or the geothermal field. The heat exchangers will be carefully processed with a suitable coating for corrosive resistance and increase their lifetime. The farms' needs, such as capacity, temperatures, and heat recovery design, will be considered and the produced prototype will be tested, using an available modern test facility for HVAC systems.

Additionally, towards improving biogas to biomethane conversion efficiency and cost effectiveness, interventions in the digestion process will be investigated so that the produced biogas will have less contaminants percentile (H_2S , CO , CO_2 , etc.) ending up to a higher quality input to the membrane upgrading system. In addition, the biomethane unit will be optimised by intervening on different steps of the process based on the final biogas quality produced in different species livestock facilities. The aim is to increase the energy efficiency of the system and increase the lifetime of the membranes. The developed upgrading kit will be then demonstrated in the German pilot farm, in which a biogas plant from manure already exists.

Finally, converting the typical tractor used in a livestock farm for its needs from diesel to biomethane mitigates direct and indirect GHG emissions, since the fuel required is produced on-site with zero logistics, while assisting the total de-fossilising of transport needs. The experience and expertise from other vehicles retrofitting application (mainly passenger cars) to be adjusted in the needs of agricultural tractors, such as high torque requirements at low engine speed and will proceed in designing the engine to increase efficiency and durability

using the new fuel type. An existing diesel tractor of the German pilot farm will be then retrofitted to be fuelled by biomethane produced by the upgrading kit.

For all the above key technologies, appropriate numerical models will be developed that also include their off-design operation, and validated from their characterisation process, to be used in the numerical tool, described in Section 2.2. At the same time, other standard RES technologies, machinery, and efficiency measures/solutions already applied in farms will be examined in WP2, in order to conclude to their performance maps and feed the numerical tools and control modules of WP3. Focus is given here on the actual integration in real use cases, as well as their most suitable combinations. This activity will provide feedback to the systems design of the pilot farms in WP4.

2.2. Optimal design with control, implementation, and pilot testing

To fully satisfy the energy demand in livestock buildings, optimisation of energy generation technologies is vital for energy systems efficient operation and cost effectiveness. These actions require a complete knowledge of the time dependent energy demand profile, its seasonal variation, and the performance of energy generation technologies (according to their technical specifications). The involvement of the intermittent availability of RES technologies makes the optimisation process a complicated but challenging task and may reveal the need of considering additional technologies such as electrical and thermal storage and concepts for energy deficits and/or surpluses effective management.

For those purposes, RES4LIVE will develop in WP3: (i) a numerical platform of open architecture capable to simulate and optimise integrated RES energy systems, as function of local climatic conditions, RES potential, animals' species thermal comfort, building envelope thermal properties, etc. (ii) smart control modules capable to optimally match the energy supply and demand sides, having in the spotlight the conservation of indoor climate conditions within the thermal comfort zone. The numerical tools will be fed by local climatic data (e.g., temperature, relative humidity, solar radiation etc.) and will be parameterised with: (i) technologies technical specifications (e.g. PV performance curves, manure production-composition) based on the outcomes of Section 2.1, (ii) building envelope properties (e.g. wall thermal conductivity, openings), and (iii) thermal comfort specifications as function of animal species (to define ventilation rates and temperature/relative humidity set points). In the energy balance of the farm, equipment (e.g., lighting, motors for different uses) and machinery (farm tractors) are also considered. This numerical methodology will be able to predict the energy share covered by renewables, the fossil fuel reduction based on the local energy mix of electricity and the fossil fuel replaced, and finally provide valuable information for the technical, economic, and environmental assessments in WP5.

The effect of thermal comfort to the productivity of the specific animals under investigation will be also examined. Based on this information (productivity vs. indoor temperature), smart control techniques for optimised livestock indoor environment will be elaborated to manage RES generation and improve living conditions to achieve enhanced economic performance for the three farm types. Smart control is used to benchmark a number of variables and fine-tune them to guarantee: (i) maximum utilisation and/or storage of available RES, (ii) keeping indoor conditions at temperature and relative humidity set points, ensuring thermal comfort. The starting point is control methodologies applied in commercial buildings, which need major re-structuring to account for the specific needs of livestock buildings. The development of the algorithms will be then implemented and

initially tested at virtual environment (i.e., off-line) to examine their functionality and reaction times.

The outcome of the two previous activities is to conclude to a farm-specific numerical platform for RES energy systems simulations and operations optimisation with advanced control and energy management that will be available for simulating such type farms in different locations. This will lead to the final design of the energy systems for the RES4LIVE farms in WP4, according to the recorded consumption profiles of pilot farms and the availability of RES, also exploiting the expertise of the industrial partners of the consortium. The next step is to implement infrastructure works and prepare the farm for systems installation, including the components installation, sensors for control (where applicable), by-pass systems for existing heating/cooling systems, and other necessary parts. Each pre-selected pilot farm will be supported by a research partner, also involved in the commissioning process and the final fine-tuning. A brief presentation of each pilot farm and the planned interventions is provided in Section 2.4.

Then, long-term testing and monitoring of 12 months is in the spotlight of RES4LIVE to evaluate with confidence the systems performance under the intermittent availability of RES and climatic variation, the durability of adapted technologies, and the effectiveness of smart control. It is stressed that all systems in all pilots will be in continuous operation after the lifetime of the project.

Finally, the test data will be collected, processed, and analysed by the research partners for the concepts' assessment and validation in WP5. The validation of the numerical tool will be also conducted, enabling afterwards its wide use for various farms at different geographical locations. The multi-level assessment is related to technical, economic, and environmental, and social.

2.3. Activities for impact generation

These activities include clustering with other projects/initiatives for supporting the extraction of policy recommendations and best practices adoption, among others. The next step is to engage stakeholders following a two-step approach:

1. End-users (e.g., farmers) will be approached through farm associations preferably, as part of the co design work. They will participate in the process through workshops and questionnaires and considering their views/needs and approaches in the development process. The aim is to align the development with the actual needs of the sector so that the final solutions have the maximum possible acceptance.
2. Other key stakeholders (e.g., technology providers and farm associations) will be contacted for communication purposes and promoting the sustainability of the developed solutions, while preparing the pathways towards fossil-free energy in livestock farms. Policy recommendations are also a part of these activities, targeting the relevant stakeholders at regional, national, and European level.

At the same time, the replicability potential will be strengthened by elaborating in WP6 a large number of case studies. This is followed, since climatic conditions and RES availability are site-sensitive; while other parameters such as the size of livestock exploitations, species hosted, and practices followed also radically differentiate from site to site. Thus, a need to study also farms located in other sites than the pilots is of significance.

Dissemination and communication activities by all partners will be carried out in WP7 for broadening the impacts of the results generated by RES4LIVE. The dissemination and communication strategy aims at ensuring that all nonconfidential tangible and intangible

outputs are extensively propagated amongst strategic target groups, from technology providers up to the farmers and policy makers.

Finally, the exploitation strategy in WP7 follows the “multi-actor” approach for designing the business model of the industrial partners towards the market uptake of the demonstrated solutions. IPR issues and knowledge protection are also key aspects of this strategy to prepare the solutions to enter the market.

2.4. Pilot farms

RES4LIVE approach is based on “diversification” principle so that to cover different climatic conditions and animals’ species that differentiate the livestock practices. “Varkenscampus” (Belgium) is a farrow-to-finish pig farm for research and educational purposes alongside a normal commercial production. Within RES4LIVE, modular heat pumps and PVT collectors will be installed. The overall outcome is the replacement of 220,000 kWh/year with renewable energy plus electricity demand. “Golinelli” (Italy) is a commercial pig farm consisting of a farrowing, a nursery, a gestation, and a hog barn with gestation sector. A heat pump and PVT system will be installed for the nursery barn, and thermal insulation will be added in the hog barn. The project will lead to the replacement of 100% of electricity and 100% of LPG consumption for the nursery barn with RES and efficiency measures, thus saving a total of 29,350 kg CO₂/year. “LVAT” (Germany) is a dairy farm containing a biogas plant which will be upgraded from biomethane production. A PVT system will be also installed for hot water and electricity generation. Moreover, a retrofitted tractor for biomethane use and an electrical driven tractor will be demonstrated. The above interventions are expected to lead to CO₂ emissions’ reduction of around 99,000 kg/year. Moreover, the CO₂ savings from the fuel for transport are estimated to 73,400 kg/year, almost equally shared between the biomethane tractor and the e-tractor. At last, in the experimental poultry farm located in the Agricultural University of Athens campus, a heat pump, standard PV panels, LED lights and inverter-driven motors of the ventilators will be installed in order to replace by 100% the whole electricity consumption, leading to CO₂- eq. savings of 5,100 kg/year.

3. LATEST PROGRESS

The project is running for the last 10 months and has been active in all tasks related to the implementation of its specific and overall objectives. From October on, the first tangible results will be made public.

WP1 is where the most intensive work has been done until now. It focuses on the adaptation of innovative technologies so that to perfectly fit the condition and environment entailed by livestock farming. In more detail, the (i) on-farm production and upgrading of biogas to biomethane, (ii) adaptation of a farm tractor for biomethane use, (iii) adaptation and testing of the flexible heat pump, and (iv) development of PVT system designs towards standardization, are studied.

The initial designs have been finalized, and the expected performance and cost-related parameters have been confirmed. We deem the goals set until now achieved to a satisfactory degree, with any gaps to be justified by the initial stage of the project. In Figure 2, the biogas upgrading plant layout and equipment positioning (left), and the positions of the biomethane storage system on the tractor (right) are presented.

Dairy farm - LVAT

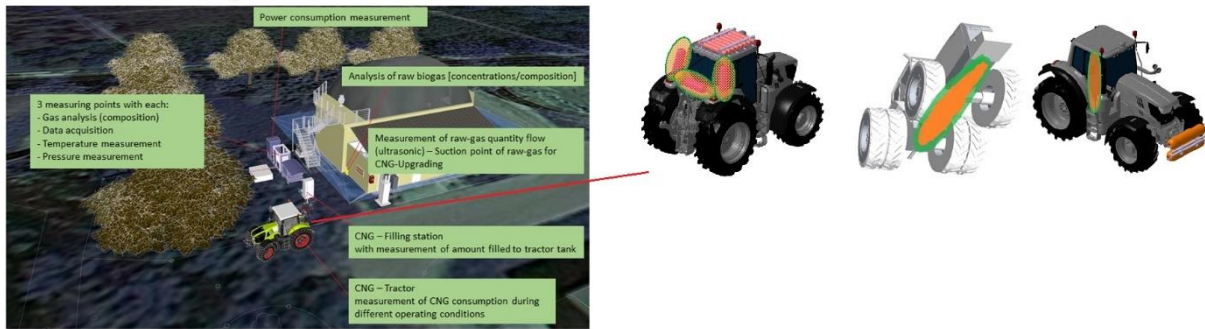


Figure 2. (a) Biogas upgrading plant layout and equipment positioning (left). (b) Positions of the biomethane storage system (right).

Also, the heat pumps schematic diagrams, as well as the positions of PVTs in the pilot farms are depicted in Figure 3.

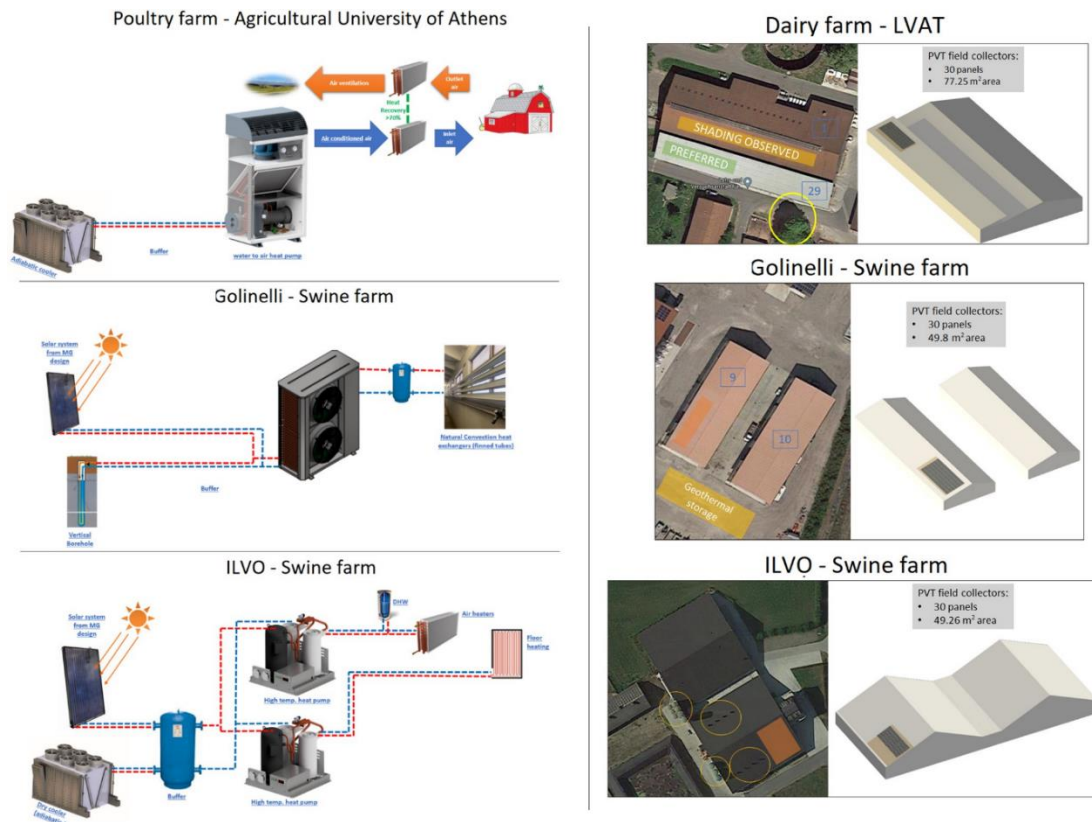


Figure 3. (a) Heat pumps schematic diagrams for the pilot farms (left). (b) Positions of PVTs in the pilot farms (right).

In WP2, market available RES technologies, interventions and energy efficiency solutions, measures and practices that can be integrated in livestock farms, are investigated, and identified in order to be integrated - and potentially combined with the technologies of WP1 - in the pilot farms. Right now, the review of a large number of draft reports, covering a broad range of the aforementioned spectrum, is taking place.

WP3 is on full development, with reports on the analysis of energy demand/ consumption and RES availability in typical livestock farms, as well as on livestock's thermal comfort impact on production, to be under preparation. Technical specifications of sensory

equipment have been identified, as the first step towards the precise indoor environmental and energy smart control. Also, the development of a farm-specific numerical platform for energy management and operations optimisation has been initiated, using the pilot poultry farm as our first test case.

WP4, in which the implementation and testing of the solutions in pilot farms will take place, is one of the most central WPs. Retrofitting of the farms has already started and all farms are in the process of purchasing and installing sensory equipment. At the same time, multilateral meetings and digital “tours” take place regularly to specify the optimal combination of adapted RES technologies of WP1, with commercial solutions of WP2, finely tuned by the smart energy control, in order to meet its farm’s needs.

Even though WP5 will officially start in April 2022, questionnaires have already been distributed to the pilot farms to collect data for the technical and environmental assessments. The review of the collected data will begin during the next months, and feedback will be given to the pilot farm partners.

WP6 is undergoing a preparatory phase since it will start in October 2021 and include activities relevant to clustering with other projects and stakeholders, the implementation of co-design process with the potential end-users, the realization of case studies in real farms and the creation of best practices.

Finally, WP7 on Dissemination, Communication and Exploitation is very active from the very beginning, with a fully functional website (www.res4live.eu) and all social media ([Twitter](#), [LinkedIn](#), [Facebook](#)) with continuous feed of news related to the project. Project Management and Coordination (WP8) is also running smoothly.

4. ACKNOWLEDGEMENTS

This Project has received funding from the European Union’s Horizon 2020 Research and Innovation Programme under Grant Agreement No. 101000785.

5. REFERENCES

- FAO (2019), The State of Food and Agriculture 2019. Moving forward on food loss and waste reduction, FAO, Rome, url: <http://www.fao.org/3/ca6030en/ca6030en.pdf>
- Dubois Olivier, Flammini Alessandro, Kojakovic Ana, Maltsoğlu Irini, Puri Manas, Rincon Luis. 2017. Energy access: food and agriculture (English). State of Electricity Access Report Washington, D.C.: World Bank Group. <http://documents.worldbank.org/curated/en/417941494928698197/Energy-access-food-and-agriculture>
- EUROSTAT (2018), Farms and farmland in the European Union – statistics, 2018, url: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Farms_and_farmland_in_the_European_Union_-_statistics
- Dumont B., Dupraz P., Sabatier R., Donnars C. A collective scientific assessment of the roles, impacts, and services associated with livestock production systems in Europe. Fourrages, Association Française pour la Production Fourragère, 2017, pp. 63-76.

AGROFOSSILFREE - ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΓΙΑ ΕΠΙΤΕΥΞΗ ΜΙΑΣ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΑΣ ΑΠΑΛΛΑΓΜΕΝΗΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΟΡΥΚΤΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Κ. Βαϊόπουλος¹, Α. Μπαλαφούτης¹, Φ. Βανδώρου¹, Μ. Μωραΐτης¹, Σ. Βουλγαράκη¹, Β. Κανάκη², Α. Κουτσούρης², Β. Paris², Δ. Μανωλάκος², Γ. Παπαδάκης², Μ. Καμινιάρης³, Ζ. Τσιρόπουλος³

¹Ινστιτούτο Βιο-οικονομίας & Αγρο-τεχνολογίας, Δημάρχου Γεωργιάδου 118, 38333, Βόλος

²Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ιερά Οδός 75, 11855, Αθήνα

³AGENSO, Μάρκου Μπότσαρη 47, 11742, Αθήνα

email: k.vaiopoulos@certh.gr

Περίληψη

Στόχος αυτής της εργασίας είναι η δημιουργία ενός πλαισίου συνεργασίας των ενδιαφερόμενων μερών για την αξιολόγηση και προώθηση των διαθέσιμων στρατηγικών και τεχνολογιών από-ορυκτοποίησης στην Ευρωπαϊκή γεωργία, ώστε να μειωθεί η χρήση ορυκτών καυσίμων, διατηρώντας παράλληλα την απόδοση και την ποιότητα του τελικού προϊόντος. Ένα τέτοιο πλαίσιο θα συμβάλει στο κλείσιμο του χάσματος μεταξύ αυτών των διαθέσιμων στρατηγικών και τεχνολογιών και των καθημερινών γεωργικών πρακτικών, προωθώντας την αποτελεσματική ανταλλαγή νέων ιδεών και πληροφοριών μεταξύ έρευνας, βιομηχανίας, εφαρμογών και γεωργικής κοινότητας για την καλύτερη διάδοσή τους και την παράλληλη σύλληψη των αναγκών και καινοτόμων ιδεών από όλα τα μέρη.

Λέξεις κλειδιά: Ενεργειακή απόδοση, Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, Τεχνολογίες & Στρατηγικές χωρίς Ορυκτή Ενέργεια

AGROFOSSILFREE - STRATEGIES AND TECHNOLOGIES TO ACHIEVE A EUROPEAN FOSSIL-ENERGY-FREE AGRICULTURE

K. Vaiopoulos¹, A. Balafoutis¹, F. Bandorou¹, M. Moraitis¹, S. Voulgaraki¹, V. Kanaki², A. Koutsouris², B. Paris², D. Manolakos², G. Papadakis², M. Kaminiaris³, Z. Tsiropoulos³

¹Institute of Bio-economy & Agro-technology, Dimarchou Georgiadou 118, 38333, Volos

²Agricultural University of Athens, Iera Odos 75, 11855, Athens

³AGENSO, Markou Mpotsari 47, 11742, Athens

email: k.vaiopoulos@certh.gr

Abstract

The aim of this work is to create a framework under which stakeholders will cooperate to evaluate and promote currently available fossil-energy-free strategies and technologies (FEFTS) in EU agriculture to diminish fossil fuels use in any farming process, while maintaining yield and quality of the end-product. Such a framework will contribute in closing the gap between the available FEFTS and the everyday agricultural practices by promoting effective exchange of novel ideas and information between research, industry, extension and the farming community so to widely communicate them, while capturing grassroots level needs and innovative ideas from the farming and related industry communities.

Keywords: Energy end-use efficiency, Renewable energy sources, Fossil-Energy-Free Technologies & Strategies

1. INTRODUCTION

Global agriculture relies on fossil resources for covering most of its energy needs and supporting agricultural productivity in both open-field crop production (i.e. arable crops, orchards, vineyards) and controlled environment agricultural constructions (i.e. greenhouses and livestock buildings) (Xi Chen et al., 2020). Agricultural mechanization established after the Green Revolution (50s-60s) has brought to farmers and extension solutions to mechanize and electrify most agricultural practices using, as in all production sectors, mainly fossil fuels for both direct and indirect energy uses. The positive impact on productivity and efficiency, but also on labour intensity and workers' fatigue has been significant, but the impact of agricultural activities on the Global Warming Potential (GWP) became extensive through greenhouse gases (GHG) emissions directly emitted from livestock digestion, agricultural machinery and indirectly through land-use intensification and agricultural input application.

In the meantime, scientists have identified the anthropogenic impact on climate change that was directly connected to extreme fossil fuel use and deterioration of natural carbon sinks that human society development brought (European Environment Agency, 2017). Therefore, industry and research entities have been developing novel technologies and strategies related to more sustainable energy production, efficient use and GHG emissions reduction (Uprety et al., 2012). Specifically for EU, the last 20 years these technologies and strategies were applied in most economic sectors with very positive results. However, agriculture was not identified as a main application domain, as it was not considered as a main energy consumer and GHG producer, but also as the installation cost of such technologies was high for small/medium farmers due to their low income and high prices of such innovative systems.

Nowadays, the wide application of such technologies and strategies has increased their share from 6.1% in 2000 to 15.2% in 2016 with simultaneous decrease of the fossil and nuclear energy share (EEA. 2021). This market growth has allowed for them to be optimised for better efficiency and quality coupled with reduced prices to acceptable levels for most energy consumers' income. In general, recent energy technology developments and the latest advancements in intelligent control systems have been complemented with a large list of Best Energy Management Practices (BEMP) for rational use of energy and reduced GHG emissions. Unfortunately, in the agricultural sector there is still an important gap between such developments and the actual adoption and use of the available tools and practices by the farmers, especially for this large number of small and medium producers with limited access to information (OECD, 2019). If this gap closes, European agriculture could become more sustainable with minimum energy, environmental and socioeconomic impact. In order to integrate all the available tools and practices that previous research and industrial efforts have developed, there is still a crucial element absolutely needed to achieve overall success; the adequate training of all the professionals involved in the process. Consequently, only when agricultural stakeholders gain knowledge of existing and future technological advancements in energy sector and adequate training is achieved within the EU will agriculture be able to fully align with the fossil energy use reduction policies, the related legal and regulatory frameworks and sustainable food production practices.

The main objective of AgroFossilFree is to create a framework under which all core stakeholders will cooperate to evaluate and promote the currently available fossil-energy-free technologies and strategies (FEFTS) in EU agriculture to decrease in the short term and eliminate in the long run the use of fossil energy in open-field crop production and controlled environment agricultural constructions from cradle to farm gate, while

maintaining yield and quality of the end product offered to consumers in a cost efficient manner. Such framework will contribute in bridging the gap between the available novel high-end clean energy solutions and the everyday European agricultural practices by capturing grassroots-level needs and ideas, promoting effective exchange of information and investigating the possible financing opportunities for any de-fossilizing activity between the farming and related industry community. Ultimately, it will facilitate farmers to find solutions for their specific needs contributing towards fossil-free farming.

2. METHODOLOGY

AgroFossilFree is based on a “Multi Actor Approach”, including in the consortium not only scientists and researchers but also extension service providers, farmers’ organizations and industrial partners. Six organizations owned/ruled by farmers or directly working for them are partners in the project, which covers a wide range of Innovation Support Services and extension/advisory typologies (public and private companies, governmental departments, farmer organisations). Through these organisations and the direct links of project partners with other regional AKIS actors (cooperatives, unions, agroindustry, etc.) as well as OGs, the relevant stakeholders in the area of FEFTS in the eight innovation “hubs” (Figure 1) of the project will be involved. All hubs will address both open-field and controlled environment agriculture and were selected based on geographical/climatic coverage of the whole EU (IR: North-West; NL, DE & DK: North-Central; PL: North-East; ES: South-West; IT: South-Central; Greece: South-East), their rich agricultural background in arable crops, vegetables, orchards, vineyards, greenhouses and livestock facilities and their diverse energy needs based on these activities.

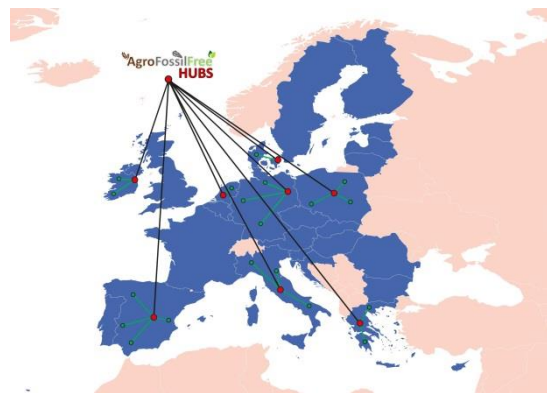


Figure 8. AgroFossilFree Regional “Hubs”

The diversity of cropping systems and agro-climatic zones covered by this project will allow AgroFossilFree to explore the adoption and applicability of a wide range of FEFTS solutions, while capturing a wealth of needs and innovations from end-users across Europe. This will give recognition to the differences in the potential use of novel FEFTS among European farming systems and the social, economic and bio-physical environments in which they are grounded.

AgroFossilFree will engage with stakeholders both within and outside the project at different geographical levels, widening from regional to European level: (i) three interactive innovation multi-actor workshops in each “hub”, allowing for the direct dissemination of novel FEFTS solutions and the capture of grassroots-level innovations and needs in regional level; (ii) three transnational workshops, allowing for the generation of targeted exchanges,

dissemination of practical FEFTS solutions and cross-fertilisation and cross-border collaborations in FEFTS innovations; iii) one brokerage event in Brussels by CEMA, REScoop and ECAF to initiate possible new research and dissemination activities; and (iv) the AgEnergy Platform, allowing for a broad stakeholder outreach and crowdsourcing of stakeholders’ needs and innovations at the widest EU level. Through bringing together a wide range of FEFTS-related stakeholders in agricultural production at regional and national levels, AgroFossilFree will allow for the creation of a self-sustainable Fossil-Energy-Free Technologies and Strategies Network at EU level, supporting the creation of new OGs and multi-actor projects around the seven “hubs” (Figure 2).

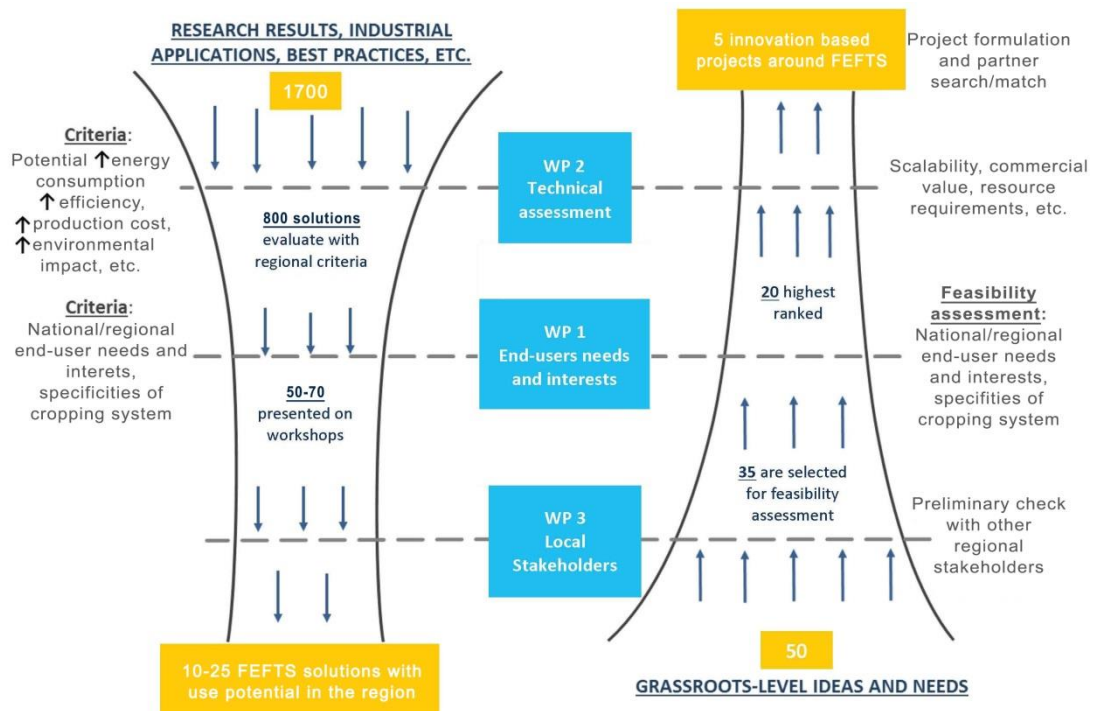


Figure 2: Interactive innovation in regional “hubs”.

Left: top-down dissemination of direct applicable novel FEFTS solutions; right: bottom-up capturing grassroots-level ideas

The conceptual framework used by the project for interactive innovation in the regional “hubs” (Figure 1) will integrate outcomes from WP1 and WP2 and will take account of the regional specificities (WP3). In the top-down approach, it will result in the deployment of novel FEFTS solutions with high use potential in a given region as selected by project partners according to technical (WP2) and social (WP1) criteria as well as the specificities of the regional cropping systems (WP3). In the bottom-up approach, it will allow validating the grassroots-level needs identified in WP1 as well as capturing new needs through the identification of the “Pain Points” in the regional value chain that generate needs that could elicit an intervention with novel FEFTS solutions. Upon validation by other stakeholders, 35 ideas will be assessed for impact vs. feasibility and the 20 with the highest ranking will be evaluated for scalability, commercial value, resource requirements, etc. Finally, AgroFossilFree regional partners will identify the partner ecosystem and the funding needed for lean start-up of innovation-based collaborative projects and/or OGs. A central tool for interactive innovation in the “hubs” will be the multi-actor workshops, bringing together research, extension, industry and farmers within and outside the project.

AgroFossilFree will implement an online and interactive approach to communication, interaction, knowledge sharing and stimulation of multi-actor innovation at the EU-wide level through the development of an ad-hoc designed ICT tool, the AgEnergy Platform. A minimum of 800 FEFTS solutions, preliminary assessed with the use of different criteria in WP2, will be continuously available in the AgEnergy Platform for on-line assessment by external stakeholders. A special functionality will allow for crowdsourcing of grassroots-level needs and innovations that will be assessed and channelled upstream to the right stakeholders for starting innovation-based collaborative projects (Figure 3).

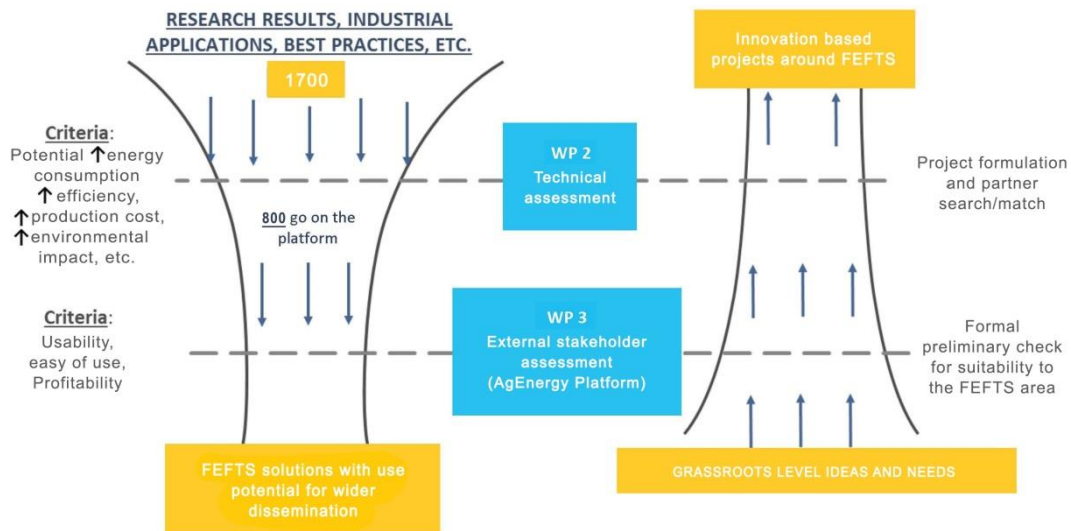


Figure 3: AgEnergy Platform for interactive innovation.

Left: top-down dissemination of direct applicable novel FEFTS solutions; right: bottom-up capturing of grassroots-level ideas

Based on the above description, AgroFossilFree consists of six WPs. The first four WPs deal with the core activities of the project, while the other two are overarching WPs spanning across the 36-month project duration. WP1 includes all activities to evaluate current energy use status in EU agriculture and assess the needs and interests for fossil-energy-free technologies and strategies to be applied in future farming and the diffusion of these innovations within the social systems. Innovation practices from the AGRISPIN project will be deployed. WP2 will inventory available fossil-energy-free technologies and strategies and available financing tools in European agriculture and analyse their development over time. WP3 will build on the results produced in WP1 and WP2, generating interactive and multi-actor innovation at regional level, supporting cross-border collaboration and ensuring the sustainability and links of the interregional multi-actor network on fossil-energy-free technologies and strategies with the EIP-AGRI and other EU wide initiatives, like EERA. In this WP, practice abstract required by the EIP-AGRI and policy briefs/guidelines for higher adoption of fossil-energy-free technologies and strategies in EU agriculture will be produced. In WP4, the “AgEnergy Platform” will be created and populated with WP1, WP2 and WP3 results. WP3 and WP4 are closely linked, as the AgEnergy Platform will foster stakeholders’ engagement in the workshops, collecting their feedback and supporting the creation of an AgroFossilFree virtual Community. WP5 will conduct interactive dissemination activities, whereas WP6 will ensure sound administrative, financial and risk management of the project.

3. RESULTS

The project is running for the last 10 months and has been active in all tasks related to the implementation of its specific and overall objectives.

Regarding WP1, the current energy status in EU agriculture has been evaluated and the main findings indicate that energy use throughout EU agriculture is significant and fossil fuel dependent. According to Eurostat, agriculture accounts for 3.2% of total energy consumption, 56% which is derived directly from crude oil and petroleum products, 17% from electricity, 14% from gas and 9% from renewables and biofuels. However, our results suggest that if indirect energy use associated with the production and transport of fertilizers and pesticides is included the proportion of energy use in the EU-27 would be 62% higher overall.

Our results also show that energy use, its concentrations and breakdown, vary significantly per production system (open-field, livestock, greenhouses). According to our estimates, of the crops and production systems included in our study, the annual energy inputs for arable agriculture are 1227 PJ, for orchards and vineyards are 208 PJ, for meat production systems are 501 PJ, for dairy production systems are 543 PJ.

For open-field agriculture, our study finds that the use of fertilizer is the largest energy consuming activity in EU agriculture, accounting for around 50% of all energy inputs. On farm diesel use accounts for 30%, while other uses are mainly dedicated to irrigation, storage and drying which accounts for 8%. Pesticides and seeds each account for 5% of total energy inputs. In all livestock systems, except for beef production systems, animal feed is the main energy input accounting for around three quarters of all energy requirements. The production of animal feed consumes around 60% of the cereal production in the EU and requires significant high-protein imports. On farm electricity use, which currently mainly comes from fossil sources, is also significant but varies considerably depending on the production system. In high yielding and high-energy intensive greenhouses energy use is dominated by energy use for heating and cooling. By contrast, lower yielding and less energy-intensive systems use little to no heating/cooling and instead energy use is mainly associated with fertilizers, diesel use for machinery, irrigation and other activities.

The above illustrate that for the EU to achieve the goals outlined in the Green deal and Farm to Fork strategy, it is likely that the adoption of new technologies, and improvements in energy efficiency and the further development and adoption of non-fossil energy sources for agriculture is required. In addition to this, a transition to more sustainable agricultural practices and farming systems is required. For instance, our chapter on conservation agriculture, as an indicative example of a FEFTS, highlights that scaling of conservation agriculture can significantly reduce on farm energy use and carbon emissions as well as sequester considerable amounts of carbon (up to 190M tonnes per year) and improve the overall climate resilience of the agricultural sector.

Providing an overview of energy use in EU agriculture is a challenging topic due to the plethora of the available, and in most cases inconsistent, data. However, there are multiple areas that would benefit from further research. Our understanding and estimates of energy use in EU agriculture would benefit from additional studies on energy use in all three main production systems, especially for greenhouse agriculture. In addition, further research into the energy use of non-conventional systems and crops that are cultivated on a minor scale is required as well as further research into the correlations between farm indicators (size, location, specialization) and energy use.

The other part of WP1 regarding the factors affecting innovation adoption and diffusion of FEFTS is also very active in this period. The methodology of the farmers' interviews in the 8 hubs identified in the project was produced and 50-60 interviews of farmers have already been finished in each hub. The same counts for the interviews of experts in the field of energy in agriculture and 4-5 experts were interviewed in each hub. At the moment, the analysis of these interviews is under development and will be public after September 2021.

Regarding WP2, the methodology has been developed and based on this, a specific questionnaire ([FEFTS registration link*](#)) was established so to assist the partners and external FEFTS providers to register FEFTS of all kinds (scientific papers, research projects, commercial products, training materials and financing tools). The process in this form is ongoing and will last until end of September 2021, when the AgEnergy Platform will be launched. After the initiation of the Platform, the process will be shifted to the internal registry of this ICT tool and will last until the end of the project (September 2023).

WP3 that will organise all interaction with stakeholders through online and physical workshops has also started its activities by developing the stakeholders' network in each of the 8 hubs to be provided on September 2021 and the methodology for regional workshops is almost finished and shared with the organisers of the workshops. The events will start taking place on November 2021 and the process will last until May 2022.

As for WP4 that will create the AgEnergy Platform, the first step of developing the website of the project (www.agrofossilfree.eu) that will interconnect interested stakeholders to the Platform has been made. The website is very informative and explains the objectives of the project in detail. The AgEnergy Platform is under construction and the wireframes of its contents are already in place. It is expected that the launching of the Platform will ensue on time (1st of October 2021).

Finally, WP5 on Dissemination and Communication is very active from the scratch of the project, with the website filed with news and all social media ([Twitter](#), [Facebook](#), [LinkedIn](#)) with continuous feed of interesting subjects related to the project. Project management (WP6) is also running smoothly.

*<https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfMpFweapaUYlkquzmb6PUHEBzHOQjGetQop0jD2TJDEV1OPA/viewform>

4. ACKNOWLEDGEMENTS

This Project has received funding from the European Union's Horizon 2020 Research and Innovation Programme under Grant Agreement No. 101000496.

5. REFERENCES

Xi Chen, Chenyang Shuai, Yu Zhang, Ya Wu 2020. Decomposition of energy consumption and its decoupling with economic growth in the global agricultural industry Environmental Impact Assessment Review, Volume 81, March 2020, Article 106364

European Environment Agency, Energy and climate change 2017. Article Published 29 Aug 2017

Uprety, D.C.; Dhar, Subash; Hongmin, Dong; Kimball, Bruce A.; Garg, Amit; Upadhyay, Jigeesha, Technologies for Climate Change Mitigation - Agriculture Sector, Publication date: 2012

<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/primary-energy-consumption-by-fuel-7/assessment>

OECD (2019), Enhancing Climate Change Mitigation through Agriculture, OECD Publishing, Paris, doi:10.1787/e9a79226-en.

ΔΑΣΟΠΟΝΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ: ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗ ΔΑΣΙΚΗ ΠΡΑΞΗ

Χριστιάνα Κολιούσκα

Εργαστήριο Δασικής Πληροφορικής, Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Αριστοτέλειο
Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 54124 ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
e-mail: ckoliou@for.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η δασοπονία ακριβείας ενσωματώνει ψηφιακές εφαρμογές και διαδικτυακά εργαλεία για την επίτευξη βελτιωμένης λειτουργικής αποτελεσματικότητας και μεγιστοποίησης της απόδοσης μέσω της συλλογής και ανάλυσης δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, όπως επίσης και της ανάπτυξης μηχανισμών ελέγχου των δασικών οικοσυστημάτων. Η αξιοποίηση των Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) από τους κρατικούς φορείς που εφαρμόζουν την δασοπονία πολλαπλών σκοπών μπορεί να συμβάλλει αποτελεσματικά στην αναβάθμιση των παρεχόμενων υπηρεσιών προς τους πολίτες. Σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη των ψηφιακών εφαρμογών που χρησιμοποιούνται στη δασική πράξη. Παρουσιάζεται η υφιστάμενη κατάσταση στην περιοχή της Μακεδονίας και ταξινομούνται οι κρατικοί φορείς που έχουν ως αντικείμενο της άσκησης της δασοπονίας ανά Περιφερειακή Ενότητα σε δύο ομάδες ανάλογα με τον βαθμό εφαρμογής δασοπονίας ακριβείας. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, απαιτείται αναβάθμιση τόσο στην τεχνολογική υποδομή των αρμόδιων κρατικών φορέων, όσο και των ψηφιακών δεξιοτήτων του προσωπικού για την αποτελεσματικότερη διαχείριση των δασικών πόρων.

Λέξεις κλειδιά: Δασοπονία ακριβείας, Τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνιών (ΤΠΕ), ψηφιακές εφαρμογές, δασοπονία, Μακεδονία, κρατικοί φορείς

PRECISION FORESTRY: DIGITAL APPLICATIONS IN FOREST MANAGEMENT

Christiana Koliouka

Laboratory of Forest Informatics, Faculty of Forestry and Natural Environment, Aristotle University of
Thessaloniki
e-mail: ckoliou@for.auth.gr

ABSTRACT

Precision Forestry (PF) is enabled by a wide range of innovative Information and Communication Technologies (ICT) in the sustainable forest management. PF takes advantage of ecological processes in forest ecosystems aiming at the environmental protection. The profitability of forestry is dependent on accurate forest resource information in order to optimize and complete various forest-management tasks. New Information and Communication Technologies (ICT) contribute significantly to the sustainable management and utilization of a region's forest resources. This paper studies the employ of PF in Greek Forest Services. The research with the method of questionnaires was conducted in 2020 in the Forest Services in Macedonia, Greece. The Forest Services were evaluated and classified according to the level of PF adoption per regional unit using the method of K-means. According to the results, it is necessary forest operators to expand the use of ICT and optimize their daily workflow.

Keywords: Precision Forestry, Information and Communication Technologies (ICT), digital applications, forestry, Macedonia, public sector.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η δασοπονία ακριβείας είναι ένα σύστημα διαχείρισης δασικών εκτάσεων, το οποίο χρησιμοποιώντας τις ψηφιακές εφαρμογές στη δασοπονία, υποστηρίζει τον δασικό υπάλληλο στη λήψη αποφάσεων για την καλύτερη διαχείριση των δασών. Ουσιαστικά, η δασοπονία ακριβείας στοχεύει στη βέλτιστη αξιοποίηση των διαθέσιμων και χρησιμοποιούμενων πόρων και παραγωγικών συντελεστών τόσο στην προστασία και διατήρηση των δασών όσο και στην παραγωγή – επεξεργασία – διάθεση των δασικών προϊόντων. Η αξιοποίηση των Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) από τους κρατικούς φορείς που εφαρμόζουν την δασοπονία πολλαπλών σκοπών μπορεί να συμβάλλει αποτελεσματικά στην αναβάθμιση των παρεχόμενων υπηρεσιών προς τους πολίτες. Η συνεχιζόμενη τεχνολογική εξέλιξη οδήγησε στο επόμενο στάδιο των ΤΠΕ, το στάδιο των έξυπνων υπηρεσιών, δράσεων και εφαρμογών. Η άμεση χάραξη και υλοποίηση στρατηγικών για την αποδοχή και υιοθέτηση των έξυπνων εφαρμογών στην δασική πράξη και στην δασική έρευνα είναι πλέον απαραίτητη για την μετάβαση στην σύγχρονη βιώσιμη δασοπονία.

Οι ΤΠΕ ως βασική τεχνολογία οριζώντιου χαρακτήρα, ενσωματώνονται στα προϊόντα και στις διεργασίες σχεδόν όλων των κλάδων εμπλουτίζοντας τα χαρακτηριστικά τους και αυξάνοντας την παραγωγικότητα (Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας, 2014). Οι Τ.Π.Ε. θεωρούνται σημαντικές για τη βελτίωση της ανταγωνιστικότητας της Ευρώπης και πιο συγκεκριμένα, για την ικανοποίηση των αναγκών των τοπικών κοινωνιών και της οικονομίας, καθώς επηρεάζουν κάθε πλευρά της καθημερινής ζωής του ανθρώπου (Μαρινάκου, 2010). Οι ΤΠΕ μπορούν να αποτελέσουν όχημα για αποτελεσματική βιώσιμη ανάπτυξη (Κολιούσκα και Ανδρεοπούλου, 2014; Andreopoulou, Stiakakis and Vlachopoulou, 2013).

Όλο και περισσότερες τεχνολογίες βελτιώνονται ή εφευρίσκονται, και όλο και περισσότερες εφαρμογές μελετώνται. Ενδεικτικά, θα μπορούσαμε να κατηγοριοποιήσουμε τις ΤΠΕ που σήμερα συναντούμε ως εξής (Eriksson, 2003; Μπούρας, Γεωργίου και Μπάμης, 2004):

- Το Διαδίκτυο για την άντληση, μεταφορά και δημοσίευση πληροφορίας μέσω υπολογιστών, υπολογιστών παλάμης (Personal Digital Assistant - PDA) και κινητών τηλεφώνων.
- Την τεχνολογία Wireless Local Area Network (W-LAN) η οποία επιτρέπει την κατασκευή ασύρματων δικτύων Wireless Fidelity (Wi-Fi) και συναφών τεχνολογιών (π.χ. Bluetooth), που επιτρέπουν την ασύρματη σύνδεση διαφόρων συσκευών μεταξύ τους και με το Διαδίκτυο.
- Τα συστήματα Global System for Mobile Communications (GSM), General Packet Radio Service (GPRS), 3rd Generation (3G) και 4th Generation (4G) για τη μεταφορά φωνητικών, γραπτών, οπτικοποιημένων κ.α. στοιχείων, που χρησιμοποιούνται στην κινητή τηλεφωνία.
- Τα παγκόσμια συστήματα εντοπισμού θέσης (Global Positioning System - GPS) για την πλοήγηση οχημάτων και τις τηλεπικοινωνίες μέσω δορυφόρου.

Οι τεχνολογίες του Ηλεκτρονικού Υπολογιστή (Η/Υ) και του Διαδικτύου θεωρούνται από τις σημαντικότερες ΤΠΕ. Συνήθως, ο Η/Υ χρησιμοποιείται για την επεξεργασία και τη διαχείριση εσωτερικών δεδομένων της εκμετάλλευσης και παρέχει πληροφορίες για σκοπούς λήψης διοικητικών αποφάσεων (Αδαμίδης κ.α., 2012). Η εποχή των Η/Υ έχει μειώσει το κόστος απόκτησης, παραγωγής και παροχής πληροφοριών, αυξάνοντας παράλληλα την ποσότητα και την ταχύτητα με την οποία ρέουν οι πληροφορίες (Hall et al., 2003). Από την άλλη πλευρά, το Διαδίκτυο αποτελεί πηγή επικοινωνίας και εξωτερικής

πληροφόρησης κι επιτρέπει στον πληθυσμό να λαμβάνει και να αναλύει εξωτερικά δεδομένα και πληροφορίες (Αδαμίδης κ.α., 2012).

Η παρούσα εργασία αποτελεί μέρος της μεταδιδακτορικής μου ερευνητικής εργασίας και μελετάει τις ψηφιακές εφαρμογές που χρησιμοποιούνται στη δασική πράξη. Παρουσιάζεται η υφιστάμενη κατάσταση στην περιοχή της Μακεδονίας και ταξινομούνται οι κρατικοί φορείς που έχουν ως αντικείμενο της άσκησης της δασοπονίας ανά Περιφερειακή Ενότητα σε δύο ομάδες ανάλογα με τον βαθμό εφαρμογής δασοπονίας ακριβείας.

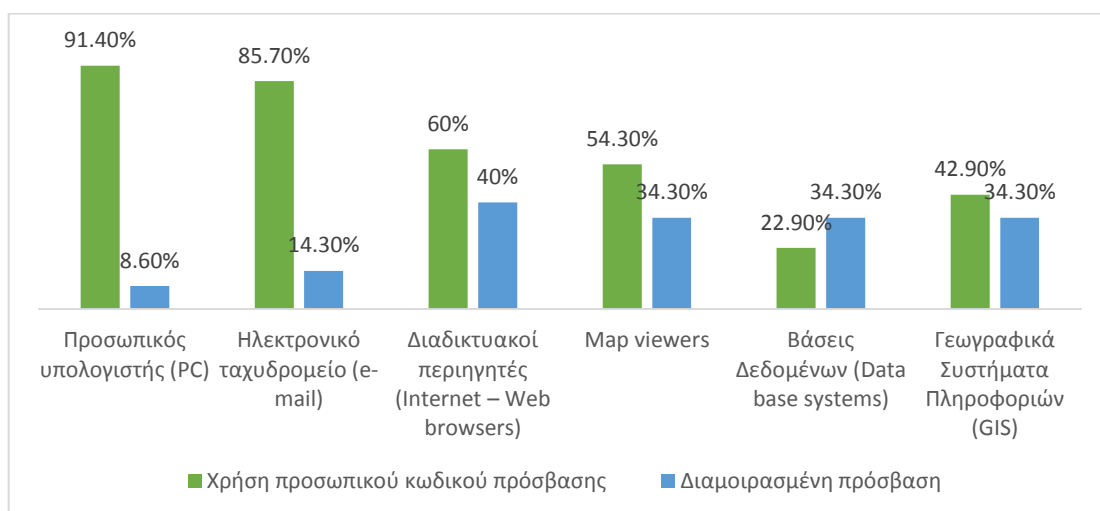
2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για την αποτύπωση της παρούσας κατάστασης, σχεδιάστηκε ερωτηματολόγιο το οποίο αναδεικνύει την κατά περίπτωση αξιοποίηση των ψηφιακών εφαρμογών που παρέχονται από τις νέες ΤΠΕ και ενισχύουν την αποτελεσματικότητα στη δασική πράξη στην περιοχή της Μακεδονίας. Κάθε φορέας συμπλήρωσε ένα ερωτηματολόγιο, το οποίο θεωρείται αντιπροσωπευτικό. Για την επεξεργασία των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πακέτο SPSS, στο οποίο έγινε περιγραφική στατιστική και ομαδοποίηση των αρμόδιων φορέων ανά Περιφερειακή Ενότητα σε δύο ομάδες ανάλογα με τον βαθμό εφαρμογής δασοπονίας ακριβείας με τη μέθοδο K-means.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Το ερωτηματολόγιο αποτελείται από 13 ερωτήματα και διαμοιράστηκε στους 35 αρμόδιους κρατικούς φορείς που ασχολούνται με την δασοπονία στη Μακεδονία (Διευθύνσεις Δασών, Δασαρχεία, Ινστιτούτο Δασικών Ερευνών – ΕΛΓΟ ΔΗΜΗΤΡΑ) κατά το χρονικό διάστημα Ιανουάριο 2020 – Δεκέμβριο 2020.

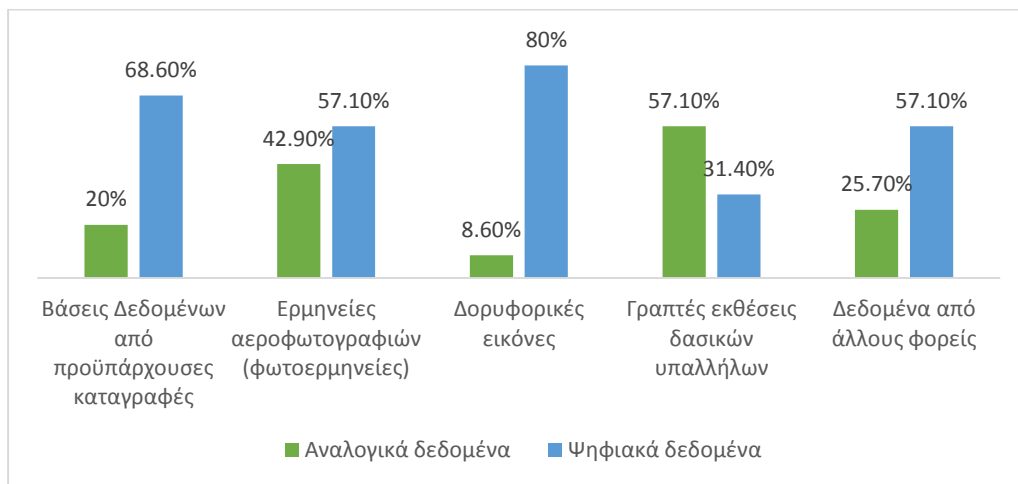
Στο Γράφημα 1 παρουσιάζεται το είδος πρόσβασης των δασικών υπαλλήλων στα πληροφοριακά συστήματα και πιο συγκεκριμένα στον προσωπικό υπολογιστή, στο ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, στους διαδικτυακούς περιηγητές, στους map viewers, στις Βάσεις Δεδομένων και στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η πρόσβαση πραγματοποιείται με τη χρήση προσωπικού κωδικού πρόσβασης, εκτός από την πρόσβαση στις Βάσεις Δεδομένων της υπηρεσίας, όπου παρέχεται διαμοιρασμένη πρόσβαση.



Γράφημα 1. Φορείς και είδος πρόσβασης σε πληροφοριακό εξοπλισμό

Σύμφωνα με το Γράφημα 2, οι κρατικοί φορείς χρησιμοποιούν περισσότερο Βάσεις

Δεδομένων, ερμηνείες αεροφωτογραφιών, δορυφορικές εικόνες και δεδομένα από άλλους φορείς σε ψηφιακή μορφή, ενώ οι περισσότερες γραπτές εκθέσεις δασικών υπαλλήλων που χρησιμοποιούνται είναι ακόμα σε έντυπη μορφή.



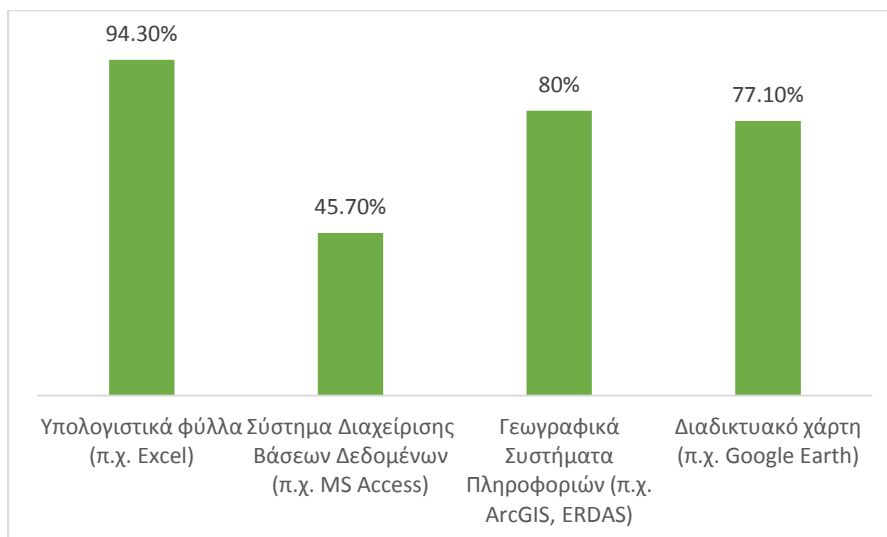
Γράφημα 2. Φορείς και πηγές δεδομένων που χρησιμοποιούν για τη συλλογή δεδομένων

Στο Γράφημα 3 παρουσιάζονται τα δεδομένα που συλλέγονται κατά την παρακολούθηση – αξιολόγηση - καταγραφή των συνθηκών του δάσους και παρουσιάζονται στις ετήσιες εκθέσεις.



Γράφημα 3. Φορείς και δεδομένα που συλλέγονται κατά την παρακολούθηση – αξιολόγηση - καταγραφή των συνθηκών του δάσους και παρουσιάζονται στις ετήσιες εκθέσεις.

Το Γράφημα 4 παρουσιάζει το λογισμικό που χρησιμοποιείται από τους αρμόδιους φορείς για τη διαχείριση Βάσεων Δεδομένων και την υποστήριξη στη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Σχεδόν όλοι οι φορείς χρησιμοποιούν τα υπολογιστικά φύλλα, τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και διαδικτυακούς χάρτες.



Γράφημα 4. Φορείς και κατηγορίες λογισμικού που χρησιμοποιούνται για τη διαχείριση Βάσεων Δεδομένων και την υποστήριξη στη διαδικασία λήψης αποφάσεων

Στον Πίνακα 1 εμφανίζεται η κατηγοριοποίηση των κρατικών φορέων που ασχολούνται με τη δασοπονία στην περιοχή της Μακεδονίας όσον αφορά την αξιοποίηση των ψηφιακών εφαρμογών με τη μέθοδο K-means. Η ομάδα που χαρακτηρίζεται από «Χαμηλό βαθμό εφαρμογής δασοπονίας ακριβείας» αποτελείται από 7 Περιφερειακές Ενότητες της Μακεδονίας και συνολικά από 17 διαφορετικούς φορείς ενώ η ομάδα που χαρακτηρίζεται από «Υψηλό βαθμό εφαρμογής δασοπονίας ακριβείας» αποτελείται από 6 Περιφερειακές Ενότητες της Μακεδονίας και συνολικά από 18 διαφορετικούς φορείς.

Πίνακας 1. Ομαδοποίηση κρατικών φορέων ανά νομό κατά συστάδες με τη μέθοδο K-means

α/α	Χαμηλός βαθμός εφαρμογής δασοπονίας ακριβείας	Υψηλός βαθμός εφαρμογής δασοπονίας ακριβείας
1	Π.Ε. Κιλκίς	Π.Ε. Θεσσαλονίκης
2	Π.Ε. Δράμας	Π.Ε. Σερρών
3	Π.Ε. Καβάλας	Π.Ε. Γρεβενών
4	Π.Ε. Ημαθίας	Π.Ε. Πέλλας
5	Π.Ε. Κοζάνης	Π.Ε. Χαλκιδικής
6	Π.Ε. Πιερίας	Π.Ε. Καστοριάς
7	Π.Ε. Φλώρινας	

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η επέκταση της αξιοποίησης των ευφυών υπηρεσιών, δράσεων και εφαρμογών πρέπει να βασιστεί στην εμπειρία των προηγούμενων προσπαθειών για αξιοποίηση των ΤΠΕ σε καθημερινές δασοπονικές δραστηριότητες, ώστε να αποφευχθούν τυχόν λάθη. Επίσης, ο εκσυγχρονισμός των συγκεκριμένων φορέων με την ενσωμάτωση των ΤΠΕ είναι απαραίτητο να έχει την αποδοχή και τη σύμφωνη γνώμη του προσωπικού και των ερευνητών, με τέτοιο τρόπο ώστε να συνεργαστούν αποτελεσματικά στην πορεία.

Οι περισσότεροι φορείς που ασχολούνται με τη δασοπονία στην πράξη, παρέχουν στους δασικούς υπαλλήλους πρόσβαση στα πληροφοριακά συστήματα με τη χρήση προσωπικού κωδικού πρόσβασης, εκτός από την πρόσβαση στις Βάσεις Δεδομένων της υπηρεσίας, όπου

παρέχεται διαμοιρασμένη πρόσβαση. Όσον αφορά τις πηγές δεδομένων που χρησιμοποιούν οι κρατικοί φορείς για τη συλλογή δεδομένων, αυτοί χρησιμοποιούν περισσότερο Βάσεις Δεδομένων, ερμηνείες αεροφωτογραφιών, δορυφορικές εικόνες και δεδομένα από άλλους φορείς σε ψηφιακή μορφή, ενώ οι περισσότερες γραπτές εκθέσεις δασικών υπαλλήλων που χρησιμοποιούνται είναι ακόμα σε έντυπη μορφή. Σχεδόν όλοι οι αρμόδιοι φορείς, κατά την παρακολούθηση – αξιολόγηση - καταγραφή των συνθηκών του δάσους, επεξεργάζονται δεδομένα σχετικά με την έκταση των δασικών εκτάσεων, τις παραγωγικές λειτουργίες του δάσους, τις περιβαλλοντικές – προστατευτικές και τις κοινωνικο-οικονομικές λειτουργίες του δάσους. Επίσης, σχεδόν όλοι οι αρμόδιοι φορείς χρησιμοποιούν τα υπολογιστικά φύλλα, τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και διαδικτυακούς χάρτες για τη διαχείριση Βάσεων Δεδομένων και την υποστήριξη στη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Τέλος, σύμφωνα με την ομαδοποίηση των δασικών υπηρεσιών στην περιοχή της Μακεδονίας σχετικά με την αξιοποίηση των ψηφιακών εφαρμογών σε δύο ομάδες, προκύπτει μια ομάδα με «Χαμηλό βαθμό εφαρμογής δασοπονίας ακριβείας» η οποία αποτελείται από 7 Περιφερειακές Ενότητες της Μακεδονίας (17 κρατικούς φορείς) και μια ομάδα με «Υψηλό βαθμό εφαρμογής δασοπονίας ακριβείας» που αποτελείται από 6 Περιφερειακές Ενότητες της Μακεδονίας (18 διαφορετικούς φορείς).

Η έρευνα συνεισφέρει σε μια ολοκληρωμένη εικόνα για το επίπεδο εφαρμογής της δασοπονίας ακριβείας από τους αρμόδιους κρατικούς φορείς στη Μακεδονία. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, απαιτείται αναβάθμιση στην τεχνολογική υποδομή των αρμόδιων κρατικών φορέων, καθώς αξιοποιούνται ελάχιστες εφαρμογές ΤΠΕ από τις ήδη υπάρχουσες και ενδεχομένως, θα μπορούσαν να τις χρησιμοποιούν συμπληρωματικά ώστε να πετύχουν τη βέλτιστη διαχείριση των δασών.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Αδαμίδης, Γ., Στυλιανού, Α., Κοσμάς, Π. και Αποστολόπουλος, Κ. (2012). Προσδιοριστικοί Παράγοντες της Χρήσης του Ηλεκτρονικού Υπολογιστή και της Χρήσης του Διαδικτύου στον Αγροτικό Πληθυσμό της Κύπρου. Πρακτικά 12ου Πανελληνίου Συνεδρίου Αγροτικής Οικονομίας Α.Π.Θ., Νοέμβριος, Θεσσαλονίκη (CD-ROM).
- Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας (2014). Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών. Προτεραιοποίηση Δράσεων του Τομέα σε σχέση με την επικείμενη Πρόσκληση Ενιαίας Δράσης Κρατικών Ενισχύσεων ΕΤΑΚ "Έρευνώ – Δημιουργώ – Καινοτομώ".
- Κολιούσκα, Χ. και Ανδρεοπούλου, Ζ. (2014). Η διαδικτυακή προβολή του Εθνικού Δρυμού Πρεσπών στα πλαίσια της τοπικής – περιφερειακής ανάπτυξης. 13ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αγροτικής Οικονομίας, Αθήνα. Νοέμβριος 2014
- Μαρινάκου, Λ. (2010). Η Χρήση των Νέων Τεχνολογιών στην Περιφερειακή Τουριστική Αειφόρο Ανάπτυξη ενόψει της Νέας Στρατηγικής «ΕΥΡΩΠΗ 2020». Πρακτικά 16ου Επιστημονικού Συνεδρίου του Συνδέσμου Ελλήνων Περιφερειολόγων, Η Περιφερειακή Διάσταση της Νέας Στρατηγικής Ευρώπη 2020, Αθήνα, σελ. 56-65.
- Μπούρας, Χ., Γεωργίου, Κ. και Μπάμης, Α. (2004). Ασύρματες Τεχνολογίες, Δίκτυα Δημόσιας Χρήσης και Διασύνδεση Δικτύων. Πανεπιστήμιο Πατρών, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής

Διεθνής Βιβλιογραφία

- Andreopoulou Z., Stiakakis E. and Vlachopoulou M. (2013) Green ICT Applications towards the Achievement of Sustainable Development. E-Innovation for Sustainable Development of Rural Resources during Global Economic Crisis. Andreopoulou Z., Samathrakis V., Louca S. and Vlachopoulou M., IGI Global, PA, USA, pp. 11-21.
- Eriksson, I. (2003). Working together for the Future of European Tourism. Final report of the "Mobile Services for Tourism" Working Group.
- Hall, L., Dunkelberger, J., Ferreira, W., Prevatt, J.W. and Martin, N. (2003). Diffusion-Adoption of Personal Computers and the Internet in Farm Business Decisions: Southeastern Beef and Peanut Farmers. Journal of Extension, Vol. 41, No. 3.

ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΓΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΕΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΟΥΣ ΑΝΘΕΚΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΑΕΙΦΟΡΟΥ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ ERASMUS+ VALOR

Γ. Μηλιώκας¹, Δ. Κ. Παπαναστασίου^{1,2}, Δ. Αντωνιάδης¹, Ν. Κατσούλας¹

¹Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, 38446, Βόλος, Ελλάδα
e-mail: dkpapan@uth.gr, nkatsoul@uth.gr

²Τμήμα Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, 41110, Λάρισα, Ελλάδα

Περίληψη

Το άρθρο αυτό παρουσιάζει συνοπτικά το πρόγραμμα σπουδών δύο εκπαιδευτικών προγραμμάτων διάρκειας 65 ωρών (επιπέδου ΕΠΠ 7 και 3) που θα παρέχονται από το VALOR (αξιοποίηση αρχέγονων καλλιεργητικών τεχνικών στην ανθεκτική και αειφόρο γεωργία / κτηνοτροφία), ένα έργο Erasmus+. Τα προγράμματα υποστηρίζουν τις προκλήσεις που αντιμετωπίζει ένας διαχειριστής και ένας τεχνικός ανθεκτικής και αειφόρου γεωργίας / κτηνοτροφίας. Το περιεχόμενο των προγραμμάτων σπουδών περιλαμβάνει πτυχές που σχετίζονται με την παραδοσιακή γεωργία / κτηνοτροφία, τα επίπεδα βιοασφάλειας, τη διαφύλαξη της πολιτιστικής και φυσικής κληρονομιάς, τον έγκαιρο εντοπισμό θεμάτων, τις επικοινωνιακές δεξιότητες, τα κοινωνικοοικονομικά οφέλη, την κοινωνική και διεθνή επιχειρηματικότητα στον αγροτικό τομέα. Τα προγράμματα θα είναι διαθέσιμα μέσω της πλατφόρμας e-class του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας σε εγγεγραμμένους εκπαιδευόμενους.

Λέξεις κλειδιά: Erasmus+, VALOR, Πρόγραμμα Σπουδών, Διαχειριστής, Τεχνικός, Επίπεδο ΕΠΠ

EDUCATIONAL COURSES FOR MANAGERS AND TECHNICIANS OF RESILIENT AND SUSTAINABLE AGRICULTURAL PRODUCTION OFFERED BY VALOR ERASMUS+ PROJECT

G. Miliokas¹, D. K. Papanastasiou^{1,2}, D. Antoniadis¹, N. Katsoulas¹

¹Laboratory of Agricultural Constructions and Environmental Control, Department of Agriculture Crop Production and Rural Environment, University of Thessaly, 38446, Volos, Greece
e-mail: dkpapan@uth.gr, nkatsoul@uth.gr

²Department of Environmental Sciences, University of Thessaly, 41110, Larissa, Greece

Abstract

This article presents in brief the curriculum of two 65-hour educational courses (EQF level 7 and 3) that will be offered by VALOR (valorisation of ancient farming techniques in resilient and sustainable agriculture), an Erasmus+ project. The courses support the challenges that a manager and a technician of resilient and sustainable farming is facing. The content of the curricula includes aspects related to traditional farming, biosecurity levels, safeguarding of cultural and natural heritage, early detection of issues, communication skills, socio-economic benefits, social and international entrepreneurship in agriculture. The courses will be available through the e-class platform of the University of Thessaly to registered trainees.

Keywords: Erasmus+, VALOR, Curriculum, Manager, Technician, EQF level

1. INTRODUCTION

The aim of this article is to present the curricula of two educational courses that are being developed in the frame of a project that is funded by Erasmus+ Programme. The full title of the project is “Valorisation of ancient farming techniques in resilient and sustainable agriculture” and its acronym is VALOR.

Erasmus+ is the EU’s programme that supports education, training, youth and sports in Europe. The 2021-2027 programme places a strong focus on social inclusion and promoting young people’s participation in democratic life. The strategic partnerships in the frame of the Erasmus+ programme concern the development and enhancement of transnational collaborations between stakeholders / organizations active in the field of education, training, youth or in another socio-economic fields. The Strategic Partnerships involve at least three organizations from three different countries participating in the programme.

VALOR project is built on the results of the project partners’ previous projects, to the scope of promoting the recovery, conservation and enhancement of the ancient local cultivation conditions. Basing on this awareness, the Alliance promotes the implementation of a compatible education model resulting in innovative curricula, to support quality and ancient tradition safeguarding production as core activity leading to resilience and sustainability. The consortium consists of 9 partners from 7 countries (Italy, Greece, Germany, Romania, Turkey, Spain, Cyprus). The work plan of VALOR project is formed by 6 Work Packages: WP1 (organizational arrangements and guidelines), WP2 (management and coordination), WP3 (design, creation and validation of the VALOR curricula), WP4 (quality monitoring), WP5 (evaluation and sustainability), WP6 (networking and dissemination). The development of the curricula is included in WP3.

2. METHODOLOGY

Two curricula are being developed in the frame of VALOR. The duration of each curriculum is 65 hours (63 hours learning material plus 2 hours for evaluation) that can be distributed in a 3-month period. Each curriculum consists of 7 Learning Modules (LMs), each one being developed by a project partner. The assignment of each LM to a partner was based on the expertise of the partners. The duration of each LM is 9 hours. The creation of the learning content of each LM is based on different kind of material (presentations, figures, videos, etc), authored/collected in digital format. Each LM will be divided in chapters (Learning Units, LUs). The material that will be developed by each partner will be reviewed by another project partner and the material will be revised accordingly. The material will be uploaded to the “e-class” online platform of the University of Thessaly (https://eclass.uth.gr/courses/AGR_U_204/ registered users will have access. First, the courses will be validated by selected trainees during a trial period and afterwards they will be released and offered to the general public.

3. DISCUSSION

3.1. General information about the VALOR curricula and their LMs

General information about the VALOR curricula is presented in Table 1. The title and a short description of the 7 LMs of each VALOR curriculum is presented in Table 2.

Table 1. General information about the VALOR curricula

Title	Content Highlights	EQF level
Manager of resilient and sustainable farming	Top-quality expert in resilient agricultural system	7
Technician of resilient and sustainable farming	Sustainability aware farmer, supporting farmers to increase their abilities to preserve, valorise and promote local traditional identities and economies	3

Table 2. General information about the LMs of each VALOR curriculum

Number	Title	Short Description
1	Traditional farming	Principle of responsible entrepreneurship and pillars of sustainability in resilient farming
2	Biosecurity level	Measures to monitor and raise the biosecurity levels of farming
3	Safeguarding cultural / natural heritage	Information about traditional farming oriented towards the safeguarding of cultural and natural heritage
4	Early detection of issues	Description of systems to be used for the early detection of issues in traditional farming
5	Communication skills	Literacy and communications: basic digital tools, basic sectorial English, basic online marketing
6	Socio-economic benefits	Socio-economic beneficial effects from traditional farming
7	Social and international entrepreneurship in agriculture	Familiar, social and international entrepreneurship in agriculture

3.2. Brief description of each LM

Below, a brief description of the LMs and their LUs is presented. Although the LMs and the LUs are common for the two curricula, their contents differ, being adapted to the qualifications desired for a Manager or a Technician of resilient and sustainable farming.

3.2.1. LM1

LM 1 will allow the trainees to understand agroecology, resilience, and biodiversity concepts and to improve their competences on environmental quality principles, methodologies and tools used to monitor and evaluate them. Finally, learners will have the opportunity to recognize resilient agriculture and farming in protected areas as a model of sustainable farming. LM1 includes 3 LUs: Agroecology, biodiversity, protected area and human activities (LU1), resilience and mountain agriculture (LU2), beekeeping and environment (LU3).

3.2.2. LM2

LM2 will provide the opportunity to the trainees to improve their competences on actions and measures that could be taken to detect biosecurity risks, prevent them and respond to

them. LM2 includes 7 LUs: Foundations of biosecurity (LU1), risk management (LU2), actions to detect biosecurity risks (LU3), measures to prevent biosecurity risks (LU4), response actions to biosecurity risk (LU5), hygiene protocols (LU6), food chains and protection (LU7).

3.2.3. LM3

LM3 will deal with the development of cultural landscapes and elements of cultural landscapes, and their social importance. Cultural landscapes not only have a high nature conservation value, but also an aesthetic and social value that must be preserved. Above all, it should be conveyed how this could be maintained permanently. LM3 includes 4 LUs: Cultural landscape (LU1), marketing of regional products (LU2), platforms for marketing of regional products (LU3), offers related to tourism in protected areas, as tools to enhance resilience (LU4).

3.2.4. LM4

LM4 will discuss the processes to detect stresses, diseases, or nutrition deficiencies in sustainable agriculture. It will present methods to analyze data in order to detect the above issues and to propose measures to address them, reducing in parallel the consumption of resources. LM4 includes 4 LUs: Introduction of precision agriculture use for early detection in agroecology (LU1), data capture (LU2), data processing (LU3), analysis and decision making (LU4).

3.2.5. LM5

LM5 will explore the concepts of communication and intercultural communication, together with the concepts of digital communication and online marketing. The trainees will have the opportunity to consolidate their English and digital competences that are essential for an effective intercultural communication and for the online marketing. LM5 includes 3 LUs: Communication and intercultural communication (LU1), online marketing (LU2), digital communication tools (LU3).

3.2.6. LM6

LM6 will describe the economic and social benefits while implementing ancient farming techniques for resilient and sustainable agriculture on small and medium sized farms, targeting farm managers, decision makers and stakeholders. LM6 includes 3 LUs: Social benefits (LU1), economic benefits (LU2), role of social and economic benefits in development and welfare (LU3).

3.2.7. LM7

LM7 will explore the concepts of traditional, social and international entrepreneurship. It will assist trainees to develop their own business idea and explore sustainability practices through networking. LM7 includes 8 LUs: The concept of social entrepreneurship (LU1), skills of a social entrepreneur (LU2), examples of social enterprises (LU3), grant schemes and international funding opportunities (LU4), branding (LU5), e-agriculture (LU6), business idea development (LU7), networking (LU8).

4. REFERENCES

https://ec.europa.eu/programmes/erasmus-plus/about_en

<https://www.iky.gr/>

<https://erasmus-valor.eu/>

https://eclass.uth.gr/courses/AGR_U_204/

All sites were last accessed on 15 September 2021.

ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΙΧΘΥΟΠΑΝΙΔΑ ΤΩΝ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ ΜΕ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΡΥΤΗΘΝ ΚΑΙ SQL

Κωνσταντινίδης Κ., Κοκκινάκης Α., Ανδρεοπούλου Ζ.

Τμήμα Δασολογίας και ΦΠ, ΑΠΘ

konstantini@for.auth.gr, akokkin@for.auth.gr, randreop@for.auth.gr

Περίληψη

Η εργασία αποσκοπεί αρχικά στην δημιουργία μιας Βάσης Δεδομένων των ελληνικών ειδών των ψαριών του γλυκού νερού και στην δημιουργία μίας εφαρμογής που θα προβάλλει και θα επεξεργάζεται αυτή την Βάση Δεδομένων. Για την ανάπτυξη της εφαρμογής χρησιμοποιήθηκε η γλώσσα προγραμματισμού Python για το γραφικό περιβάλλον διασύνδεσης (GUI) καθώς και η γλώσσα προγραμματισμού SQL για την επικοινωνία των αιτημάτων του χρήστη με τη Βάση Δεδομένων. Η Greek_Fish είναι μια Βάση Δεδομένων που περιέχει τα ελληνικά είδη ψαριών γλυκού νερού, με τα διάφορα χαρακτηριστικά τους και γενικές πληροφορίες για το κάθε είδος. Η άντληση πληροφοριών για τη δημιουργία της ήταν το Κόκκινο Βιβλίο των απειλούμενων ζώων της Ελλάδας καθώς και το βιβλίο «Freshwater fishes and lampreys of Greece». Αποτέλεσμα της εργασίας είναι η δημιουργία της Greek_Fish καθώς και η ανάπτυξη εφαρμογής που δημιουργεί και επεξεργάζεται Βάσεις Δεδομένων όπως την Greek_Fish.

Λέξεις Κλειδιά: Βάση Δεδομένων, Ανάπτυξη εφαρμογής, Ιχθυοπανίδα, Python, SQL

DATABASE FOR THE INLAND WATER FISH FAUNA OF GREECE USING PYTHON AND SQL

Konstantinidis K., Kokkinakis A., Andreopoulou Z.

Forestry and Natural Environment Department, AUTH

konstantini@for.auth.gr, akokkin@for.auth.gr, randreop@for.auth.gr

Abstract

The thesis aims to create a Greek species of freshwater Database and also create an application that will display and process this Database. The Python and SQL languages were used to develop the application, Python for the graphical user interface (GUI) and SQL for the communication of the users requests with the Database. Greek_Fish is a Database that contains Greek freshwater fish species, with characteristics and general information for each species. The extraction of information for its creation was the Red Book of endangered species of Greece and the βιβλίο «Freshwater fishes and lampreys of Greece». The result of this thesis is the creation of the Greek_Fish Database as well as application development that creates and processes Databases such as Greek_Fish.

Keywords: Database, Software Development, Fish fauna, Python, SQL

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εργασία έχει ως σκοπό την δημιουργία μίας Βάσης Δεδομένων που θα εμπεριέχει όλα τα ελληνικά είδη ψαριών του γλυκού νερού, καθώς και η δημιουργία μίας εφαρμογής που διαχειρίζεται την Βάση Δεδομένων με τις γλώσσες προγραμματισμού Python και SQL. Η καταχώριση δεδομένων σε οποιαδήποτε μορφή αποτελεί τεράστιο κομμάτι της καθημερινότητας του ανθρώπου, ειδικά μετά την ανάπτυξη των Η/Υ (Brookshear, 2009). Οι Βάσεις Δεδομένων προσφέρουν ένα οργανωμένο σύνολο από εγγραφές που σχετίζονται μεταξύ τους, ώστε να μπορούν να χρησιμοποιούνται από πολλές εφαρμογές και από πολλούς χρήστες ταυτόχρονα. Και στην περίπτωση μας να αποτελέσει το μέσο για άμεση άντληση πληροφοριών όσων αφορά τα ελληνικά είδη ψαριών του γλυκού νερού. Η τωρινή μορφή της Greek_Fish δεν αποτελεί την τελική μορφή της ΒΔ, καθώς κάθε ΒΔ πρέπει να ανανεώνεται ώστε να παραμένει έγκυρη για να αποτελεί και χρήσιμη.

Μία ΒΔ είναι ένα οργανωμένο σύνολο πεδίων δεδομένων, λογικά συνδεδεμένων μεταξύ τους, που παρέχουν δεδομένα σε πολλά προγράμματα και χρήστες ταυτόχρονα, δεν εξαρτώνται από κάποια εφαρμογή και γίνεται κοινή αποθήκευση σε λογικό επίπεδο (οpencourses Ανδρεοπούλου 2021). Οι τρεις βασικότεροι όροι των βάσεων δεδομένων είναι τα **πεδία** (field), που είναι η θέση αποθήκευσης κάθε τμήματος, οι **εγγραφές** (record) που είναι μια πλήρης ομάδα από πεδία, δηλαδή, όλα τα συναφή δεδομένα σχετικά με ένα άτομο ή ένα αντικείμενο και οι **πίνακες** (table) που είναι μία πλήρης συλλογή από εγγραφές (Norton, 2012).

Βασική επιδίωξη, κατά το σχεδιασμό μιας βάσης δεδομένων είναι να αποθηκευτούν τα δεδομένα κατά τέτοιο τρόπο ώστε αφενός μεν να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μεγάλο εύρος εφαρμογών, αφετέρου δε η εναλλαγή των χρηστών να μην αλλάζει τη βάση δεδομένων και αυτό έχει εφαρμοσθεί με επιτυχία σε περιβαλλοντικές ΒΔ (Andreοουλου and Kokkinakis, 2009, Panitsidis et.al., 2017, Kokkinakis et.al., 2019). Παράλληλα, η συνεχής εναλλαγή των χρηστών είναι απαραίτητο να γίνεται εύκολα και γρήγορα (Ανδρεοπούλου, 2000, Ανδρεοπούλου, 2008). Ένας αποτελεσματικός, γρήγορος, όσο και οικονομικός τρόπος απόκτησης των απαιτούμενων πληροφοριών είναι η πρόσβαση στα ανάλογα πληροφοριακά συστήματα βάσεων δεδομένων, τα οποία διαθέτουν τα στοιχεία αυτά (Andreοουλου 2007).

Η διαχείριση των βάσεων δεδομένων γίνεται από τα συστήματα διαχείρισης βάσεων δεδομένων (ΣΔΒΔ, DBMS), τα οποία είναι εργαλεία με σκοπό οι χρήστες να διαχειρίζονται τη βάση δεδομένων, δηλαδή, να εισάγουν/διαγράφουν δεδομένα, να επεξεργάζονται και να αναζητούν δεδομένα (οopencourses Ανδρεοπούλου 2021). Οι εταιρίες και οι επιχειρήσεις εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τα ΣΔΒΜ διότι βρίσκονται απέναντι σε ένα τεράστιο όγκο δεδομένων που χρειάζεται διαχείριση. Οι εργασίες διαχείρισης δεδομένων εμπίπτουν σε μία από τις τέσσερις γενικές κατηγορίες, εισαγωγή δεδομένων στη βάση δεδομένων, εργασίες τακτοποίησης, όπως ενημέρωση δεδομένων, διαγραφή παλαιών εγγραφών και δημιουργία λήψη αντιγράφων ασφαλείας της βάσης δεδομένων, ταξινόμηση των δεδομένων-δηλαδή, διευθέτηση ή αναδιάταξη των εγγραφών της βάσης δεδομένων και λήψη υποομάδων δεδομένων (Norton, 2012).

2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ

Όλα τα δεδομένα είναι αντλημένα από το βιβλίο «Freshwater fishes and lampreys of Greece», καθώς και πληροφορίες χρησιμοποιήθηκαν από το κόκκινο βιβλίο των απειλούμενων ζώων της Ελλάδας, για το οποίο θα υπάρξουν περισσότερες λεπτομέρειες παρακάτω (Λεγάκις κι Μαραγκού, 2009, Barbieri et al., 2015, IUCN, 2021). Επίσης, η

δημιουργία της εφαρμογής δεν έχει μόνο σκοπό την προβολή μόνο των εγγραφών της Βάσης Δεδομένων της εργασίας, αλλά δίνει την δυνατότητα δημιουργίας μίας νέας Βάσης Δεδομένων από τον χρήστη. Οπότε η εφαρμογή είναι γενικού σκοπού και είναι εργαλείο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κοινή χρήση.

2.1 Το κόκκινο βιβλίο των απειλούμενων ζώων της Ελλάδας

Μέλημα του Κόκκινου βιβλίου των απειλούμενων ζώων της Ελλάδας είναι να καταγράψει την κατάσταση διατήρησης των ειδών της ελληνικής πανίδας, να εντοπίσει και να χαρακτηρίσει τα είδη που απειλούνται με εξαφάνιση καθώς και τους παράγοντες και τις κυριότερες απειλές τους, και να επισημάνει τα αναγκαία μέτρα για την προστασία τους. Κατά το Κόκκινο βιβλίο των απειλούμενων ζώων της Ελλάδας (σελ. 21): «Η αξιολόγηση των ειδών και η ανάπτυξη του Κόκκινου Καταλόγου ή του Κόκκινου Βιβλίου για τα ζώα της Ελλάδας βασίζεται στο σύστημα που έχει εγκαθιδρύσει η IUCN (Διεθνής Ένωση για τη Διατήρηση της Φύσης). Πρόκειται για μια διαδικασία αξιολόγησής και τεκμηρίωσης της κατάστασης των ειδών, που καταλήγει στην ιεραρχική τους κατάταξη, ώστε να εντοπίζονται τα είδη εκείνα που διατρέχουν το μεγαλύτερο κίνδυνο εξαφάνισης στο φυσικό τους περιβάλλον (είδη κρισίμως κινδυνεύοντα, κινδυνεύοντα, και τρωτά) και να προωθηθεί η ανάγκη προστασίας τους. Κατά τη διαδικασία αξιολόγησής τους, τα είδη εξετάζονται με βάση καθορισμένα κριτήρια και εντάσσονται σε συγκεκριμένες κατηγορίες. Οι 7 διαφορετικές κατηγορίες που χρησιμοποιούνται αντιστοιχούν στη σχετική εκτίμηση της πιθανότητας εξαφάνισης ενός είδους, ή ακόμη και του υποπληθισμού ενός είδους όταν πρόκειται για αξιολογήσεις σε εθνικό ή περιφερειακό (μεσογειακό, ευρωπαϊκό) επίπεδο, και άρα είναι ένα εργαλείο στη διαδικασία επιλογής ειδών για τα οποία υπάρχει μεγαλύτερη ανάγκη να υιοθετηθούν μέτρα διατήρησης» (Λεγάκης, Α., Μαραγκού, Π. 2009).

- **ΕΚΛΙΠΟΝΤΑ – EXTINCT (EX):** Τάξα αδιαμφισβήτητα εξαφανισμένα (έχει πεθάνει και το τελευταίο άτομο).

- **ΕΚΛΙΠΟΝΤΑ ΣΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΤΟΥΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ-EXTINCT IN THE WILD (EW):** Τάξα που είναι γνωστό ότι υπάρχουν μόνο σε καλλιέργειες, σε αιχμαλωσία ή απελευθερωμένα μακριά από την αρχική τους περιοχή εξάπλωσης.

- **ΤΟΠΙΚΑ ΕΚΛΙΠΟΝΤΑ - REGIONALLY EXTINCT (RE):** Κατηγορία που χρησιμοποιείται στις περιφερειακές ή εθνικές αξιολογήσεις και αφορά είδη που έχουν εξαφανιστεί.

- **ΚΡΙΣΙΜΩΣ ΚΙΝΔΥΝΕΥΟΝΤΑ - CRITICALLY ENDANGERED (CR):** Τάξα που αντιμετωπίζουν εξαιρετικά υψηλό κίνδυνο εξαφάνισης από το φυσικό τους χώρο στο άμεσο μέλλον.

- **ΚΙΝΔΥΝΕΥΟΝΤΑ - ENDANGERED (EN):** Τα τάξα αυτά δεν είναι Κρισίμως Κινδυνεύοντα, αντιμετωπίζουν όμως πολύ υψηλό κίνδυνο εξαφάνισης στο φυσικό τους περιβάλλον στο άμεσο μέλλον.

- **ΤΡΩΤΑ - VULNERABLE (VU):** Τάξα που δεν εντάσσονται στις παραπάνω κατηγορίες αλλά αντιμετωπίζουν υψηλό κίνδυνο εξαφάνισης στο μεσοπρόθεσμο μέλλον.

- **ΣΧΕΔΟΝ ΑΠΕΙΛΟΥΜΕΝΑ - NEAR THREATENED (NT):** Τάξα που έχει εκτιμηθεί ότι δεν ανήκουν σε μια από τις τρεις προηγούμενες κατηγορίες κινδύνου, είναι ωστόσο κοντά στο να πληρούν τα σχετικά κριτήρια και άρα είναι πιθανό να ενταχθούν σε αυτές στο άμεσο μέλλον.

- **ΜΕΙΩΜΕΝΟΥ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ - LEAST CONCERN (LC):** Τάξα που έχει εκτιμηθεί ότι δεν ανήκουν στις κατηγορίες Κρισίμως Κινδυνεύοντα, Κινδυνεύοντα, Τρωτά ή Σχεδόν Απειλούμενα. Συνήθως είναι σχετικά κοινά ή ευρέως διαδεδομένα είδη.

• **ΑΝΕΠΑΡΚΩΣ ΓΝΩΣΤΑ - DATA DEFICIENT (DD):** Τάξα για τα οποία δεν υπάρχουν επαρκή δεδομένα ώστε να αξιολογηθεί η κατάστασή τους με βάση την εξάπλωσή τους ή και την κατάσταση των πληθυσμών τους.

• **ΜΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΘΕΝΤΑ - NOT EVALUATED (NE):** Τάξα που δεν έχουν ακόμη εκτιμηθεί ως προς τα προηγούμενα κριτήρια. (Λεγάκις, Α., Μαραγκού, Π. 2009).

Το συγκεκριμένο βιβλίο παρέχει μια πλήρη λίστα των ειδών των ψαριών των γλυκών νερών της Ελλάδας με τελευταία δεδομένα μέχρι τον Δεκέμβριο του 2014. «Ο στόχος του βιβλίου είναι η δημιουργία μίας επίσης λίστας που θα ενημερώνεται τακτικά και θα αναθεωρείται από επιτροπή εμπειρογνώμων. Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει αξιοσημείωτες αλλαγές όσον αφορά τα ονόματα των ψαριών και την ταξινόμησή τους. Η λίστα του βιβλίου παρέχει πληροφορίες για την ταξινόμηση, κατανομή, οικότοπο και κατάσταση των ειδών καθώς και παρέχει και ειδικές πληροφορίες για το κάθε είδος. Επίσης οι συγγραφείς αναφέρουν, η λίστα βασίζεται στην προσέγγιση που ανέπτυξαν οι ερευνητές του Ελληνικού Κέντρου Ναυτιλίας Έρευνα (ΗΜCR), η οποία ακολουθεί την ταξινόμηση των ψαριών και τα βιογεωγραφικά μοτίβα τις τελευταίες δύο δεκαετίες.» (Barbieri R. et. Al 2015)

Η λίστα του βιβλίου χρησιμοποιεί τα προφίλ των ψαριών, το οποίο αποτελείται από τα χαρακτηριστικά του. Τα χαρακτηριστικά είναι τα εξής: λατινική ονομασία, όνομα ερευνητών, κοινή αγγλική και ελληνική ονομασία, εύρος εμφάνισης (Ενδημικά κ.ά.), γενικές πληροφορίες του είδους, γενικές πληροφορίες του είδους, IUCN Red list status, Greek Red list, οικοπεριοχή, οδηγία για τους οικοτόπους (92/43/ΕΟΚ).

2.3 Λογισμικό για την ανάπτυξη της εφαρμογής

Για την ανάπτυξη του λογισμικού αξιοποιήθηκε η γλώσσα προγραμματισμού Python. Η Python είναι μια ερμηνευμένη, διαδραστική, αντικειμενοστραφής γλώσσα προγραμματισμού. Περιλαμβάνει ενότητες, εξαιρέσεις, δυναμική πληκτρολόγηση, πολύ υψηλού επιπέδου δυναμικούς τύπους δεδομένων και κλάσεις. Υποστηρίζει πολλαπλά παραδείγματα προγραμματισμού πέρα από τον αντικειμενοστραφή προγραμματισμό, όπως διαδικαστικό και λειτουργικό προγραμματισμό. Η Python συνδυάζει αξιοσημείωτη ισχύ με πολύ σαφή σύνταξη. Έχει διασυνδέσεις σε πολλές κλήσεις συστήματος και βιβλιοθήκες, καθώς και σε διάφορα συστήματα παραθύρων, και είναι επεκτάσιμο σε C ή C ++.» (Python.org 2021).

Για την δημιουργία της εφαρμογής για την προβολή και επεξεργασία της βάσης δεδομένων χρησιμοποιήθηκε η γλώσσα SQL. Αυτή είναι που διαχειρίζεται τα αιτήματα και γενικά την επικοινωνία της γραφικής διεπαφής της εφαρμογής (GUI) με την βάση δεδομένων. Η SQL χρησιμοποιείται εκτενώς παγκοσμίως σε μεγάλη κλίμακα. Ένα χαρακτηριστικό της SQL που την οδήγησε σε αυτή την ευρεία επιτυχία της ήταν η απλότητά της. Η SQL δεν χρησιμοποιεί πολλά σύμβολα καθώς και οι εντολές είναι ευδιάκριτες και μπορεί κάποιος εύκολα να καταλάβει τον σκοπό μιας εντολής, σε αντίθεση με γλώσσες όπως η C, που βέβαια έχουν άλλα προτερήματα (Λουκοπουλος και Θεοδωρίδης, 2015).

Για ανάπτυξη της εφαρμογής χρησιμοποιήθηκαν και διαμόρφωσαν την τελική μορφή της εφαρμογής τα εξής λογισμικά:

- PyCharm community edition: Δωρεάν IDE για τη γλώσσα python
- VIM: Δωρεάν λογισμικό επεξεργασίας κειμένου και IDE
- DBeaver: Δωρεάν λογισμικό ανοιχτού κώδικα για διαχείριση Βάσεων Δεδομένων και SQL client
- Έκδοση 3.7.7 της Python

2.4 Ανάλυση της Βάσης Δεδομένων Greek_Fish

Η βάση δεδομένων της εργασίας δημιουργήθηκε με ένα ενιαίο πίνακα με όνομα Greek_Fish και με πρωτεύων κλειδί, το id που χρησιμοποιεί η SQLite για τον διαχωρισμό της κάθε εγγραφής. Με το id γίνεται η ταυτοποίηση και στη συνέχεια η επεξεργασία/διαχείριση της κάθε εγγραφής. Θα μπορούσε κανείς να πει πως η δημιουργία ενός πίνακα θα σήμαινε πως η Βάση Δεδομένων της εργασίας έχει τη flat-file δομή, όμως κάτι τέτοιο δεν είναι σωστό γιατί με τη χρήση της SQL και της μορφής της εφαρμογής, επιτρέπει τον χρήστη να δημιουργήσει και άλλο πίνακα που θα χρησιμοποιεί τα δεδομένα του πίνακα Greek_Fish σε σχεσιακό επίπεδο.

2.4.1 Οι στήλες της Βάσης Δεδομένων

Λατινικό_Όνομα, Οικογένεια, Αγγλικό_Όνομα, Ελληνικό_Όνομα, Όνομα_κατά_Οικονομίδη_1991, Όνομα_Από, IUCN_Red_List_Status, Greek_Red_List, Habitats_Directive, Ecoregion

Αυτά είναι τα χαρακτηριστικά των εγγραφών που χρησιμοποιεί η ΒΔ. Τα δεδομένα, όπως προαναφέρθηκε είναι παρμένα από το βιβλίο «Freshwater fishes and lampreys of Greece».

2.4.2 Στιγμιότυπα από τη Βάση Δεδομένων Greek_Fish

The screenshot displays a database viewer interface for the 'Greek_Fish' table. It includes a search and filter panel on the left, a table view of the data, and a detailed view of the table structure.

Λατινικό_Όνομα	Οικογένεια	Αγγλικό_Όνομα	Ελληνικό_Όνομα	Όνομα_κατά_Οικονομίδη_1991	IUCN_Red_List_Status
Caspiomyzon hellenicus	Petromyzontidae	Greek brook lamprey	Ελληνικό γαβόγχο	Eudontomyzon hellenicus	LC
Caspiomyzon gaeus	Petromyzontidae	Epius brook lamprey	Γαβόγχο Ηπείρου	Eudontomyzon hellenicus	[LC]
Eudontomyzon sp. Almoepes	Petromyzontidae	Almoepes brook lamprey	Γαβόγχο Αλμοπέου	not listed	DD
Petromyzon marinus	Petromyzontidae	Atlantic sea lamprey	Θαλάσσιο Πετρόμυζον	same	LC
Acipenser gueldenstaedtii	Acipenseridae	Russian sturgeon	Οξύργχος Δούναβη	not listed	LC
Acipenser naccarii	Acipenseridae	Adriatic sturgeon	Οξύργχος Αδριατικής	same	[LC]
Acipenser stellatus	Acipenseridae	Stellate sturgeon	Αστροζυφύχι	same	[LC]
Acipenser sturio	Acipenseridae	Atlantic sturgeon	Ευρωπαϊκός οξύργχος	same	[LC]
Huso huso	Acipenseridae	Beluga	Μουρούνα	same	-
Anguilla anguilla	Anguillidae	European eel	ΐδρι	same	-
Alosa fallax	Clupeidae	Twaite shad	Σαρδάλινα	same (1 subspecies: A.f. nilotica)	-
Alosa macedonica	Clupeidae	Macedonian shad	Αιτωλιά	Alosa (Caspiatosa) macedonica	-
Alosa vistonica	Clupeidae	Thracian shad	Θρήσα	Alosa (Caspiatosa) caspia vistonica	-
Abramis brama	Cyprinidae	Common bream	Λεστιά	same	-
Alburnoides bipunctatus	Cyprinidae	European spirlin	Ευρωπαϊκό τριφυλάκι	same(2 subspecies:..ohridanus, not listed	-
Alburnoides prespensis	Cyprinidae	Prespa spirlin	Τριφυλάκι Πρεσπών	not listed	-
Alburnoides strymonicus	Cyprinidae	Strymon spirlin	Τριφυλάκι Στρυμόνα	listed as subspecies A.b. strymon	-
Alburnus alburnus	Cyprinidae	European bleak	Ευρωπαϊκό σίρκο	same (3 subspecies: A.a. macedo	-
Alburnus belvica	Cyprinidae	Prespa bleak	Μπελοτσάρκι	Chalcalburnus belvica	-
Alburnus macedonicus	Cyprinidae	Doran bleak	Σίρκο Δοράνης	listed as subspecies Alburnus alt	-

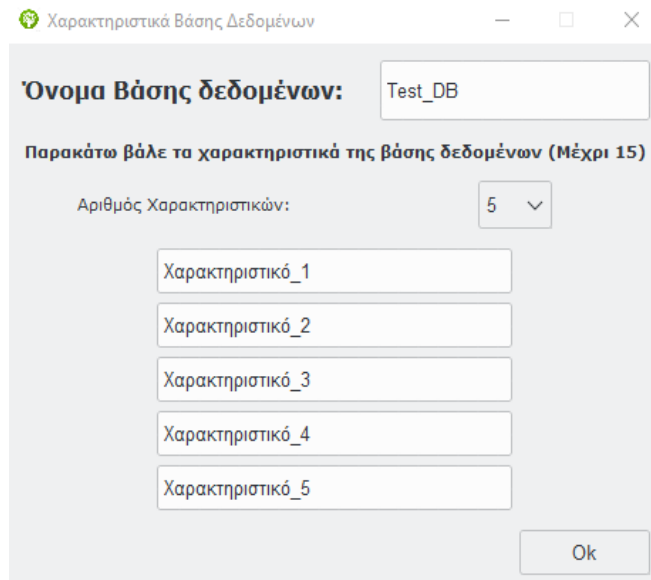
μίδη_1991	Όνομα_από	IUCN_Red_List_Status	Greek_Red_List	Habitats_Directive	Ecoregion
	Stoumboudi, Kottelat & Barbieri, 1991	LC	CR	N	7
	(Lesueur, 1819)	[LC]	-	[N]	-
	Garman, 1890	DD	LC	Y	5
	Linnaeus, 1758	LC	LC	N	1,2,(4)
	Linnaeus, 1758	LC	LC	N	1,2
	lavaretus (Linnaeus, 1758)	[VU]	-	[N]	-
	(Walbaum, 1792)	-	-	[N]	-
	(Walbaum, 1792)	-	-	[N]	-
S. trutta ma	Karaman, 1938	-	VU	Y-CTC	5
	(Karaman, 1924)	[DD]	-	[N]	-
S. trutta ma	Delling, 2011	-	EN	Y-CTC	5
S. trutta ma	(Karaman, 1924)	DD	DD	Y-CTC	1,2
S. trutta pel	Karaman, 1938	VU	VU	Y-CTC	2
S. trutta per	Karaman, 1938	EN	EN	Y-CTC	3
	Linnaeus, 1758	[LC]	-	[N]	-
	(Mitchill, 1814)	-	-	N	-
	(Risso, 1810)	LC	LC	N	1,2,4,5,6,7
	(Temminck & Schlegel, 1845)	-	-	N	-
	(Risso, 1827)	LC	LC	N	1,2,4,5,6,7
	(Risso, 1827)	LC	LC	N	1,2,4,5,6,7

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

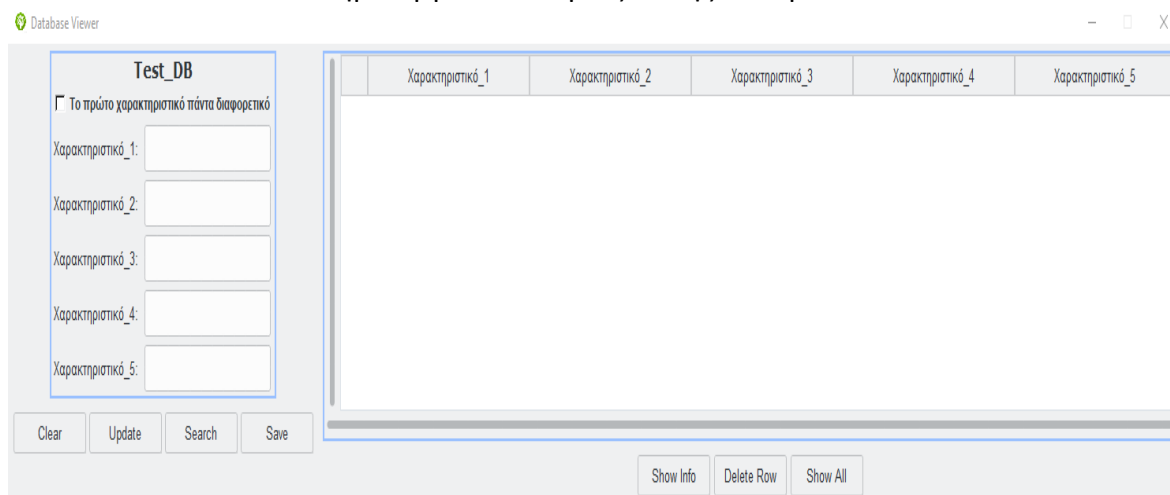
Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει η ανάλυση της εφαρμογής που δημιουργήθηκε, τα χαρακτηριστικά της και η λειτουργικότητά της. Ο κύριος σκοπός της εφαρμογής είναι η προβολή και η επεξεργασία της ΒΔ της εργασίας, οπότε οι λειτουργίες της αποσκοπούν να ικανοποιήσουν τις ανάγκες της ΒΔ Greek_Fish, αλλά άλλος σκοπός χαμηλότερης προτεραιότητας είναι να δώσει στον χρήστη την δυνατότητα να δημιουργήσει μία νέα ΒΔ με παρόμοιες λειτουργικές ανάγκες όπως την Greek_Fish.

3.1 Δημιουργία/Εισαγωγή αρχείου .db

Με την εκτέλεση του προγράμματος εμφανίζεται το αρχικό παράθυρο της εφαρμογής που ζητάει από τον χρήστη τι ενέργειες θα κάνει, είτε να διαβάσει ένα υπάρχον αρχείο, είτε να δημιουργήσει ένα, είτε να τερματιστεί η εφαρμογή. Τα αρχεία που επεξεργάζεται η εφαρμογή είναι αρχεία της μορφής .db, αρχεία τα οποία διαχειρίζεται η γλώσσα SQL. Τα αρχεία αυτά δεν είναι κλειδωμένα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν από οποιοδήποτε άλλο λογισμικό.



Δημιουργία καινούριας Βάσης Δεδομένων



Κύριο παράθυρο της Test_DB

3.2 Κύριο παράθυρο

Το κύριο παράθυρο της εφαρμογής χωρίζεται σε 2 κομμάτια. Το πρώτο (αριστερά) κομμάτι έχει να κάνει με την εισαγωγή εγγραφών στην ΒΔ . Αναλύοντας το κομμάτι αυτό από πάνω προς τα κάτω, στην αρχή βρίσκεται το όνομα του πίνακα και ακολουθεί ένα checkbox που όταν είναι ενεργοποιημένο, αφού ο χρήστης ορίσει το πρώτο χαρακτηριστικό της εγγραφής, το πρόγραμμα ελέγχει αν υπάρχει και άλλη εγγραφή με την ίδια ιδιότητα και αποτρέπει τον χρήστη να εισάγει αυτή την εγγραφή. Αυτό είναι χρήσιμο σε περιπτώσεις όπως της ΒΔ Greek_Fish, για την αποφυγή δημιουργίας διαφορετικών εγγραφών για το ίδιο είδος.

Greek_Fish

Το πρώτο χαρακτηριστικό πάντα διαφορετικό

Λατινικό_Όνομα:

Οικογένεια:

Αγγλικό_Όνομα:

Ελληνικό_Όνομα:

Όνομα_κατά_Οικονομίδη_1991:

Όνομα_από:

IUCN_Red_List_Status:

Greek_Red_List:

Habitats_Directive:

Ecoregion:

Κομμάτι εισαγωγής εγγραφών

Πιο κάτω βρίσκονται οι στήλες της ΒΔ και δίπλα τους υπάρχουν κενά για την εισαγωγή των ιδιοτήτων των εγγραφών και κάτω από αυτά υπάρχουν πλήκτρα για την διαχείριση των εγγραφών και των κενών εισαγωγής κειμένου.

- Το Clear καθαρίζει όλα τα κενά από τις εισαγωγές του χρήστη.
- Το Update αφήνει τον χρήστη να αλλάξει τις ιδιότητες της εγγραφής χωρίς να δημιουργείτε καινούρια εγγραφή.
- Το Search αναζητεί στην ΒΔ εάν τα από τις ιδιότητες στις στήλες της ΒΔ υπάρχει κάποια εγγραφή με αυτά τα χαρακτηριστικά.
- Το Save δημιουργεί μία καινούρια εγγραφή.

Στο δεξί μέρος της εφαρμογής υπάρχει ένα treeview που εμφανίζει τις εγγραφές της ΒΔ και τα αποτελέσματα των αναζητήσεων του χρήστη.

	Λατινικό_Όνομα	Οικογένεια	Αγγλικό_Όνομα	Ελληνικό_Όνομα	Όνομα_κατά_Οικονομίδη_1991	
1	Caspiomyzon hellenicus	Petromyzontidae	Greek brook lamprey	Ελληνικό γκαβόχελο	Eudontomyzon hellenicus	Vladyk
2	Caspiomyzon graecus	Petromyzontidae	Epirus brook lamprey	Γκαβόχελο Ηπείρου	Eudontomyzon hellenicus	Ren
3	Eudontomyzon sp. Almopeos	Petromyzontidae	Almopeos brook lamprey	Γκαβόχελο Αλμοπείου	not listed	
4	Petromyzon marinus	Petromyzontidae	Atlantic sea lamprey	Θαλάσσιο Πετρόμυζον	same	
5	Acipenser gueldenstaedtii	Acipenseridae	Russian sturgeon	Οξύρυγχος Δούναβη	not listed	Br
6	Acipenser naccarii	Acipenseridae	Adriatic sturgeon	Οξύρυγχος Αδριατικής	same	
7	Acipenser stellatus	Acipenseridae	Stellate sturgeon	Αστροξύριχο	same	
8	Acipenser sturio	Acipenseridae	Atlantic sturgeon	Ευρωπαϊκός οξύρυγχος	same	
9	Huso huso	Acipenseridae	Beluga	Μουρούνα	same	
10	Anguilla anguilla	Anguillidae	European eel	Χέλι	same	
11	Alosa fallax	Clupeidae	Twait shad	Σαρδελομάνα	same (1 subspecies: A.f. nilotica)	
12	Alosa macedonica	Clupeidae	Macedonian shad	Λιπαριά	Alosa (Caspiatosa) macedonica	
13	Alosa vistonica	Clupeidae	Thracian shad	Θρίσα	Alosa (Caspiatosa) caspia vistonica	Ec
14	Abramis brama	Cyprinidae	Common bream	Λεστιά	same	
15	Alburnoides bipunctatus	Cyprinidae	European spirin	Ευρωπαϊκό τσιρώνάκι	same(2 subspecies: b.ohridanus, not listed	
16	Alburnoides prespensis	Cyprinidae	Prespa spirin	Τσιρώνάκι Πρεσπών	not listed	
17	Alburnoides strymonicus	Cyprinidae	Strymon spirin	Τσιρώνάκι Στρυμόνα	listed as subspecies A.b. strymo	
18	Alburnus alburnus	Cyprinidae	European bleak	Ευρωπαϊκό σίρκο	same (3 subspecies:A.a.macedo	
19	Alburnus belvica	Cyprinidae	Prespa bleak	Μπελοσπίρι	Chalcalburnus belvica	
20	Alburnus macedonicus	Cyprinidae	Doiran bleak	Σίρκο Δοιράνης	listed as subspecies Alburnus alt	

Treeview της Greek_Fish

- Το Show Info δημιουργεί ένα παράθυρο με τις πληροφορίες της επιλεγμένης εγγραφής στο οποίο μπορεί να γίνει και επεξεργασία.
- Το Delete Row διαγράφει τις επιλεγμένες εγγραφές.
- Το πλήκτρο Show All εμφανίζει στο Treeview όλες τις εγγραφές της ΒΔ

3.3 Εισαγωγή, επεξεργασία και διαγραφή εγγραφών

Για την εισαγωγή των εγγραφών, υπάρχει ένα κομμάτι της εφαρμογή που δέχεται χαρακτηριστικά από τον χρήστη και με το πλήκτρο save αποθηκεύει την εγγραφή στην ΒΔ. Η καινούρια εγγραφή παίρνει το δικό της id key και εισάγεται στην ΒΔ. Δεν είναι υποχρεωτικό να είναι πλήρη όλα τα χαρακτηριστικά, καθώς δίνεται και η δυνατότητα επεξεργασίας της εγγραφής και εισαγωγή καινούριων/διαφορετικών χαρακτηριστικών.

Όσον αφορά την επεξεργασία των εγγραφών, ο χρήστης επιλέγει με διπλό αριστερό κλικ στο treeview της εφαρμογής την εγγραφή που θέλει να επεξεργαστεί. Αυτή εμφανίζεται στο κομμάτι εισαγωγής των εγγραφών και από κει πραγματοποιεί τις αλλαγές. Έπειτα πατάει το πλήκτρο Update και η επεξεργασμένη εγγραφή αποθηκεύεται και εμφανίζεται στο treeview. Η διαγραφή εγγραφών γίνεται με επιλογή τους πάνω στο treeview και με το πλήκτρο Delete Row.

Για την προβολή όλων των εγγραφών της ΒΔ υπάρχει το πλήκτρο Show All που παίρνει όλες τις εγγραφές της ΒΔ και τις εμφανίζει στο treeview της εφαρμογής. Για την αναζήτηση εγγραφής/ων με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, ο χρήστης συμπληρώνει στα κενά των στηλών τα χαρακτηριστικά που θέλει να έχουν οι εγγραφές που τον ενδιαφέρουν, και πατάει το πλήκτρο search για αναζήτηση. Ο χρήστης μπορεί να συμπληρώσει όσα κενά θέλει, καθώς μπορεί και να μη χρησιμοποιήσει όλο το όνομα του χαρακτηριστικού.

	Λατινικό_Όνομα	Οικογένεια	Αγγλικό_Όνομα	Ελληνικό_Όνομα	Όνομα_κατά_Οικονομίδη_1991
1	Alburnus alburnus	Cyprinidae	European bleak	Ευρωπαϊκό σίρκο	same (3 subspecies: A. a. macedo
2	Alburnus belvica	Cyprinidae	Prespa bleak	Μπελοτισρόν	Chalcalburnus belvica
3	Alburnus macedonicus	Cyprinidae	Doiran bleak	Σίρκο Δοιράνης	listed as subspecies Alburnus alt
4	Alburnus scoranza	Cyprinidae	Scoranza bleak	Σίρκο της Σκόδρας	not listed
5	Alburnus thessalicus	Cyprinidae	Thessaly bleak	Θεσσαλόσρκο	listed as subspecies A. a. thessal
6	Alburnus vistonius	Cyprinidae	Vistonis shemaja	Άλβια	listed as subspecies Chalcalburn
7	Alburnus volticus	Cyprinidae	Yelartza shemaja	Γκλίμτζα	listed as subspecies Chalcalburn
8	Alburnus sp. Volvi	Cyprinidae	Volvi bleak	Σίρκο της Βόλβης	listed as subspecies A. alburnus

Αναζήτηση στην Greek_Fish

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η Greek_Fish είναι μία ολοκληρωμένη Βάση Δεδομένων με περιεχόμενο τα ελληνικά είδη ψαριών γλυκού νερού, και τα χαρακτηριστικά τους. Για την δημιουργία καθώς και την αξιοποίησή της, δημιουργήθηκε μία εφαρμογή, ένα σύστημα διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων.

Η εφαρμογή χτίστηκε γύρω από τις ανάγκες της ΒΔ Greek_Fish, ώστε να είναι όσο το δυνατόν πιο εύχρηστη και λειτουργική, καθώς και κατανοητή γίνεται. Η εισαγωγή δεδομένων είναι άμεση, με την έννοια ότι δεν χρειάζεται ο χρήστης να κάνει καμία ενέργεια για να ξεκινήσει την εισαγωγή των δεδομένων.

Όμως η εφαρμογή αυτή δεν περιορίζεται στην διαχείριση της Greek_Fish αλλά δημιουργήθηκε για να αποτελέσει ένα εργαλείο για οποιονδήποτε χρήστη θέλει να δημιουργήσει μία Βάση Δεδομένων με παρόμοιες ανάγκες με την Greek_Fish. Είναι ιδανική

για ερευνητές και επιστήμονες που χρειάζονται μία απλή εφαρμογή, με μηδενική πολυπλοκότητα για να ικανοποιήσουν τις ανάγκες τους, όπως εισαγωγή διαφόρων εγγραφών που διαχωρίζονται αλλά και κατηγοριοποιούνται από τα χαρακτηριστικά τους (π.χ. από γεωργικά μηχανήματα έως είδη δασικών δέντρων σε συγκεκριμένη περιοχή).

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Andreopoulou, Z.S. (2007): E-Organization of Forest Records in Greece. Journal of Environmental Protection and Ecology, Book 2, Vol. 8, pp. 455-466.
- Andreopoulou Z.S., Kokkinakis A.K. (2009): Environmental database of the lakes of west Macedonia (Greece) for their sustainable management. Journal of International Environmental Applications and Science, Vol 4, issue 3, 325-331.
- Barbieri R., Zogaris S., Kalogianni E., Stoumboudi M.Th., Chatzinikolaou Y., Giakoumi S., Karakos Y., Kommatas D., Koutsikos N., Tachos V., Vardakas L. & Economou A.N. (2015) Freshwater Fishes and Lampreys of Greece. Monographs on Marine Sciences No. 8.
- Brookshear, G. (2009) Η επιστήμη των Υπολογιστών. Pearson Education Inc., Ελληνική γλώσσα: Κλειδάριθμος
- IUCN. Background & History. [Online] Available from: <https://www.iucnredlist.org/about/background-history> [Accessed: 17th April 2021]
- Kokkinakis AK, DN Kiourtidou, ZS Andreopoulou, (2019). Classification of rivers in northern greece according their threatened fish fauna. Journal of environmental protection and ecology 20 (1), 20-27, 2019
- Norton, P. (2012) Introduction to computers. The McGraw-Hill Companies Inc.
- Opencourses.auth. (Ανδρεοπούλου, Ζ.) Εισαγωγή στη Δασική Πληροφορική. [Online] Available from: <https://opencourses.auth.gr/modules/document/file.php/OCRS205/Παρουσιάσεις%20Μαθήματος/4.Εισαγωγή%20στη%20Δασική%20Πληροφορική.pdf> [Accessed: 17th April 2021]
- Panitsidis K. , Z Andreopoulou, A Kokkinakis, (2017). Multimedia database development for innovative application about fish fauna for inland water ecosystem management J Agric Informatics 8 (3), 41, 2017
- Python.org. General Python FAQ. [Online] Available from: <https://docs.python.org/3/faq/general.html#what-is-python> [Accessed: 17th April 2021]
- Ανδρεοπούλου Ζ. (2000): Η συμβολή της δασικής πληροφορικής στο σχεδιασμό της δασικής υπηρεσίας. Διδ. Διατριβή Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη, σελ. 267
- Ανδρεοπούλου, Ζ.Σ. (2008): Νέες τεχνολογίες, περιβαλλοντική αειφορία και βιώσιμη ανάπτυξη. Κεφάλαιο 15 στο βιβλίο «Φυσικοί πόροι, περιβάλλον και ανάπτυξη». Εκδόσεις Τζιόλα Θεσσαλονίκη, σελ. 385-404.
- Λεγάκις, Α., Μαραγκού, Π. (2009) Το Κόκκινο Βιβλίο των Απειλούμενων Ζώων της Ελλάδας. Αθήνα: Ελληνική Ζωολογική Εταιρεία
- Λουκόπουλος, Α., Θεοδωρίδης, Ε. (2015) Εισαγωγή στην SQL Εργαστηριακές Ασκήσεις σε MySQL5.7 . ΣΕΑΒ

ΝΕΕΣ ΤΠΕ ΣΤΗΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ: Η ΠΡΟΩΘΗΣΗ ΤΟΥ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΥ ΤΟΥΡΙΣΜΟΥ ΣΤΗΝ ΚΡΗΤΗ

Αναστασία-Παρασκευή Σούλη¹, Χριστιάνα Κολιούσκα², Ζαχαρούλα Ανδρεοπούλου³

¹Αγρ-Τοπ. Μηχ., ΜΔΕ Φυσικοί Πόροι, Αγγελάκη 33, 54621 ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

e-mail:evatatm@gmail.com

²Εργαστήριο Δασικής Πληροφορικής, Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ, 54124 ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

³Εργαστήριο Δασικής Πληροφορικής, Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ, 54124 ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι νέες ΤΠΕ συμβάλλουν σημαντικά στην αιφορική διαχείριση και αξιοποίηση των φυσικών πόρων. Η συλλογή δεδομένων από τις ιστοσελίδες που προωθούν τον εναλλακτικό τουρισμό στην ορεινή Κρήτη βασίστηκε σε συγκεκριμένα χαρακτηριστικά των ΤΠΕ. Μελετήθηκαν συνολικά 320 ιστοσελίδες. Τα κριτήρια αξιολόγησης σχετικά με τις εφαρμογές ΤΠΕ ήταν 30. Ο χάρτης της ιστοσελίδας (sitemap) πρέπει να είναι διαθέσιμος αμέσως μετά τα βασικά κριτήρια αξιολόγησης. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης αποσκοπούν στην διερεύνηση και αξιοποίηση της ορεινής Κρήτης μέσω της σωστής αξιοποίησης των κριτηρίων αξιολόγησης.

Λέξεις κλειδιά: ΤΠΕ, εναλλακτικός τουρισμός, φυσικοί πόροι, ορεινή Κρήτη, ιστοσελίδες

NEW ICT AND NATURAL RESOURCE MANAGEMENT: THE PROMOTION OF ALTERNATIVE TOURISM FORMS IN CRETE

Anastasia-Paraskevi Souli¹, Christiana Koliouaska², Zacharoula Andreopoulou³

¹Dipl. Rural Surveying Eng., MSc Natural Resources, Aggelaki 33, 54621 Thessaloniki

e-mail:evatatm@gmail.com

²Laboratory of Forest Informatics, Faculty of Forestry and Natural Environment, Aristotle University of Thessaloniki

³Laboratory of Forest Informatics, Faculty of Forestry and Natural Environment, Aristotle University of Thessaloniki

ABSTRACT

New ICT contribute significantly to the sustainable management and utilization of natural resources. The data collection from the websites that promote alternative tourism in mountainous Crete was based on specific characteristics of the ICT. A total of 320 websites were studied. The evaluation criteria for ICT applications were 30. Simplicity in information is a positive element for a well-placed website. Analysis results aim at the investigation and utilization of the tourist product through the correct utilization of the evaluation criteria.

Keywords: ICT, alternative tourism, natural resources, mountains of Crete, website

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο τουρισμός έχει ωφεληθεί σε μέγιστο βαθμό από τις Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών - ΤΠΕ (Information and Communication Technology – ICT). Η προώθηση και η πώληση τουριστικών υπηρεσιών και όχι μόνο στηρίζεται πλέον στην χρήση αυτών των τεχνολογιών. Ο ρόλος της πολιτείας είναι πολύ σημαντικός στην προώθηση της βιώσιμης ανάπτυξης μιας περιοχής και ιδιαίτερα στην προώθηση του τουρισμού (Andreopoulou et al., 2016). Η ψηφιακή καινοτομία προκειμένου να αναπτυχθεί η αειφόρος ανάπτυξη των αγροτικών πόρων, ο αγροτουρισμός, αλλά και το πράσινο μάρκετινγκ των επιχειρήσεων απαιτεί ανταλλαγή γνώσεων μεταξύ διαφορετικών γνωστικών αντικειμένων (Andreopoulou et al., 2013).

Οι επιχειρήσεις αξιοποιούν τις ΤΠΕ σε πολλές δραστηριότητες τους όπως, στις αυτοματοποιήσεις, στις διαφημίσεις των προϊόντων τους, στην διαχείριση των πληροφοριών και στην αξιοποίηση τους. Το διαδίκτυο αποτελεί το κύριο μέσο μετάδοσης πληροφοριών (Tsekouropoulos, et al., 2012a; Tsekouropoulos, et al., 2012b). Η χρήση των ΤΠΕ στον τουρισμό απαιτεί την συνεργασία πολλών υπολογιστικών συστημάτων και ανθρώπων προκειμένου να γίνει αποτελεσματική (Ανδρεοπούλου, 2015). Κάποια από τα πιο χρησιμοποιούμενα τεχνολογικά μέσα της πληροφόρησης και της επικοινωνίας είναι τα εξής: Διαδίκτυο, QR (Quick Response), GPS (Geographic Point System) και πλοήγηση, Google Map, WiFi, Έξυπνα κινητά, Bluetooth, VR (Virtual Reality) Εικονική πραγματικότητα.

Με την αξιολόγηση της υιοθέτησης των ΤΠΕ από τις επιχειρήσεις (Andreopoulou et al., 2014), αναδεικνύονται οι πιο επιτυχημένες εταιρείες εναλλακτικού τουρισμού. Οι ιστοσελίδες των εταιρειών, που ικανοποιούν πολλά χαρακτηριστικά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν πρότυπο για εφαρμογή. Ο χρήστης αναζητά πληροφορίες από το διαδίκτυο προκειμένου να ικανοποιήσει τις ανάγκες του μέσω της βέλτιστης τιμής-κόστους σε σχέση με τον επιθυμητό σκοπό. Έχει αναπτυχθεί, μέσω των ΤΠΕ, ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο για την κατάταξη των επιχειρήσεων με βάση τη μέθοδο της πολυκριτήριας ανάλυσης (Andreopoulou et al., 2015).

Η αποτελεσματικότητα της εφαρμογής του ηλεκτρονικού εμπορίου είναι αδιαμφισβήτητη (Andreopoulou, et al., 2008). Δεδομένου ότι ο αγροτικός τομέας αντιμετωπίζει αρκετά εμπόδια για την εφαρμογή του ηλεκτρονικού εμπορίου, παρουσιάζεται μια μεθοδολογία με στόχο τη βελτιστοποίηση του μοντέλου που χρησιμοποιείται σε ιστότοπους για την προώθηση της αγροτικής παραγωγής, (Andreopoulou, et al., 2011). Οι ιστότοποι κατατάσσονται με 13 κριτήρια χρησιμοποιώντας τη μέθοδο ανάλυσης πολλαπλών κριτηρίων. Γίνεται ταξινόμηση με στόχο τον προσδιορισμό της βέλτιστης ομάδας ιστότοπων που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το σχεδιασμό ελκυστικών ιστοσελίδων. Με την ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας προστατεύεται το περιβάλλον και ταυτόχρονα δημιουργείται συνεχής παραγωγή ενέργειας. Στην εργασία των (Andreopoulou et al., 2018) περιγράφεται η αγορά 30 επιχειρήσεων που προωθούν τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην Ελλάδα με έμφαση στον Νομό Θεσσαλονίκης. Οι εταιρείες αυτές αναλύθηκαν χρησιμοποιώντας 18 κριτήρια που αντιπροσωπεύουν την χρήση ΤΠΕ. Διαπιστώθηκε ότι οι επιχειρήσεις που αναλύθηκαν πρέπει να προσαρμοστούν στην χρήση των ΤΠΕ με την ανάπτυξη αποτελεσματικών ιστοτόπων για σωστή πληροφόρηση των πελατών τους.

Η εργασία αυτή σκοπό έχει να αναδείξει, μέσω μεγάλου αριθμού κριτηρίων αξιολόγησης τουρισμού, τις εταιρείες που προβάλλουν τον εναλλακτικό τουρισμό της ορεινής Κρήτης. Έτσι, έγινε συστηματική έρευνα στο διαδίκτυο για την αναζήτηση όλων των σχετικών ιστοσελίδων. Προτείνεται λοιπόν, η μεθοδολογία που θα εφαρμοστεί για την καταγραφή

των επιχειρήσεων με τις διευθύνσεις αυτών, το είδος των κριτηρίων αξιολόγησης που θα μπορεί να εφαρμοστεί και τα αποτελέσματα αυτών. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων θα οδηγήσει στο τρόπο που πρέπει να ικανοποιούν οι ιστότοποι των εταιρειών ώστε να αυξήσουν την ποιότητα των προσφερόμενων υπηρεσιών για την αύξηση της ζήτησης.

Ο αγροτουρισμός είναι εκείνη η δραστηριότητα που φέρνει τους περιηγητές σε ένα αγρόκτημα ή μία εξοχική κατοικία, με σκοπό την συμμετοχή τους στις αγροτικές εργασίες. Για να αναπτυχθεί ο αγροτουρισμός πρέπει να αναπτυχθούν οι υποδομές και η νοοτροπία των κατοίκων, (Lee, 2019). Ο οικοτουρισμός ορίζεται ως η απόκτηση γνώσεων και απόλαυσης από τις φυσικές περιοχές με υπευθυνότητα απέναντι στην προστασία του φυσικού περιβάλλοντος αλλά και τη διατήρηση της ευημερίας των τοπικών πληθυσμών. Στην Κρήτη υπάρχουν τρία φυσικά πάρκα: ο εθνικός δρυμός των Λευκών Ορέων (Σαμαριάς), το φυσικό πάρκο Ψηλορείτη και το Γεωπάρκο Σητείας. Κάποια από τα πιο ενδιαφέροντα οροπέδια είναι: του Ομαλού στα Λευκά Όρη στην πιο ορεινή περιοχή της Κρήτης που τροφοδοτεί το διάσημο φαράγγι της Σαμαριάς, ο Ψηλορείτης με μεγαλύτερο οροπέδιο αυτό της Νίδας, το Οροπέδιο Λασιθίου που βρίσκεται ανάμεσα στις άγριες βουνοκορφές των Δικταίων Ορέων. Επίσης, τα μονοπάτια της Κρήτης έχουν εξαιρετική φυσική ομορφιά. Από τα πιο διάσημα είναι, Ευρωπαϊκό μονοπάτι E4, φαράγγι της Σαμαριάς, κ.ά. Στον νομό Χανίων βρίσκονται μερικά από τα πιο σημαντικά φαράγγια της Κρήτης όπως, Σαμαριάς, Αράδαινας, κ.ά. Τα σπήλαια της ορεινής Κρήτης είναι πολυάριθμα και πολύ ενδιαφέροντα. Μερικά από αυτά είναι και τα ακόλουθα: Ιδαίο Άντρο, Ψυχρού (Δικταίο Άντρο) κ.ά.

Όσον αφορά τον οινοτουρισμό, η γευσιγνωσία των τροφίμων-ποτών αλλά και η ιδιαιτερότητα αυτών είναι ο βασικός λόγος πραγματοποίησης του τουρισμού κοντά σε παραγωγούς τροφίμων-ποτών π.χ. οινοποιία, ή σε ειδικά καταλύματα όπου οι ιδιοκτήτες των προσφέρουν τα τρόφιμά τους, (Hall, et al., 2005). Σε αρκετές περιπτώσεις αποκτάται σημαντική εμπειρία και οι περιηγητές μπορεί να συμμετέχουν στις ιδιαιτερότητες της παρασκευής των τροφίμων και των ποτών. Η παραγωγή πρωτογενών προϊόντων είναι ο πιο δυνατός οικονομικός πόρος στην Κρήτη. Τα σημαντικότερα προϊόντα της κρητικής γης είναι, οι ελιές, τα σταφύλια, τα κίτρα και τα φρούτα. Σημαντικά είναι και η παραγωγή καλής ποιότητας κρέατος και τα γαλακτοκομικά προϊόντα. Η κρητική διατροφή, που είναι χαρακτηριστικό δείγμα μεσογειακής διατροφής, είναι παγκοσμίως γνωστή και έχει ως κύριο συστατικό της το λάδι.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η συλλογή δεδομένων από τις ιστοσελίδες που προωθούν τον εναλλακτικό τουρισμό στην ορεινή Κρήτη βασίστηκε σε συγκεκριμένα χαρακτηριστικά των ΤΠΕ που χρησιμοποιούνται από τις εταιρείες. Η αναζήτηση και η συγκέντρωση των ιστοσελίδων έγινε με την συστηματική χρήση του διαδικτύου και με τις μηχανές αναζήτησης “Google” και την επιστημονική μηχανή αναζήτησης “Google Scholar”. Στην αρχή χρησιμοποιήθηκαν Ελληνικές λέξεις κλειδιά και μετά αγγλικές λέξεις με την ίδια ονομασία. Η αξιολόγηση της προώθησης του εναλλακτικού τουρισμού της ορεινής Κρήτης στο διαδίκτυο συμπεριλαμβάνει τον αγροτουριστικό και τον γαστρονομικό τουρισμό. Χρησιμοποιήθηκαν 30 κριτήρια ΤΠΕ, (Κολιούσκα, 2013). Στην περίπτωση που μια ιστοσελίδα ικανοποιούσε ένα κριτήριο, σημειώνονταν ο αριθμός 1, ενώ σε αντίθετη περίπτωση σημειώνονταν ο αριθμός 0. Τα κριτήρια για την ανάλυση της απόδοσης των ιστοσελίδων παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Κριτήρια τεχνολογίας πληροφορικής και επικοινωνιών για εναλλακτικό τουρισμό.

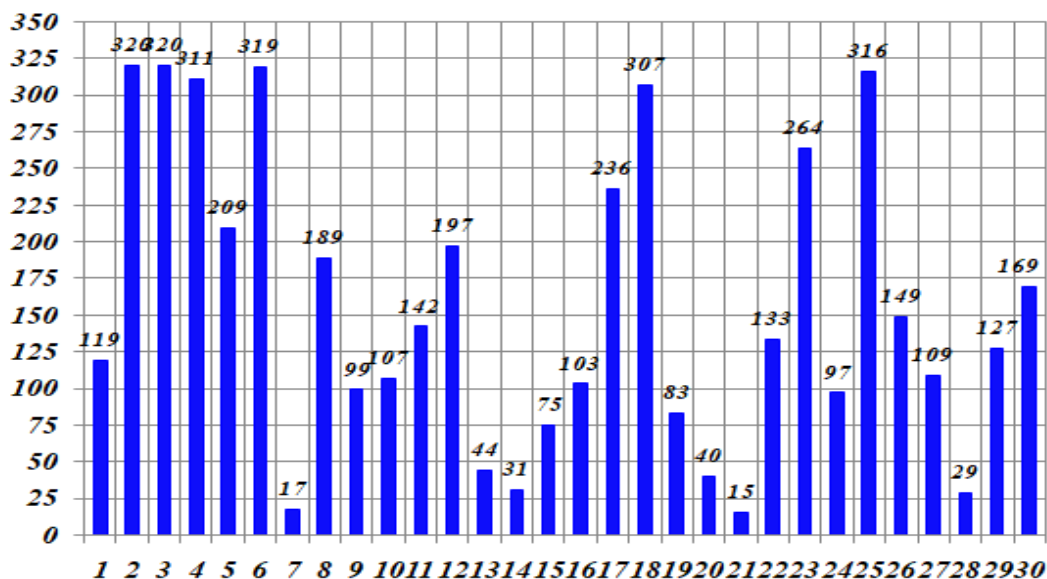
x1 Διάθεση άνω των 2 γλωσσών	x16 Παροχή χρήσιμων συνδέσμων
x2 Παροχή πληροφοριών για τα προσφερόμενα προϊόντα/υπηρεσίες	x17 Παροχή πληροφοριών για διάφορα θέματα
x3 Παροχή στοιχείων επικοινωνίας	x18 Διάθεση ψηφιακών αρχείων για λήψη (<u>download</u>)
x4 Διάθεση πληροφοριών τοπικού ενδιαφέροντος	x19 Παροχή εφαρμογής ημερολογίου / ρολογιού
x5 Παροχή ψηφιακού χάρτη	x20 Παροχή εφαρμογής ημερολογίου εκδηλώσεων
x6 Διάθεση φωτογραφικού / οπτικοακουστικού υλικού	x21 Παροχή εφαρμογής εορτολογίου
x7 Υπηρεσία ζωντανής μετάδοσης μέσω διαδικτυακής κάμερας (<u>Live Web Camera</u>)	x22 Παροχή δυνατότητα κοινοποίησης της ιστοσελίδας σε κοινωνικά δίκτυα (<u>share</u>)
x8 Παροχή εφαρμογής μηχανής αναζήτησης	x23 Διάθεση λογαριασμού σε κοινωνικά δίκτυα (<u>profile</u>)
x9 Διάθεση χάρτη ιστοσελίδας	x24 Παροχή διαλογικής κοινότητας (<u>forum</u>)
x10 Ενημέρωση ιστοσελίδας για νέες δραστηριότητες	x25 Παροχή πληροφοριών για σχετικά θέματα
x11 Παροχή υπηρεσίας διαδικτυακών δημοσκοπήσεων (<u>online Survey</u>)	x26 Διαφημίσεις τρίτων
x12 Διάθεση <u>online</u> φόρμας επικοινωνίας	x27 Παροχή υπηρεσίας αποστολής ενημερωτικών δελτίων (<u>newsletter</u>)
x13 Παροχή υπηρεσίας πρόγνωσης καιρού (<u>Weather Forecast</u>)	x28 Παροχή υπηρεσίας RSS
x14 Παροχή εφαρμογής μετρητή <u>επισκεψιμότητας</u>	x29 Δυνατότητα εγγραφής επισκεπτών ως μέλη της ιστοσελίδας
x15 Παράθεση απαντήσεων συχνών ερωτήσεων	x30 Εξατομίκευση ιστοσελίδας ασφάλεια, αντίχρεση κακόβουλων ενεργειών

Επιπλέον, οι ιστοσελίδες ταξινομήθηκαν και με βάση το είδος του εναλλακτικού τουρισμού που υποστηρίζουν, όπως: Οικοτουρισμός-Αγροτουρισμός, Θρησκευτικός, Πεζοπορία, Ορειβασία, Ποδηλασία, Αθλητικές δραστηριότητες, Αναρρίχηση-Canyoning, Πολιτιστικός και Γαστρονομικός τουρισμός.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

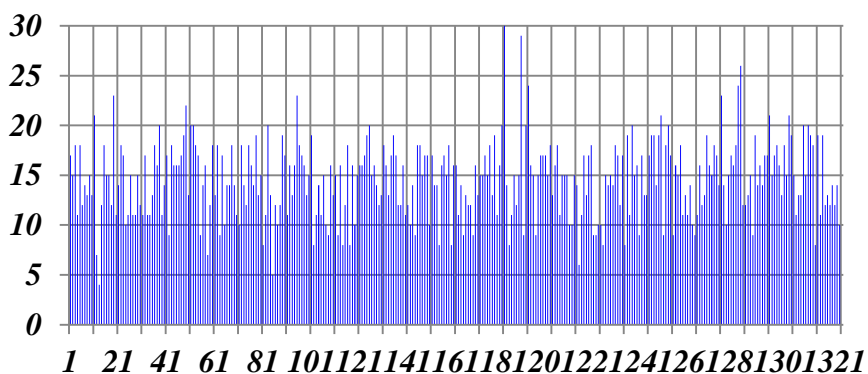
Συνολικά μελετήθηκαν 320 ιστοσελίδες που προωθούν τον εναλλακτικό τουρισμό στην ορεινή Κρήτη. Η κατανομή των ιστοσελίδων έγινε ανάλογα με το είδος των εργασιών τους με πιο δημοφιλείς τους “Τουριστικούς οδηγούς” με 37.0 % και 117 ιστοσελίδες και τα “Τουριστικά γραφεία” με 30.0 % και 97 ιστοσελίδες στο σύνολο των 320 ιστοσελίδων. Οι ιστοσελίδες που καλύπτουν 20 και άνω κριτήρια αξιολόγησης τεχνολογίας πληροφορικής και επικοινωνιών είναι 23 ή 7.2 % στο σύνολο και καλύπτουν περιηγητές με τις πλέον χρήσιμες πληροφορίες όπως, η παροχή ψηφιακού χάρτη, οι πληροφορίες τοπικού ενδιαφέροντος αλλά και σχετικού ενδιαφέροντος, κοινοποίηση της ιστοσελίδας σε κοινωνικά δίκτυα κ.ά. Ιστοσελίδες που καλύπτουν μέχρι και 10 κριτήρια αξιολόγησης τεχνολογίας πληροφορικής και επικοινωνιών είναι 40 ή 12.5 % στο σύνολο.

Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται ο αριθμός των ιστοσελίδων και το σύνολο των χαρακτηριστικών που αυτές πληρούν.

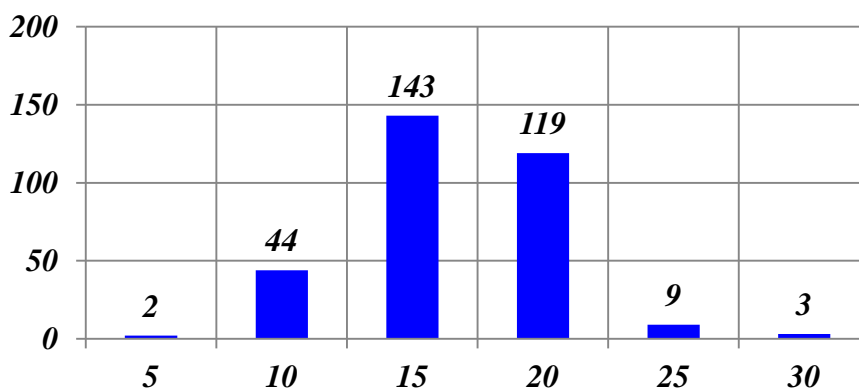


Σχήμα 1. Αριθμός εμφάνισης ιστοσελίδων με τα κριτήρια αξιολόγησης

Η αντιστοιχία του αύξοντα αριθμού ιστοσελίδας δείχνεται στο Σχήμα 2. Οι αριθμοί των ιστοσελίδων που καλύπτουν ανά 5 κριτήρια τεχνολογίας πληροφορικής και επικοινωνιών με τον αντίστοιχο αριθμό εμφάνισης κριτηρίων δείχνονται στο Σχήμα 3.



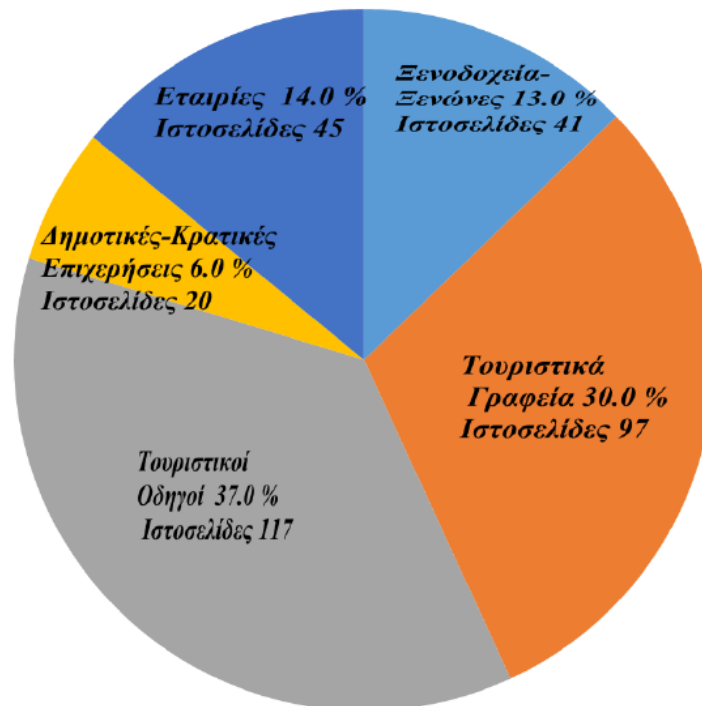
Σχήμα 2. Κριτήρια αξιολόγησης με τον αύξοντα αριθμό ιστοσελίδας



Σχήμα 3. Ιστοσελίδες που καλύπτουν από 1 μέχρι και 30 (ανά 5) κριτήρια τεχνολογίας

Στο Σχήμα 4 δείχνεται η κατανομή των 320 ιστοσελίδων σχετικών με το είδος των εργασιών τους. Τα είδη έχουν κατηγοριοποιηθεί ως, Τουριστικοί οδηγοί με 37.0 % και 117

ιστοσελίδες, Τουριστικά γραφεία με 30.0 % και 97 ιστοσελίδες, Ξενοδοχεία-ξενώνες με 13.0 % και 41 ιστοσελίδες, Εταιρείες με 14.0 % και 45 ιστοσελίδες, Δημοτικές-κρατικές επιχειρήσεις με 6.0 % και 20 ιστοσελίδες.



Σχήμα 4. Κατανομή ιστοσελίδων ανάλογα με το είδος των εργασιών τους.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο αυξανόμενος αριθμός χρηστών και οι διαδικτυακές συναλλαγές, δείχνουν την ταχεία ανάπτυξη της τουριστικής βιομηχανίας. Η χρήση των εργαλείων των ΤΠΕ είναι αναγκαία, (Misso et al., 2018), για την οικονομική ανάπτυξη, μέσω του βιώσιμου εναλλακτικού τουρισμού και την προστασία του περιβάλλοντος. Ο αγροτουρισμός έχει πολλές δυνατότητες ανάπτυξης στην Ελλάδα διότι προσφέρει πολλές δραστηριότητες στους ενδιαφερόμενους, (Zorounidis et al., 2014). Η κατανομή των ιστοσελίδων έγινε ανάλογα με το είδος των εργασιών τους με πιο δημοφιλείς τους “Τουριστικούς οδηγούς” με 37.0 % και 117 ιστοσελίδες και τα “Τουριστικά γραφεία” με 30.0 % και 97 ιστοσελίδες στο σύνολο των 320 ιστοσελίδων. Οι περισσότερες ιστοσελίδες καλύπτουν ένα μεγάλο φάσμα που βρίσκεται μεταξύ του 1/3 και 2/3 του συνόλου των κριτηρίων, δηλ. 257 ιστοσελίδες ή 80.3 % στο σύνολο. Τα 11 έως 15 κριτήρια αξιολόγησης καλύπτουν 144 ιστοσελίδες και τα 16 έως 20 κριτήρια καλύπτουν 119 ιστοσελίδες. Η πληροφόρηση σε αυτές τις ιστοσελίδες θεωρείται ότι είναι ικανοποιητική για τον σκοπό που έχει η κάθε μια.

Δεν είναι υποχρεωτικό μια ιστοσελίδα να καλύπτει όλο το φάσμα των κριτηρίων. Πολλές εταιρείες ή δήμοι/κοινότητες ή οργανισμοί αποφεύγουν την παροχή περιττών κατά αυτούς πληροφοριών μέσω των ιστοσελίδων. Η απλότητα στην πληροφόρηση είναι θετικό στοιχείο για μια σωστά τοποθετημένη ιστοσελίδα. Μεγάλη σημασία έχει και η ομάδα χρηστών στην οποία απευθύνεται η πληροφόρηση. Οι κρατικοί οργανισμοί αποφεύγουν τις διαφημίσεις, ενώ οι ιδιωτικές εταιρείες φαίνεται να το επιθυμούν. Ο χάρτης της ιστοσελίδας (sitemap) θα έπρεπε να είναι διαθέσιμος αμέσως μετά τα βασικά κριτήρια για εύκολη πλοήγηση από τους χρήστες του διαδικτύου. Τα αποτελέσματα της έρευνας στοχεύουν, μέσω της σωστής αξιοποίησης κριτηρίων αξιολόγησης, στην αναζήτηση και καλύτερη τουριστική αξιοποίηση

του φυσικού πλούτου της ορεινής Κρήτης. Ταυτόχρονα, τα αποτελέσματα της έρευνας οδηγούν στην ανάπτυξη βελτιωμένων επιχειρηματικών ιστοσελίδων προκειμένου να αυξηθεί η επισκεψιμότητά τους και συνεπώς, να προωθηθεί σε μεγαλύτερο βαθμό ο εναλλακτικός τουρισμός στην ορεινή Κρήτη.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Ανδρεοπούλου, Ζ. (2015). Δίκτυα Η/Υ στη Δασοπονία. Δίκτυα Υπολογιστών. Σημειώσεις. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Έκδοση: 1.0. Θεσσαλονίκη. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <http://eclass.auth.gr/courses/OCRS350/>
- Κολιούσκα Χ. (2013). Αξιολόγηση της διαδικτυακής προβολής και προώθησης των εθνικών δρυμών της Ελλάδας. Μεταπτυχιακή Διατριβή Σχολής Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Διεθνής Βιβλιογραφία

- Andreopoulou, Z., Koliouka, C., Galariotis E. & C. Zopounidis (2018). Renewable energy sources: Using Promethee II for ranking web to support market opportunities. Technological forecasting and social change. 131, 31-37, <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.06.007>.
- Andreopoulou, Z., Koliouka, C., Lemonakis, C. & C. Zopounidis (2015). National forest parks development through internet technologies for economic perspectives. Operational Research (15), 395–421.
- Andreopoulou, Z., Leandros, N., Quaranta, G & R. Salvia (2016). Tourism and new media. Franco Angelis.r.l., Milano, Italy. doi: [10.4018/978-1-60960-621-3](https://doi.org/10.4018/978-1-60960-621-3).
- Andreopoulou, Z, Manos, B., Viaggi, D. & N. Polman (2011). (Editors) *Agricultural and Environmental Informatics, Governance, and Management: Emerging research applications*. IGI Global. USA.
- Andreopoulou, Z., Samathrakakis V., Louca S., & M. Vlachopoulou (2013). (Editors) *2E-innovation for sustainable development of rural resources during global economic crisis*. IGI Global. USA. doi: [10.4018/978-1-4666-4550-9](https://doi.org/10.4018/978-1-4666-4550-9)
- Andreopoulou, Z., Tsekouropoulos, G., Koliouka, C. & T. Koutroumanidis (2014). International Journal of Business Information Systems, Internet marketing for sustainable development and rural tourism 16(4). <https://doi.org/10.1504/IJBIS.2014.063931>.
- Andreopoulou, Z. Tsekouropoulos, G., Koutroumanidis, T., Vlachopoulou, M., & B. Manos (2008). Typology for e-business activities in the agricultural sector. International journal of business information systems, 13(3), 231-251.
- Hall, M., & R. Mitchell (2005). Gastronomic tourism: comparing food and wine tourism experiences, icinde M. Novelli (Editor), Niche tourism, contemporary Issues, Trends and Cases, 89-100.
- Lee, J. (2019). Conflict mapping toward ecotourism facility foundation using spatial Q methodology. Tourism management. 72, 69-77: <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2018.11.012>.
- Misso R., Andreopoulou Z., Cesaretti, G.P., Hanna S.S. & I. Tzoulis (2018). Sustainable development and green tourism: new practices for excellence in the digital era, J. international business and entrepreneurship development, 11(1), <https://doi.org/10.1504/JIBED.2018.090035>.

- Tsekouropoulos, G., Andreopoulou, Z., Koliouka, C., Koutroumanidis, T., Batzios, C. & P. Lefakis (2012a). Marketing policies through the internet: The case of skiing centers in Greece. *Scientific bulletin-economic sciences*, 11(1), 66-78.
- Tsekouropoulos, G., Andreopoulou, Z., Seretakis, A. Koutroumanidis, T. & B. Manos (2012b). Optimizing e-marketing criteria for customer communication in food and drink Sector in Greece. *International journal of business information systems*. 9(1), 1-25.
- Zopounidis C., Lemonakis C., Andreopoulou Z. & C. Koliouka (2014). Agrotourism industry development through internet technologies: A multi criteria approach *journal of euromarketing*, 23(4), 45-67, <https://doi:10.9768/0023.04.045>.

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΕΞ΄ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ ΣΤΙΣ ΣΠΟΥΔΕΣ ΔΑΣΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΑΝΔΡΕΟΠΟΥΛΟΥ Ζ., ΚΑΨΑΛΗ Ν., ΤΣΟΥΚΑΡΕΛΛΑ Σ.

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ, ΤΜΗΜΑ ΔΑΣΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

nkapsali@for.auth.gr

tsousoti@for.auth.gr

Περίληψη

Η ηλεκτρονική μάθηση, το λεγόμενο e-learning εισβάλλει στην ζωή μας και την διευκολύνει σε όλους τους τομείς. Τι είναι όμως στα αλήθεια το e-learning; Που εφαρμόζεται; Και σε ποιους απευθύνεται; Στην σύγχρονη εποχή που ζούμε, ο όρος e-learning δεν αναφέρεται μόνο στην εκπαίδευση με την χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών, αλλά στην εκπαίδευση με την χρήση οποιασδήποτε ηλεκτρονικής συσκευής που παρέχει την δυνατότητα πρόσβασης στο διαδίκτυο. Πλέον, η διαδικασία της μάθησης πραγματοποιείται σε μεγάλο βαθμό εξ αποστάσεως με τη χρήση των κατάλληλων μέσων. Ο άνθρωπος αξιοποιεί τους διάφορους ιστοτόπους και διάφορες πλατφόρμες με απώτερο σκοπό την ενημέρωση και την εκπαίδευση του πάνω σε κάποιο αντικείμενο που τον ενδιαφέρει. Σκοπός της παρούσας έρευνας είναι η αξιολόγηση της εξ αποστάσεως εκπαίδευσης που έλαβαν οι φοιτητές του τμήματος Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος.

Λέξεις κλειδιά : Εξ αποστάσεως εκπαίδευση, Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών, Πράσινη Πληροφορική

EVALUATION OF DISTANCE EDUCATION IN THE STUDIES OF FORESTRY AND NATURAL ENVIRONMENT

ZACHAROULA ANDREOPOULOU, KAPSALI NIKOLETA, TSOUKARELLA SOTIRIA

Aristotle University of Thessaloniki, School of Forestry and Natural Environment

nkapsali@for.auth.gr

tsousoti@for.auth.gr

Abstract

E-learning invades into our lives and facilitates it in all areas. But what exactly is e-learning? Where is it applied; And to whom is it addressed? Today, the term e-learning refers not only to education using computers, but to education using any electronic device that provides access to the internet. Now, the learning process is carried out to a large extent remotely using the appropriate means. The person utilizes the various websites and various platforms with the ultimate goal of informing and educating him on an object that interests him. The purpose of this research is to evaluate the distance education received by the students of the Department of Forestry and Natural Environment.

Keywords: Distance education, Information and Communication Technologies, Green Informatics

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές και συγκεκριμένα οι τεχνολογίες πληροφορικής και επικοινωνιών (ΤΠΕ) όπως το γνωστό σε όλους μας πλέον διαδίκτυο, αποτελούν μία ως επί των πλείστων νέα εφεύρεση η οποία έχει αναπτυχθεί ραγδαία τα τελευταία χρόνια, καθώς διανύουμε τον 21^ο αιώνα, και έχει συμβάλει με πολλούς τρόπους στην βελτίωση και διευκόλυνση της καθημερινότητας μας σε διάφορους τομείς (Aydin et al, 2010).

Η συμβολή των ΤΠΕ στην εκπαιδευτική διαδικασία αποτελεί έναν από αυτούς τους τομείς. Η εκπαίδευση εκσυγχρονίζεται πλέον και δεν απαιτεί την φυσική παρουσία μαθητή και καθηγητή σε έναν κοινό χώρο εκμάθησης μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Το διαδίκτυο αναλαμβάνει να αμβλύνει την έννοια του παραδοσιακού τρόπου διδασκαλίας δίνοντας την δυνατότητα της ηλεκτρονικής εκπαίδευσης. Η ηλεκτρονική μάθηση εξελίσσεται παράλληλα με τον Παγκόσμιο Ιστό (World Wide Web) καθώς οι νέες τεχνολογίες του ιστού αυτού καθίστανται διαθέσιμες και έτοιμες να χρησιμοποιηθούν στα πλαίσια της εκπαίδευσης. Νέες μέθοδοι εκμάθησης υιοθετούνται ενώ οι παλιοί αναβαθμίζονται. Έτσι γεννιέται ένας νέος όρος, το αποκαλούμενο e-learning (Rubens et al, 2012).

E-learning ορίζεται οποιαδήποτε μορφή εκπαίδευσης, μέσω της χρήσης των ηλεκτρονικών υπολογιστών και κυρίως μέσω του διαδικτύου (Ανδρεοπούλου 2015, Pachler & Daly, 2011). Ο όρος αυτός δεν αναφέρεται μόνο στην εκπαίδευση ανήλικών αλλά όλων των ηλικιών καθώς e-learning μπορεί να οριστεί κάθε μορφή πληροφόρησης και ερεθίσματος που προσφέρεται στους χρήστες του διαδικτύου (Welsh et al, 2003).

Η μάθηση που προσφέρεται από τις νέες ηλεκτρονικές τεχνολογίες δηλαδή το e-learning μπορεί να διακριθεί στην μάθηση υποβοηθούμενη από τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές (computer assisted learning ή computer based learning), στην μάθηση μέσω διαδικτύου (online learning), στην μάθηση που βασισμένη στο διαδίκτυο (web based learning), στην εξ' αποστάσεως εκπαίδευση (distance learning) και στην δια βίου μάθηση (life-long learning) (Ανδρεοπούλου, 2015)

Η πορεία προς την ηλεκτρονική εκπαίδευση είναι μια φυσική μετάβαση για εκπαιδευτικά ιδρύματα του 21ου αιώνα. Η διαδικτυακή εκπαίδευση θεωρείται από πολλούς εκπαιδευτές ως καινοτομία που έχει σημαντικές δυνατότητες για την ενίσχυση της διδασκαλίας και της μάθησης, την προώθηση της δια βίου μάθησης και την προσέγγιση μαθητών που απέχουν από τον παραδοσιακό τρόπο διδασκαλίας, για οποιονδήποτε τύπο πτυχίου (Paulsen et al, 2003).

Στην αρχή, όταν πρωτοεμφανίστηκε η έννοια του e-learning αναφερόταν μόνο σε έναν μονόπλευρο τρόπο εκπαίδευσης από τον εκπαιδευτικό στον εκπαιδευόμενο μέσα από μία μεγάλη ποικιλία πληροφοριών που ήταν αναρτημένες στο διαδίκτυο και ο καθένας μπορούσε να έχει πρόσβαση σε αυτές ανά πάσα ώρα και στιγμή από οποιοδήποτε σημείο του πλανήτη με μοναδική προϋπόθεση την πρόσβαση στο ίντερνετ και έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή (Rubens et al, 2012 & Kundi & Nawaz, 2014)

Σήμερα διακρίνονται δύο κατηγορίες ηλεκτρονικής μάθησης, η ασύγχρονη και η σύγχρονη. Εκ των οποίων η πρώτη πραγματοποιείται μεν μέσω του διαδικτύου αλλά δεν θεωρείται απαραίτητη η online σύνδεση των χρηστών κατά την ίδια χρονική στιγμή. Για παράδειγμα πολλοί είναι εκείνοι που παρακολουθούν online μαθήματα τα οποία είναι ανεβασμένα σε κάποια πλατφόρμα και μπορεί ο καθένας να τα επισκεφτεί ανά πάσα ώρα και στιγμή της ημέρας. Επιπλέον παραδείγματα αποτελούν το e-mail και οι πίνακες συζήτησης (Discussion board). Από την άλλη η σύγχρονη ηλεκτρονική μάθηση αναφέρεται στην εκμάθηση η οποία λαμβάνει χώρα όταν όλοι οι χρήστες, πομποί και δέκτες, είναι

online ταυτόχρονα την ίδια χρονική στιγμή και συνδέονται μεταξύ τους μέσα από διάφορες πλατφόρμες όπως είναι το Skype, το Zoom, το Messenger, το Viber και πολλά ακόμα (Ανδρεοπούλου,2015, Hrastinski, 2008 & Welsh et al,2003).

2.ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε το χρονικό διάστημα Μαΐου - Ιουνίου 2021. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ήταν η αποστολή δομημένων ερωτηματολογίων σε φοιτητές του τμήματος δασολογίας και φυσικού περιβάλλοντος. Συνολικά συμπληρώθηκαν **27** ερωτηματολόγια. Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε η ανάλυση τους με τη χρήση του προγράμματος στατιστικής ανάλυσης SPSS.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

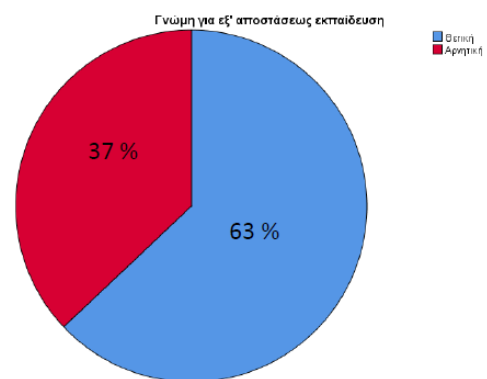
Οι πρώτες ερωτήσεις που δόθηκαν και απαντήθηκαν από τους φοιτητές ήταν γενικής φύσεως και αφορούσαν γενικά θέματα της εξ' αποστάσεως εκπαίδευσης όπως την παρακολούθηση των μαθημάτων κατά αυτόν τον τρόπο, τη γνώμη των φοιτητών, το βαθμό ικανοποίησης των φοιτητών από την διεξαγωγή εξ' αποστάσεως μαθημάτων, το βαθμό κατανόησης της διδασκείας ύλης κατά αυτό τον τρόπο, εν θα επιθυμούσαν τη συνέχιση της εξ' αποστάσεως εκπαίδευσης και για το επερχόμενο εξάμηνο και εάν δουλεύουν παράλληλα με τις σπουδές τους.

Αφού συμπληρώθηκαν τα ερωτηματολόγια και περάστηκαν στο πρόγραμμα στατιστικής ανάλυσης SPSS, εξάχθηκαν τα αποτελέσματα και προέκυψαν τα ακόλουθα διαγράμματα.

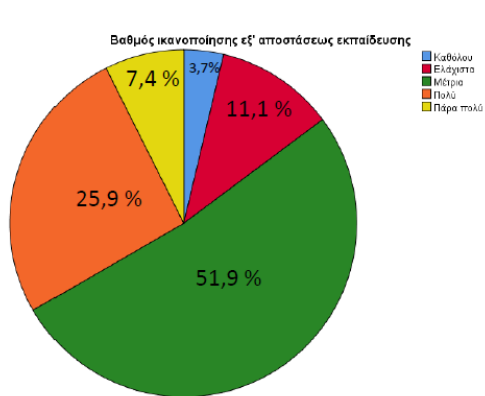
Σύμφωνα με τη στατιστική ανάλυση που διεξάχθηκε, βρέθηκε ότι το 92,6 % των φοιτητών που ερωτήθηκαν έχουν παρακολουθήσει εξ' αποστάσεως ακαδημαϊκά μαθήματα ενώ μόνο το 7,4 % δεν έχει παρακολουθήσει ποτέ μαθήματα κατά αυτόν τον τρόπο. Όσον αφορά τη γνώμη που έχουν σχηματίσει οι φοιτητές για την εξ' αποστάσεως εκπαίδευση το 63 % των φοιτητών απάντησε ότι έχει θετική γνώμη για το συγκεκριμένο τρόπο εκπαίδευσης ενώ το 37 % βρέθηκε να έχει αρνητική γνώμη. Ο βαθμός ικανοποίησης των φοιτητών για την εξ' αποστάσεως εκπαίδευση ωστόσο βρέθηκε να ποικίλει από καθόλου έως πάρα πολύ. Έτσι το 3,7 % των φοιτητών απάντησε καθόλου, το 11,1 % ελάχιστα, το 51,9 % μέτρια, το 25,9 % πολύ και το 7,4 % πάρα πολύ. Στη συνέχεια, ερωτήθηκαν για το βαθμό στον οποίο γίνεται κατανοητή η διδασκεία ύλη κατά αυτόν τον τρόπο διδασκαλίας όπου το 7,4 % απάντησε ότι η διδασκεία ύλη δε γίνεται καθόλου κατανοητή, το 11,1 % απάντησε ότι γίνεται ελάχιστα κατανοητή, το 44,4 % μέτρια, το 25,9 % πολύ και το 11,1 % πάρα πολύ. Για το αν επιθυμούν να διεξαχθεί και το επόμενο εξάμηνο εξ αποστάσεως το 55,6 % των φοιτητών απάντησε όχι ενώ το 44,4 % απάντησε θετικά. Τέλος Σχετικά με την παράλληλη εργασία των φοιτητών το 55,6 απάντησε ναι ενώ το 44,4 % όχι.



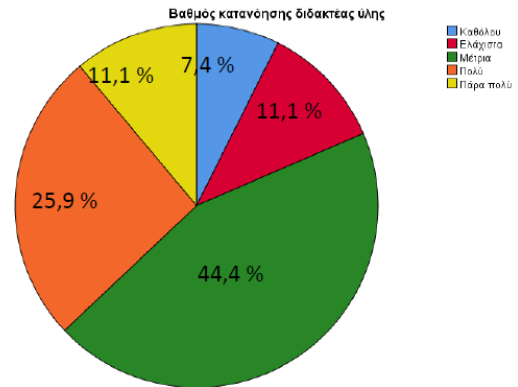
Διάγραμμα 1: Ποσοστά παρακολούθησης εξ' αποστάσεως εκπαίδευσης



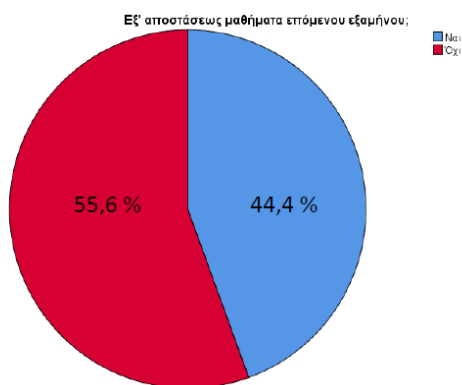
Διάγραμμα 2: Ποσοστά γνώμης εξ' αποστάσεως εκπαίδευσης



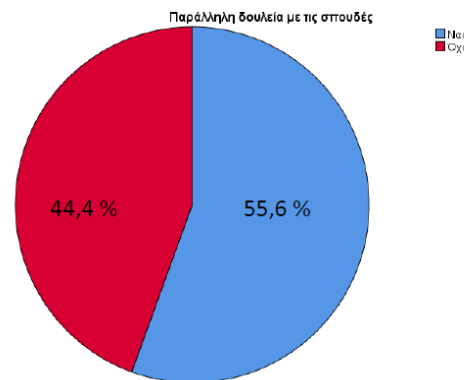
Διάγραμμα 3: Ποσοστά βαθμού ικανοποίησης εξ' αποστάσεως εκπαίδευσης



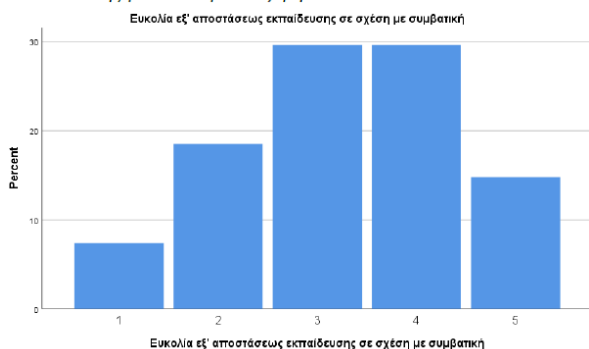
Διάγραμμα 4: Ποσοστά βαθμού κατανόησης διδακτέας ύλης



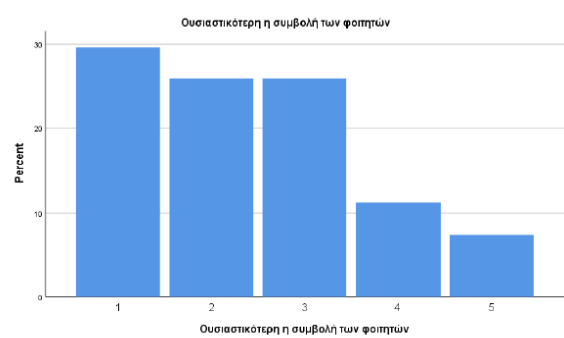
Διάγραμμα 5: Ποσοστά επιθυμίας συνέχειας της εξ' αποστάσεως εκπαίδευσης για το επόμενο εξάμηνο



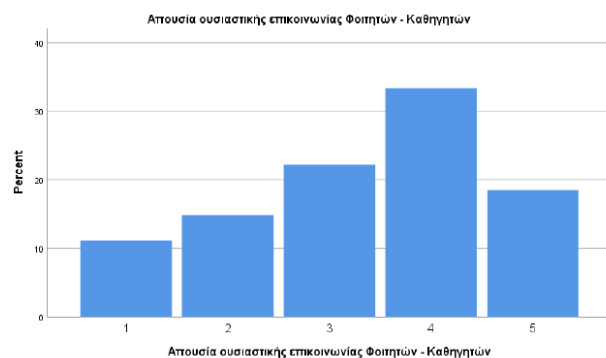
Διάγραμμα 6: Ποσοστά επιθυμίας συνέχειας της εξ' αποστάσεως Εκπαίδευσης για το επόμενο εξάμηνο



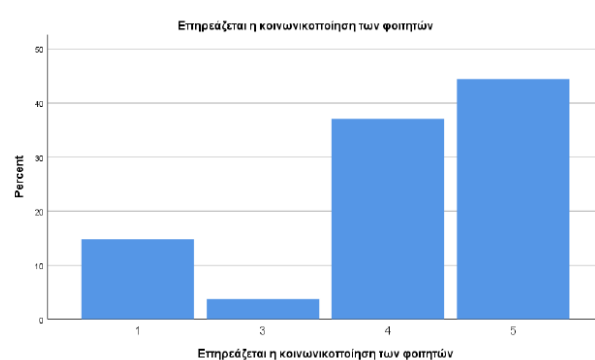
Διάγραμμα 7: Πόσο ευκολότερη θεωρείται η εξ' αποστάσεως εκπαίδευση σε σχέση με τη συμβατική από τους φοιτητές



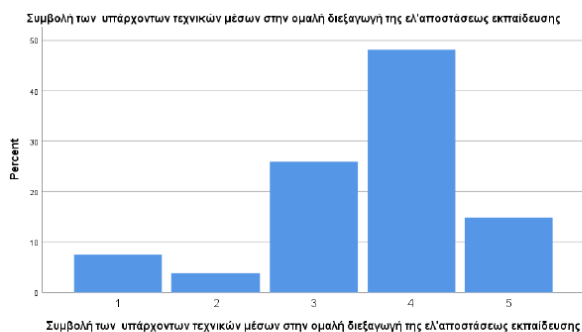
Διάγραμμα 8: Πόσο ευκολότερη θεωρείται η εξ' αποστάσεως εκπαίδευση σε σχέση με τη συμβατική από τους φοιτητές



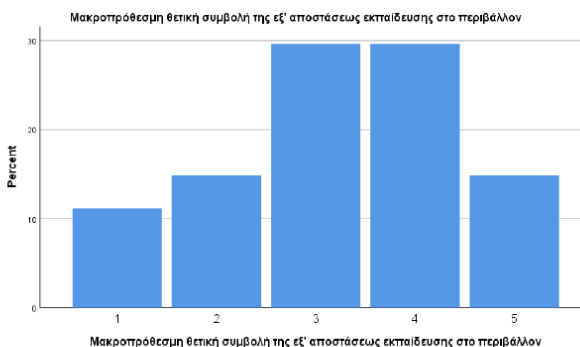
Διάγραμμα 9: Απουσία ουσιαστικής επικοινωνίας φοιτητών - καθηγητών



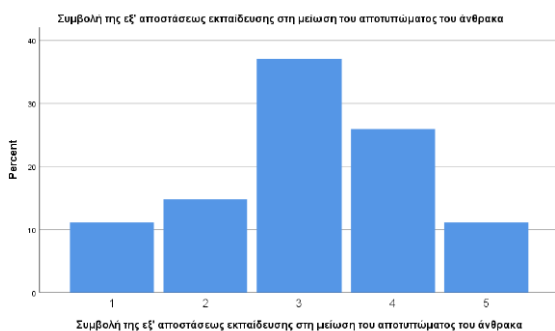
Διάγραμμα 10: Πόσο επηρεάζεται η κοινωνικότητα των φοιτητών



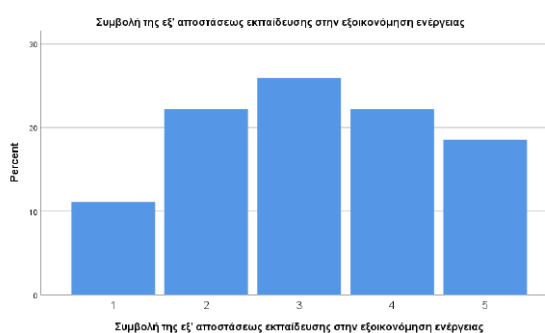
Διάγραμμα 11: Πόσο συμβάλουν τα υπάρχοντα τεχνικά μέσα στην ομαλή διεξαγωγή της εξ' αποστάσεως εκπαίδευσης



Διάγραμμα 12: Μακροπρόθεσμη θετική συμβολή στο περιβάλλον



Διάγραμμα 13: Συμβολή εξ' αποστάσεως εκπαίδευσης στη μείωση του αποτυπώματος του άνθρακα



Διάγραμμα 14: Συμβολή εξ' αποστάσεως εκπαίδευσης στη εξοικονόμηση ενέργειας

Στη συνέχεια της έρευνας απαντήθηκαν συγκεκριμένες ερωτήσεις για την εξ' αποστάσεως εκπαίδευση συγκριτικά με τη συμβατική καθώς και με την μακροπρόθεσμη συμβολή της στο περιβάλλον για τις οποίες οι φοιτητές κλήθηκαν να απαντήσουν κατά πόσο συμφωνούν ή διαφωνούν με την κάθε ερώτηση σε κλίμακα αριθμημένη από το 1 έως το 5. Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψαν λοιπόν τα ακόλουθα αποτελέσματα.

Στην πρώτη ερώτηση που τέθηκε κατά αυτόν τον τρόπο και αφορά το αν η εξ' αποστάσεως εκπαίδευση θεωρείται από τους φοιτητές πιο εύκολη από τη συμβατική, τα ποσοστά απαντήσεων κινήθηκαν όπως φαίνεται από τα αντίστοιχα διαγράμματα ως εξής. Το 7,4 % απάντησε 1, το 18,5 % απάντησε 2, το 29,6 απάντησε 3, επίσης 29,6 % απάντησε 4 και το 14,8 % απάντησε 5.

Η δεύτερη ερώτηση αφορούσε το αν η συμβολή των φοιτητών είναι ουσιαστικότερη στη εξ' αποστάσεως εκπαίδευση σε σχέση με τη συμβατική. Σε αυτή την ερώτηση το 29,6 % των φοιτητών που ερωτήθηκαν απάντησε ότι συμφωνεί κατά 1, το 25,9 % απάντησε ότι συμφωνεί κατά 2, επίσης 25,9 % ότι συμφωνεί κατά 3, το 11,1 % των ερωτηθέντων ότι συμφωνεί κατά 4 ενώ το υπόλοιπο 7,4 % ότι συμφωνεί κατά 5.

Η τρίτη ερώτηση που τέθηκε αναφέρεται στην άποψη των φοιτητών σχετικά με το εάν ο χρόνος διεξαγωγής της εξ' αποστάσεως εκπαίδευσης είναι μεγαλύτερος σε σχέση με τη συμβατική. Σε αυτό το ερώτημα το 22,2 % απάντησε ότι συμφωνεί κατά ένα, το 33,3 % κατά 2, το 18,5 % κατά 3, το 18,5 % κατά 4 ενώ το υπόλοιπο 7,4 % απάντησε ότι συμφωνεί απόλυτα επιλέγοντας το 5 της κλίμακας της ερώτησης.

Η τέταρτη ερώτηση αφορά την απουσία ουσιαστικής επικοινωνίας μεταξύ φοιτητών και καθηγητών που προσφέρει η εξ' αποστάσεως εκπαίδευση σε σχέση με τη συμβατική εκπαίδευση. Εδώ η στατιστική ανάλυση έδειξε ότι το 11,1 % απάντησε 1, ότι δηλαδή δε συμφωνεί με την άποψη ότι δεν υπάρχει ουσιαστική επικοινωνία μεταξύ φοιτητών – καθηγητών κατά την εξ' αποστάσεως εκπαίδευση, το 14,8% βρέθηκε ότι συμφωνεί κατά 2,

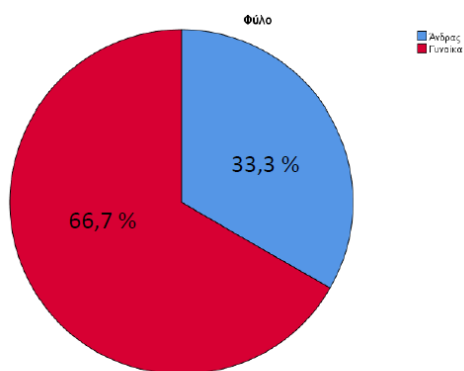
το 22,2 % απάντησε ότι συμφωνεί κατά 3, το 33,3 % κατά 4 ενώ το υπόλοιπο 18,5 των ερωτηθέντων απάντησε ότι συμφωνεί κατά 5.

Η πέμπτη ερώτηση θέτει τον προβληματισμό, εάν η εξ' αποστάσεως εκπαίδευση επηρεάζει την κοινωνικότητα των φοιτητών. Σε αυτό το ερώτημα το 14,8 % απάντησε ότι συμφωνεί κατά 1, κανείς φοιτητής δεν απάντησε ότι συμφωνεί κατά 2, το 3,7 % απάντησε ότι συμφωνεί κατά 3, το 37 % απάντησε ότι συμφωνεί κατά 4 ενώ το 44,4 % ότι συμφωνεί κατά 5.

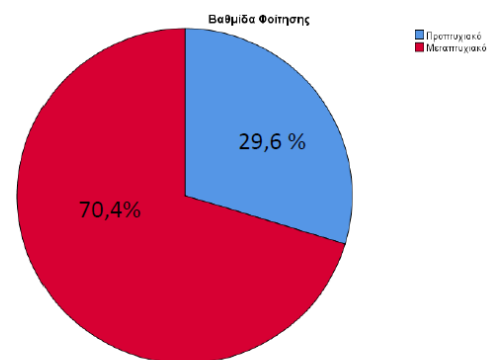
Στην έκτη ερώτηση εξετάζεται αν η χρήση κατάλληλων τεχνικών μέσων συνέβαλε στην ομαλή διεξαγωγή της εξ' αποστάσεως διδασκαλίας. Σε αυτή την περίπτωση το 7,4 % των ερωτηθέντων φοιτητών απάντησε ότι συμφωνεί κατά το ελάχιστο δυνατό επιλέγοντας το 1 της κλίμακας αξιολόγησης, το 3,7 % απάντησε ότι συμφωνεί κατά 2, το 25,9 % απάντησε ότι συμφωνεί κατά 3, το 48,1 % ότι συμφωνεί κατά 4 ενώ το 14,8 % ότι συμφωνεί κατά 5.

Οι τρεις τελευταίες ερωτήσεις είναι περισσότερο περιβαλλοντολογικές και αφορούν το κατά πόσο η εξ' αποστάσεως εκπαίδευση μπορεί να συμβάλει στην εξοικονόμηση ενέργειας (θερμική, φωτεινή), το εάν η εξ' αποστάσεως εκπαίδευση συμβάλει στη μείωση του αποτυπώματος του άνθρακα στην ατμόσφαιρα και εάν αυτός ο τρόπος εκπαίδευσης θα έχει μακροπρόθεσμα θετική συμβολή στο περιβάλλον. Στην πρώτη περίπτωση το 11,1 % απάντησε ότι συμφωνεί κατά 1, το 22,2 % ότι συμφωνεί κατά 2, το 25,9 % ότι συμφωνεί κατά 3, το 22,2 % ότι συμφωνεί κατά 4 ενώ το 18,5 % ότι συμφωνεί κατά 5. Στη δεύτερη ερώτηση με το αποτύπωμα του άνθρακα το 11,1 % των φοιτητών απάντησε ότι συμφωνεί κατά 1, το 14,8 % ότι συμφωνεί κατά 2, το 37 % απάντησε ότι συμφωνεί κατά 3, το 25,9 % κατά 4 και το 11,1 % κατά 5. Και στην τρίτη ερώτηση το 11,1 % των φοιτητών απάντησε ότι συμφωνεί κατά 1, το 14,8 % κατά 2, το 29,6 κατά 3, το 29,6 κατά 4 και το 14,8 κατά 5.

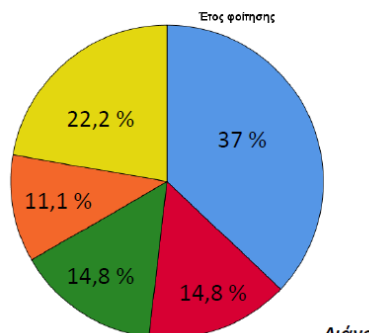
Από τους φοιτητές που απάντησαν στο συγκεκριμένο ερωτηματολόγιο το 33,3 % ήταν άντρες ενώ το 66,7 % γυναίκες. Εκ των οποίων το 29,7 % είναι προπτυχιακοί φοιτητές ενώ το υπόλοιπο 70,4 % είναι μεταπτυχιακοί φοιτητές οι οποίοι φοιτούν από το 1^ο έως το 5^ο έτος όπως φαίνεται και στα ακόλουθα διαγράμματα.



Διάγραμμα 15: Φύλο φοιτητών



Διάγραμμα 16: Βαθμίδα φοίτησης



Διάγραμμα 17: φοίτησης

4.ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπερασματικά, από τις αναλύσεις των αποτελεσμάτων φαίνεται μία καθαρή τάση των φοιτητών υπέρ της εξ' αποστάσεως διδασκαλίας ανεξάρτητα από το φύλο και τη βαθμίδα φοίτησης ή το έτος φοίτησης. Η πλειοψηφία των φοιτητών που ερωτήθηκαν υποστηρίζει ότι η εξ' αποστάσεως εκπαίδευση είναι ευκολότερη από τη συμβατική και η γνώμη που έχει σχηματίσει ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια της πανδημίας που περνάει η ανθρωπότητα τα τελευταία δύο σχεδόν χρόνια.

Τα νέα τεχνικά μέσα που υπάρχουν και συνεχώς εξελίσσονται με την διαρκή ανάπτυξη της τεχνολογίας, έχουν παίξει έναν πολύ σημαντικό ρόλο στην ομαλή διεξαγωγή της εξ' αποστάσεως εκπαίδευσης και συμβάλουν συνεχώς στην επίτευξη της. Ωστόσο θα μπορούσαν να αναπτυχθούν ακόμα περισσότερο αυτά τα μέσα προκειμένου να παρατηρηθεί σημαντική βελτίωση στα όποια μειονεκτήματα του ηλεκτρονικού τρόπου μάθησης.

Σχετικά με το βαθμό κατανόησης της διδακτέας ύλης η πλειοψηφία των φοιτητών απάντησε ότι γίνεται μέτρια κατανοητή. Αυτό πιθανόν να οφείλεται στην απουσία της διαδραστικότητας των μαθημάτων καθώς όλα γίνονται πλέον μπροστά από την οθόνη ενός υπολογιστή και αυτό το γεγονός ίσως έχει αρνητικό αντίκτυπο στην συγκέντρωση των φοιτητών.

Η πλειονότητα των φοιτητών επίσης απάντησε ότι η ικανοποίησή τους για την εξ' αποστάσεως εκπαίδευση είναι μέτρια. Αυτό θα μπορούσε να οφείλεται στην έλλειψη διαπροσωπικής επικοινωνίας τόσο με τους καθηγητές όσο και με τους συμμαθητές. Επιπλέον, η εξολοκλήρου εξ' αποστάσεως μάθηση μπορεί να καταστεί και λίγο κουραστική ορισμένες φορές λόγω της διαρκούς ενασχόλησης με έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Για αυτούς τους λόγους και ένα μεγάλο ποσοστό απάντησε πως δε θα επιθυμούσε το επόμενο εξάμηνο να διεξαχθεί εξ' αποστάσεως. Ωστόσο υπάρχει και ένα αρκετά μεγάλο ποσοστό φοιτητών που δουλεύει παράλληλα με τη σχολή επομένως θα μπορούσε το ποσοστό αυτό να επωφελείται από την εξ' αποστάσεως εκπαίδευση.

Είναι λογικό η εξ' αποστάσεως εκπαίδευση να θεωρείται ευκολότερη από τη συμβατική διότι ο κάθε φοιτητής είναι στο χώρο του, γλυτώνει πιθανές μετακινήσεις και έξοδα. Σχετικά όμως με το εάν η συμβολή των φοιτητών είναι ουσιαστικότερη ή όχι το μεγαλύτερο ποσοστό των ερωτηθέντων φοιτητών απάντησε όχι.

Επιπλέον, η κοινωνικότητα των φοιτητών θεωρείται από τους φοιτητές ότι επηρεάζεται λόγω της εξ' αποστάσεως εκπαίδευσης. Αναμενόμενο αποτέλεσμα καθώς οι φοιτητές επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω των νέων τεχνολογικών μέσων και απουσιάζει η διαπροσωπική επικοινωνία και επαφή.

Όσο να αφορά την σχέση μεταξύ καθηγητών και φοιτητών, οι απόψεις δίστανται καθώς απουσιάζει η διαπροσωπική επικοινωνία που συμβάλει σημαντικά στη γεφύρωση των ανθρώπινων σχέσεων γενικότερα. Ωστόσο πολλοί είναι αυτοί που υποστηρίζουν ότι η επικοινωνία μεταξύ φοιτητών και καθηγητών δεν επηρεάζεται κατά την εξ' αποστάσεως εκπαίδευση και αυτό μπορεί να οφείλεται στις σύγχρονες μεθόδους επικοινωνίας όπως είναι το ακαδημαϊκό μέιλ που διευκολύνει τις επικοινωνιακές σχέσεις μεταξύ μαθητών και καθηγητών.

Τέλος αναφερόμενοι στα περιβαλλοντικά ζητήματα, η πλειονότητα των φοιτητών που ερωτήθηκαν υποστηρίζουν ότι η συμβολή της εξ' αποστάσεως εκπαίδευσης επηρεάζει θετικά την εξοικονόμηση ενέργειας (φωτεινή, θερμική) και στη μείωση του αποτυπώματος του άνθρακα. Ως γνωστόν οι νέες τεχνολογίες επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα με CO₂ οπότε δεν είναι και πολύ φιλικές προς το περιβάλλον από μία άποψη, ωστόσο όμως με την

εκπαίδευση κατά αυτόν τον τρόπο γίνεται εξοικονόμηση ενέργειας από τις διάφορες αίθουσες που υπό άλλες συνθήκες θα καταλάωναν τεράστια ποσά ηλιακής και θερμικής ενέργειας. Επομένως είναι λογικό οι απόψεις των φοιτητών να δίστανται για το αν η εξ' αποστάσεως εκπαίδευση θα έχει θετική συμβολή μακροπρόθεσμα στο περιβάλλον ή όχι.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ανδρεοπούλου, Ζ. (2015) Τεχνολογίες Πληροφορικής και Περιβάλλον. Πανεπιστημιακές παραδόσεις. Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης 2015.
- Pachler, N., & Daly, C. (2011). Key issues in e-learning: Research and practice. A&C Black.
- Welsh, E. T., Wanberg, C. R., Brown, K. G., & Simmering, M. J. (2003). E-learning: emerging uses, empirical results and future directions. *International Journal of Training and Development*, 7(4), 245-258.
- Paulsen, M. F., Nipper, S., & Holmberg, C. (2003). Online education: Learning management systems: Global e-learning in a scandinavian perspective.
- Hrastinski, S. (2008). Asynchronous and synchronous e-learning. *Educause quarterly*, 31(4), 51-55.
- Aydin, C. C., & Tirkes, G. (2010, April). Open source learning management systems in e-learning and Moodle. In *IEEE EDUCON 2010 Conference* (pp. 593-600)
- Rubens, N., Kaplan, D., & Okamoto, T. (2012, September). E-Learning 3.0: anyone, anywhere, anytime, and AI. In *International conference on web-based learning* (pp. 171-180). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Kundi, G. M., & Nawaz, A. (2014). From e-Learning 1.0 to e-Learning 2.0: threats & opportunities for higher education institutions in the developing countries. *European Journal of Sustainable Development*, 3(1), 145-145.

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΞΗΡΑΣ ΟΥΣΙΑΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΡΠΩΝ ΑΚΤΙΝΙΔΙΑΣ

Β.Σ. Τιτέλη¹, Μ. Μιχαηλίδης¹, Α. Μολασιώτης¹

¹Εργαστήριο Δενδροκομίας, Τμήμα Γεωπονίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 57001, Θεσσαλονίκη-Θέρμη, Ελλάδα
e-mail: titelivg@agro.auth.gr

Περίληψη

Το ακτινίδιο αποτελεί δυναμική καλλιέργεια ιδιαίτερης οικονομικής σημασίας για τη χώρα μας. Στόχος της συγκεκριμένης μελέτης ήταν να εκτιμηθεί η πιθανή επίδραση του ξηρού βάρους στο μεταβολισμό της ωρίμανσης των καρπών. Ακτινίδια ποικιλίας 'Hayward' συλλέχθηκαν από 20 οπωρώνες της περιοχής του Νέστου, παρέμειναν σε ψυχρή συντήρηση για χρονικό διάστημα 11 ημερών και αφέθηκαν να ωριμάσουν σε θερμοκρασία δωματίου. Με βάση καταστροφικές και μη-προσεγγίσεις, χωρίστηκαν σε καρπούς 'χαμηλής' και 'υψηλής' περιεκτικότητας σε ξηρά ουσία και προσδιορίστηκαν τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά. Περαιτέρω αισθητηριακή αξιολόγηση και μεταβολομική ανάλυση των καρπών ανέδειξαν διαφοροποιήσεις μεταξύ των ακτινιδίων 'χαμηλής' και 'υψηλής' περιεκτικότητας σε ξηρά ουσία.

Λέξεις κλειδιά: ακτινίδιο, διατροφική αξία, ξηρά ουσία, γεύση, πρωτογενής μεταβολισμός

Abstract

Kiwifruit is a dynamic cultivation of great economic importance in Greece. The objective of this study was to quantify the magnitude and spatial component of among-orchard variation in kiwifruit dry matter (DM) within the Nestos growing region (North Greece) to assess the potential effect of DM on fruit ripening metabolism. Kiwifruits (cv. 'Hayward') were collected from twenty orchards, they were cold stored for 11 days, and then they allowed to ripe at room temperature. Based on destructive and non-destructive approaches, fruits were separated according to their DM into two groups, namely 'low' and 'high' DM fruits. Their quality traits were determined. Further sensory evaluation and metabolomic analysis of fruits' tissues revealed differences between the 'low' and 'high' DM kiwifruits.

Keywords: kiwifruit, nutritional value, dry matter, flavor, primary metabolism

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η καλλιέργεια της ακτινιδιάς εκτιμάται ιδιαίτερα από τους καταναλωτές εξαιτίας της διαιτητικής και διατροφικής αξίας των καρπών της, παρουσιάζοντας ιδιαίτερη οικονομική σημασία παγκοσμίως. Η διαδικασία της ωρίμανσης του ακτινιδίου σηματοδοτείται από αλλαγές σε αισθητήρια στοιχεία του καρπού, όπως η γεύση, η οπτική εμφάνιση, η υφή της σάρκας και το άρωμα (Rodríguez et al., 2013). Τα χαρακτηριστικά αυτά, σε συνδυασμό με τη συντηρησιμότητα του καρπού, προσδιορίζουν την ποιότητά του και καθοδηγούν τις προτιμήσεις του καταναλωτικού κοινού. Τα τελευταία χρόνια, οι έρευνες προσανατολίζονται, όλο και περισσότερο, στη συσχέτιση μεταξύ της γεύσης και της περιεκτικότητας των καρπών σε ξηρά ουσία, καθώς τη μέγιστη αποδοχή από τους καταναλωτές φαίνεται να λαμβάνουν καρποί με υψηλά ποσοστά ξηρού βάρους. Η αυξημένη περιεκτικότητα καρπών ακτινιδίων σε ξηρά ουσία συνδέεται με τη γλυκύτητα στη γεύση, τη μειωμένη οξύτητα και το έντονο άρωμα (Nardozza et al., 2011). Ταυτόχρονα, η γεύση των ώριμων προς κατανάλωση καρπών καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από την περιεκτικότητά τους σε διαλυτά στερεά συστατικά (ΔΣΣ), γεγονός που αποδεικνύει ισχυρή συσχέτιση της ποιότητας με τα ποσοστά ξηρού βάρους των ακτινιδίων. Η τεχνολογία του προσδιορισμού της περιεκτικότητας σε ξηρά ουσία και των ΔΣΣ με τη χρήση της φασματοσκοπικής ανάλυσης με απόκριση σήματος στην εγγύς υπέρυθρη (NIR) περιοχή διευκολύνει το διαχωρισμό των καρπών ακτινιδίων σε συντομότερο χρονικό διάστημα, ενώ επιτρέπει στους παραγωγούς να επιτυγχάνουν υψηλότερες τιμές στην αγορά συμβαδίζοντας με τις προτιμήσεις των καταναλωτών (Woodward and Clearwater, 2008).

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Καρποί ακτινιδιάς *Actinidia deliciosa* της ποικιλίας 'Hayward' συγκομίστηκαν από είκοσι οπωρώνες της περιοχής του Νέστου. Πραγματοποιήθηκε εκτεταμένη ανάλυση μη-καταστροφικής μεθοδολογίας με τη συσκευή Produce Quality Meter (Felix Instruments, USA) με απόκριση σήματος στην εγγύς υπέρυθρη (NIR) περιοχή, για τον προσδιορισμό της ξηράς ουσίας και των ΔΣΣ τους, ενώ στη συνέχεια, προσδιορίστηκαν με καταστροφικό τρόπο τα οργανοληπτικά τους χαρακτηριστικά. Ταυτόχρονα, μέρος των καρπών αποθηκεύτηκε σε θαλάμους ψυχρής συντήρησης (0°C, ΣΥ 95%) για χρονικό διάστημα 11 ημερών. Μετά την απομάκρυνσή τους από την ψυχρή συντήρηση, οι καρποί αφέθηκαν να ωριμάσουν σε συνθήκες θερμοκρασίας δωματίου (20°C, ΣΥ 90%). Πραγματοποιήθηκε εκ νέου ανάλυση των οργανοληπτικών τους χαρακτηριστικών με καταστροφική και μη-μεθοδολογία. Τα φυσιολογικά χαρακτηριστικά που προσδιορίστηκαν ήταν το χρώμα της σάρκας των καρπών με χρωματόμετρο μοντέλου Minolta CR-200 Minolta (Osaka, Japan), η συνεκτικότητα της σάρκας και του λευκού πυρήνα με μηχανικό αναλυτή υφής (TA.XT plusC, Stable Micro Systems, Surrey, UK), η ξηρά ουσία ως ποσοστό (%) του αρχικού νωπού βάρους μιας φέτας ακτινιδίου, τα ΔΣΣ με ψηφιακό σακχαροδιαθλασίμετρο Atago PR-1 (Atago Co Ltd., Tokyo, Japan), η ογκομετρούμενη οξύτητα (ΟΟ) με αυτόματο τιτλοδότη Eco Titrator (Metrohm LTd., Switzerland) και ο δείκτης ωρίμανσης ως η αναλογία ΔΣΣ/ΟΟ.

Στους συγκεκριμένους καρπούς, εφαρμόστηκε συγκριτική μελέτη διαμέσου της Ποσοτικής Περιγραφικής Ανάλυσης από πάνελ δοκιμαστών, με σκοπό τη δημιουργία γευστικού προφίλ. Δείγματα πράσινης σάρκας, λευκού πυρήνα και σπερμάτων των καρπών συλλέχθηκαν από 3 βιολογικές επαναλήψεις ανά δείγμα οπωρώνα, προκειμένου να μελετηθεί το μεταβολομικό αποτύπωμα των καρπών. Ο προσδιορισμός των μεταβολιτών πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τη διαδικασία που αναφέρεται από τους Michailidis et al. (2019), χρησιμοποιώντας αέριο χρωματογράφο (PerkinElmer Clarus® 590, Perkin Elmer,

USA) συνδεδεμένο με φασματογράφο μάζας και αυτόματο δειγματολήπτη (Clarus® SQ 8 S MS, Perkin Elmer, USA).

2.1. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Η στατιστική ανάλυση των πειραματικών δεδομένων διεξήχθη με την Ανάλυση της Διακύμανσης (ANOVA) χρησιμοποιώντας το στατιστικό πακέτο SPSS (SPSS v22.0., Chicago, USA). Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές προσδιορίστηκαν με το κριτήριο της Ελάχιστης Σημαντικής Διαφοράς (LSD) με βάση το τεστ πολλαπλής διακύμανσης του Duncan για $p \leq 0,05$. Οι συσχετίσεις των φυσιολογικών χαρακτηριστικών με τα αποτελέσματα της Ποσοτικής Περιγραφικής Ανάλυσης εκτιμήθηκαν χρησιμοποιώντας το συντελεστή συσχέτισης του Pearson.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης, καρποί που έλαβαν τη μεγαλύτερη βαθμολογία της ηδονικής κλίμακας κατά τη γευστική αξιολόγηση για τις παραμέτρους της γεύσης και της συνολικής αποδοχής, είχαν και την υψηλότερη περιεκτικότητα σε ξηρά ουσία. Ταυτόχρονα, καρποί με χαμηλά ποσοστά ξηράς ουσίας που βαθμολογήθηκαν υψηλά, παρουσίασαν αυξημένες τιμές σε ΔΣΣ και ογκομετρούμενη οξύτητα. Η περιεκτικότητα σε ξηρά ουσία παρουσίασε ισχυρή θετική συσχέτιση με την περιεκτικότητα σε ΔΣΣ που προσδιορίστηκε με καταστροφική και μη-προσέγγιση, καθώς και με την ογκομετρούμενη οξύτητα. Τα συγκεκριμένα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά επηρέασαν τη γεύση και τη συνολική αποδοχή των καρπών από το πάνελ δοκιμαστών. Σε προηγούμενες μελέτες, αναφέρεται πώς η περιεκτικότητα των καρπών ακτινιδίων σε ξηρά ουσία κατά το στάδιο της συγκομιδής, αναγνωρίζεται ως ένας ιδιαίτερα σημαντικός δείκτης ποιότητας. Η ξηρά ουσία περιλαμβάνει τόσο τα ΔΣΣ (κυρίως σάκχαρα) όσο και τα αδιάλυτα στερεά συστατικά του καρπού (δομικούς υδατάνθρακες και άμυλο), ενώ δεδομένης της σχέσης μεταξύ ξηρού βάρους και γεύσης, αποτελεί κριτήριο επιλογής για τους καταναλωτές (Wu et al., 2013). Ακτινίδια με αυξημένα ποσοστά ξηράς ουσίας είναι περισσότερο αποδεκτά στις διεθνείς αγορές, καθώς ταυτόχρονα, παρατηρείται ότι έχουν πιο γλυκιά γεύση όταν αυτά ωριμάσουν. Συχνά λαμβάνεται υπόψη και η συσχέτιση μεταξύ τιτλοδοτούμενης οξύτητας και ξηράς ουσίας. Καρποί χαμηλότερου ξηρού βάρους γίνονται αποδεκτοί από το καταναλωτικό κοινό όταν διαθέτουν ταυτόχρονα αυξημένη οξύτητα αλλά και ΔΣΣ. Η περιεκτικότητα ενός καρπού σε ξηρά ουσία διαμορφώνεται από πρωτογενείς μεταβολίτες (δομικούς και μη-υδατάνθρακες, οργανικά οξέα, πρωτεΐνες), δευτερογενείς μεταβολίτες (φαινολικά οξέα, φλαβονοειδή, καροτενοειδή, βιταμίνες) και ανόργανα άλατα και φυτο-ορμόνες, που ανιχνεύονται σε χαμηλότερες συγκεντρώσεις (Nardoza et al., 2020b). Οι ουσίες του πρωτογενούς μεταβολισμού αποτελούν σημαντικά κριτήρια ποιότητας καρπών ακτινιδιάς, μεταβαλλόμενα κατά την εξέλιξη της ωρίμανσης και παρουσιάζουν άμεση συσχέτιση με τη γεύση και τα αρώματα των καρπών. Στην παρούσα μελέτη, σάκχαρα όπως η γλυκόζη, φρουκτόζη και σακχαρόζη ανιχνεύθηκαν σε μεγάλη αφθονία και παρουσίασαν υψηλότερη συσσώρευση σε καρπούς με αυξημένα ποσοστά ξηρού βάρους, ενώ τα επίπεδα του κιτρικού οξέος μεταβλήθηκαν σε ιστούς καρπών με διαφορετική περιεκτικότητα σε ξηρά ουσία.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα διαφορετικά επίπεδα περιεκτικότητας σε ξηρά ουσία και οι μεταβολικές διαφοροποιήσεις που προκλήθηκαν σε ιστούς καρπών ακτινιδιάς κατά το στάδιο της

πλήρους ωριμότητάς τους, ανέδειξαν τις παρακάτω παρατηρήσεις όσον αφορά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους:

- Καρποί με αυξημένα ποσοστά ξηρού βάρους παρουσιάζουν αυξημένη περιεκτικότητα σε ΔΣΣ και αυξημένη γλυκύτητα στη γεύση.
- Καρποί με χαμηλά ποσοστά ξηρού βάρους, αλλά ταυτόχρονα, αυξημένη περιεκτικότητα σε ΔΣΣ και αυξημένη οξύτητα, γίνονται αποδεκτοί από τους καταναλωτές.
- Πρωτογενείς μεταβολίτες από την ομάδα των σακχάρων ανιχνεύτηκαν σε μεγαλύτερη αφθονία σε καρπούς με υψηλή περιεκτικότητα σε ξηρά ουσία.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η έρευνα χρηματοδοτείται από το Επιχειρησιακό Πρόγραμμα "ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ –ΘΡΑΚΗ» 2014–2020 ΕΥΔ ΕΠ Περιφέρειας Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης 'Επενδυτικά Σχέδια Καινοτομίας, Έρευνας και Ανάπτυξης Επιχειρήσεων του Κλάδου Αγροδιατροφής' (κωδικός πράξης: ΑΜΘΡ4-0040267, κωδικός έργου: 98842).

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Michailidis, M., Karagiannis, E., Tanou, G., Sarrou, E., Stavridou, E., Ganopoulos, I., ... & Molassiotis, A., 2019. An integrated metabolomic and gene expression analysis identifies heat and calcium metabolic networks underlying postharvest sweet cherry fruit senescence. *Planta*, 250(6).
- Nardoza, S., Cooney, J., Boldingh, H.L., Hewitt, K.G., Trower, T., Jones, D., Thrimawithana, A.H., Allan, A.C., and Richardson, A.C., 2020b. Phytohormone and transcriptomic analysis reveals endogenous cytokinins affect kiwifruit growth under restricted carbon supply. *Metabolites*, 10(1), 1–18.
- Nardoza, S., Gamble, J., Axten, L.G., Wohlers, M.W., Clearwater, M.J., Feng, J., and Harker, F.R., 2011. Dry matter content and fruit size affect flavour and texture of novel *Actinidia deliciosa* genotypes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(4), 742–748.
- Rodríguez, A., Alquézar, B., and Peña, L., 2013. Fruit aromas in mature fleshy fruits as signals of readiness for predation and seed dispersal. *New Phytologist*, 197(1), 36–48.
- Woodward, T.J., and Clearwater, M.J., 2008. Relationships between 'Hayward' kiwifruit weight and dry matter content. *Postharvest Biology and Technology*, 48(3), 378–382.
- Wu, J.H., Ferguson, A.R., Murray, B.G., Duffy, A.M., Jia, Y., Cheng, C., and Martin, P.J., 2013. Fruit quality in induced Polyploids of *Actinidia chinensis*. *HortScience*, 48(6), 701–707.

Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΥΣΤΗΜΙΚΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΣΤΗΝ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΤΡΑΥΜΑΤΙΣΜΟΥ ΣΤΗΝ ΩΡΙΜΑΝΣΗ ΚΑΡΠΩΝ ΑΚΤΙΝΙΔΙΑΣ

Χ. Πολυχρονιάδου¹, Μ. Μιχαηλίδης¹, Α. Μολασιώτης¹

¹Εργαστήριο Δενδροκομίας, Τμήμα Γεωπονίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης,
Θεσσαλονίκη – Θέρμη 57001, Ελλάδα
e-mail: polychry@agro.auth.gr

Περίληψη

Στην εργασία αυτή αναφέρονται οι σύγχρονες ολιστικές τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν ώστε να ερμηνευτεί το φαινόμενο του τραυματισμού στη μετασυλλεκτική ποιότητα καρπών ακτινιδιάς. Ο τραυματισμός των καρπών αποτελεί πολύ συχνό φαινόμενο κατά τη συγκομιδή και τις μετασυλλεκτικές μεταχειρίσεις ειδικά στα ακτινίδια λόγω της αυξημένης τους ευαισθησίας. Τα αποτελέσματα υπέδειξαν μεταβολές στα φυσιολογικά χαρακτηριστικά των καρπών όπως τη συνεκτικότητα της σάρκας και του λευκού πυρήνα, την απώλεια βάρους και τους ρυθμούς παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα και αιθυλενίου. Επιπλέον, η ανάλυση του πρωτογενούς μεταβολισμού και της γονιδιακής έκφρασης ενίσχυσαν τις αρχικές παρατηρήσεις αναδεικνύοντας μεταβολίτες και γονίδια με σημαντικό ρόλο σε κυτταρικές λειτουργίες ως προς την απόκριση της σηματοδότησης κατά τον τραυματισμό.

Λέξεις κλειδιά: ακτινίδιο, τραυματισμός, μεταβολομική ανάλυση, ανάλυση γονιδιακής έκφρασης

Abstract

To expand our knowledge of ripening metabolism induced by wounding, an artificial-wound global transcriptome investigation combined with metabolite profiling study was conducted in postharvest kiwifruit (*Actinidia deliciosa* cv. 'Hayward'). Wounding treatment promoted fruit ripening, as demonstrated by changes in flesh and white core firmness, weight loss, respiration rate and ethylene production. Meanwhile, primary metabolism and gene expression analysis reinforced the delay in ripening by highlighting metabolites and genes with key role in cellular functions as a response to wound signaling.

Keywords: kiwifruit, wounding, metabolomic analysis, gene expression analysis

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το ακτινίδιο είναι ένας καρπός με μεγάλη εμπορική σημασία για τη χώρα μας που αποτελεί παράλληλα μοντέλο για τη μελέτη βιολογικών φαινομένων κατά την ωρίμανση. Η προσεκτική και έγκυρη συγκομιδή του είναι υψίστης σημασίας για τη διασφάλιση της καλύτερης ποιότητας. Πολλές φορές, όμως, τόσο κατά τη συγκομιδή όσο και κατά μετασυλλεκτική διαχείριση των καρπών προκαλούνται τραυματισμοί που υποβαθμίζουν την ποιότητά τους. Οι σύγχρονες ολιστικές τεχνολογίες μας έχουν δώσει τη δυνατότητα να μελετήσουμε καλύτερα τις αποκρίσεις στο φαινόμενο του τραυματισμού το οποίο σε φυσιολογικό στάδιο συνδέεται με την μείωση της συνεκτικότητας και την αυξημένη παραγωγή αιθυλενίου και διοξειδίου του άνθρακα (Martinez-Romero et al., 2004) και μεταγενέστερα με την έκφραση μεταβολιτών και γονιδίων που εντάσσονται σε ποικίλα βιοχημικά μονοπάτια (Savatin et al., 2014). Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη του τραυματισμού στην διαδικασία ωρίμανσης καρπών ακτινιδιάς σε φυσιολογικό και μεταβολομικό επίπεδο. Επιπλέον, γίνεται αναφορά σε γονίδια που έχουν άμεση σχέση με το φαινόμενο.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Ο τεχνητός τραυματισμός προκλήθηκε σε καρπούς της ποικιλίας Hayward από την εισαγωγή βελόνας σε βάθος 1 εκ. στη σάρκα του καρπού. Στη συνέχεια, οι καρποί αφέθηκαν σε θερμοκρασία δωματίου (20°C, ΣΥ 90%) για 8 ημέρες όπου και μελετήθηκαν τα φυσιολογικά τους χαρακτηριστικά ήτοι, η συνεκτικότητα της σάρκας και του λευκού πυρήνα [Texture Analyzer TA XT2i (Stable Microsystems, Godalming, Surrey, UK)], το χρώμα (Minolta CR-200 Minolta, Osaka, Japan), τα διαλυτά στερεά συστατικά (ΔΣΣ) (Atago PR-101, Atago Co. Ltd., Japan), η ογκομετρούμενη οξύτητα (ΟΟ), ο δείκτης ωρίμανσης (ΔΣΣ/ΟΟ), η απώλεια βάρους και ο ρυθμός παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα και αιθυλενίου (Shimadzu GC-2014, Kyoto, Japan). Για την μελέτη του πρωτογενούς μεταβολισμού χρησιμοποιήθηκε ιστός πράσινης σάρκας και εφαρμόστηκε η διαδικασία όπως έχει περιγραφεί από τους (Michailidis et al., 2019) με μικρές τροποποιήσεις. Εν συνεχεία χρησιμοποιήθηκε αέριος χρωματογράφος με φασματογράφο μάζας (PerkinElmer Clarus SQ 8 S GC/MS). Για την τρανσκριπτομική ανάλυση πραγματοποιήθηκε εκχύλιση του ολικού RNA (RNeasy® Mini Plant Kit from Qiagen (Valencia, CA, USA)) για το χρονικό σημείο των 4 ημερών στους 20 °C μετά από τον τραυματισμό.

Η στατιστική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με το στατιστικό πακέτο SPSS (SPSS v21.0., Chicago, ΗΠΑ). Οι μέσοι όροι τριών βιολογικών επαναλήψεων κάθε μεταχείρισης μελετήθηκαν και οι στατιστικώς σημαντικές διαφορές υπολογίσθηκαν βάση του t-Student Test, για επίπεδο σημαντικότητας $P \leq 0.05$.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τόσο η συνεκτικότητα της σάρκας όσο και του λευκού πυρήνα μειώθηκε μετά από 4 και 8 ημέρες από τον τραυματισμό εν αντιθέσει με τον ρυθμό ωρίμανσης, την απώλεια βάρους και το ρυθμό παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα και αιθυλενίου που αυξήθηκαν ως απόκριση στον τραυματισμό. Το φαινόμενο του μαλακώματος του καρπού μετά από τραυματισμό έχει ήδη αναφερθεί (Lu et al., 2016) και στην παρούσα μελέτη ενισχύθηκε από την ανάλυση των διαφορετικώς εκφραζόμενων γονιδίων η οποία έδειξε ότι τα γονίδια που σχετίζονται με τη δομή του κυτταρικού τοιχώματος, ήτοι πεκτινεστεράσες (*AdPE.1*, *AdPE.2*), πολυγαλακτουρονάσες (*AdPG.1*, *AdPG.2*), πηκτικές λυάσες (*AdPel.1*, *AdPel.2*) και πηκτικές ακετυλεστεράσες (*AdPAE.1*,

AdPAE.2), αύξησαν την έκφρασή τους ως απόκριση του τραυματισμού. Οι Tanou et al., 2015 υπογράμμισαν ότι τα γονίδια αυτά μπορεί να εμπλέκονται και σε άλλες διαδικασίες που αφορούν την ωρίμανση των ακτινιδίων. Αναφορικά με την αύξηση του ρυθμού αναπνοής, στους τραυματισμένους καρπούς μπορεί να συνδεθεί με την συσσώρευση ορισμένων μεταβολιτών (κιτρικό και σουκινικό οξύ) και γονιδίων που συμμετέχουν τον κύκλο του κιτρικού οξέος (*AdCS*, *AdMDH*). Πιο συγκεκριμένα, η μελέτη του πρωτογενούς μεταβολισμού ανέδειξε τη συσσώρευση σακχάρων όπως της γλυκόζης, της φρουκτόζης και της σουκρόζης. Επιπλέον, η επαγωγή της γονιδιακής έκφρασης της β-αμυλάσης (*AdBAM*) και της συνθάσης σουκρόζης (*AdSuSy*) που εμπλέκονται στο μεταβολισμό του αμύλου και κατάλυση της σουκρόζης σε γλυκόζη και φρουκτόζη (Chen et al., 2017), αντίστοιχα, ενισχύουν την παραπάνω υπόθεση. Γονίδια που σχετίζονται με την βιοσύνθεση του αιθυλενίου (*AdERF1.1*, *AdACO.7*) βρέθηκαν επίσης να αυξάνουν, επιβεβαιώνοντας την αυξημένη αναπνοή και τη σχέση του τραυματισμού με την επαγωγή της παραγωγής αιθυλενίου (Owino et al., 2002). Επιπλέον, γονίδια που σχετίζονται με άλλες ορμόνες όπως με τη βιοσύνθεση και το μεταβολισμό της αυξίνης (*AdIAASGH3.5*, *AdAI6B.1*) και με τον καταβολισμό της γιββερελλίνης (*AdGA2ox2.1*, *AdGA2ox2.2*) βρέθηκαν με επαυξημένη έκφραση, γεγονός που αναδεικνύει ότι η ορμονική ομοίωση παίζει σημαντικό ρόλο ως απόκριση στους τραυματισμούς. Ο δευτερογενής μεταβολισμός φαίνεται επίσης να επηρεάστηκε λαμβάνοντας υπόψη την έκφραση γονιδίων της φαινυλαλανίνης αμμωνίας λυάσης (*AdPAL.1*, *AdPAL.2*), ενώ πρόσφατα οι Jacobo-Velázquez et al., 2015 τεκμηρίωσαν τους μηχανισμούς βιοσύνθεσης φαινολικών ενώσεων ως απόκριση στον τραυματισμό. Μια ακόμα σημαντική κατηγορία γονιδίων που ανέδειξε η παρούσα μελέτη είναι αυτά που σχετίζονται με το ασβέστιο μεταξύ των οποίων κάποια είχαν αυξημένη (*AdCbeFh*, *AdCDPK.1*) και άλλα μειωμένη (*AdCaM.1*, *AdCaM.2*) έκφραση. Η παρουσία του ασβεστίου στη σηματοδότηση κατά την απόκριση των φυτών σε συνθήκες καταπονήσεων είναι πράγματι γνωστή (Dodd et al., 2010) και τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης ενισχύουν τη δυναμική του παρουσία κατά την πραγματοποίηση διαφόρων κυτταρικών μεταβολών. Τέλος, η απώλεια βάρους μπορεί να συσχετιστεί με την μειωμένη έκφραση των γονιδίων που σχετίζονται με τις υδατοπορίνες (*AdAQP.1*, *AdAQP.3*), πρωτεΐνες που ρυθμίζουν το υδατικό δυναμικό του κυττάρου.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα μελέτη έδειξε ότι ο τραυματισμός των ακτινιδίων προκαλεί μείωση της συνεκτικότητας του καρπού και αύξηση της απώλειας βάρους και των ρυθμών αναπνοής και διαπνοής. Τα στοιχεία αυτά ενισχύθηκαν τόσο από τα αποτελέσματα της πρωτογενούς μεταβολομικής ανάλυσης (συσσώρευση σακχάρων και οργανικών οξέων) όσο και από την ανάλυση της γονιδιακής έκφρασης η οποία μεταξύ άλλων υπέδειξε γονίδια σχετιζόμενα με τον κύκλο του κιτρικού οξέος, τη δομή του κυτταρικού τοιχώματος, τον δευτερογενή μεταβολισμό, τις υδατοπορίνες, την παρουσία ασβεστίου και την σηματοδότηση ορμονών.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η έρευνα υλοποιείται στο πλαίσιο της Ενιαίας Δράσης Κρατικών Ενισχύσεων Έρευνας, Τεχνολογικής Ανάπτυξης & Καινοτομίας «ΕΡΕΥΝΩ – ΔΗΜΙΟΥΡΓΩ – ΚΑΙΝΟΤΟΜΩ» του Ε.Π. «Ανταγωνιστικότητα, Επιχειρηματικότητα και Καινοτομία» (ΕΠΑνΕΚ) 2014-2020 και συγχρηματοδοτείται από το Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης (ΕΤΠΑ) (κωδικός έργου Τ2ΕΔΚ-03007).

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Chen, C., Yuan, Y., Zhang, C., Li, H., Ma, F., and Li, M., 2017. *Sucrose phloem unloading follows an apoplastic pathway with high sucrose synthase in Actinidia fruit*. *Plant Science*, 255, 40–50.
- Dodd, A.N., Kudla, J., and Sanders, D., 2010. *The language of calcium signaling*. *Annual Review of Plant Biology*, 61, 593–620.
- Jacobo-Velázquez, D.A., González-Aguëro, M., and Cisneros-Zevallos, L., 2015. *Cross-talk between signaling pathways: The link between plant secondary metabolite production and wounding stress response*. *Scientific Reports*, 5(1), 1–10.
- Martinez-Romero, D., Serrano, M., Carbonell, A., Castillo, S., Riquelme, F., and Valero, D., 2004. *Mechanical damage during fruit post-harvest handling: technical and physiological implications*. In: Dris R., Jain S.M. (eds) *Production practices and quality assessment of food crops*. Springer, Dordrecht.
- Michailidis, M., Karagiannis, E., Tanou, G., Sarrou, E., Stavridou, E., Ganopoulos, I., Karamanoli, K., Madesis, P., Martens, S., and Molassiotis, A., 2019. *An integrated metabolomic and gene expression analysis identifies heat and calcium metabolic networks underlying postharvest sweet cherry fruit senescence*. *Planta*, 250(6), 2009–2022.
- Owino, W. O., Nakano, R., Kubo, Y., and Inaba, A., 2002. *Differential regulation of genes encoding ethylene biosynthesis enzymes and ethylene response sensor ortholog during ripening and in response to wounding in avocados*. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 127(4), 520–527.
- Savatin, D.V., Gramegna, G., Modesti, V., and Cervone, F., 2014. *Wounding in the plant tissue: The defense of a dangerous passage*. *Frontiers in Plant Science*, 5, 1–11.
- Tanou, G., Minas, I.S., Karagiannis, E., Tsikou, D., Audebert, S., Papadopoulou, K.K., and Molassiotis, A., 2015. *The impact of sodium nitroprusside and ozone in kiwifruit ripening physiology: A combined gene and protein expression profiling approach*. *Annals of Botany*, 116(4), 649–662.

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ GLAM ΚΑΙ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Δ. Κασαμπαλής¹, Κ. Pattnayak², C. Symonds², Θ. Αλεξανδρίδης^{1*}, A. Challinor²

¹Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, Φασματοσκοπίας και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, Τμήμα Γεωπονίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 54124, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα

²School of Earth and Environment, University of Leeds, Leeds, Great Britain

e-mail: dkasampa@agro.auth.gr, thalex@agro.auth.gr

Περίληψη

Στην εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκε το γενικευμένο μοντέλο εκτίμησης παραγωγή GLAM συνδυαστικά με δεδομένα δορυφορικής τηλεπισκόπησης με τη χρήση μεθόδων συγχώνευσης δεδομένων (data assimilation) με στόχο τον έλεγχο της βελτίωσης της ακρίβειας στην εκτίμηση της παραγωγής αραβόσιτου στη Γκάνα. Για τον σκοπό αυτό εφαρμόστηκαν τρεις προσεγγίσεις: α) εφαρμογή της μεθόδου Ensemble Kalman filter (EnKF), β) εφαρμογή μιας απλής μεθόδου συγχώνευσης δεδομένων και γ) απλή εφαρμογή του μοντέλου. Από τα αποτελέσματα φάνηκε ότι η μέθοδος EnKF είχε την καλύτερη επίδοση στην εκτίμηση της παραγωγής σε σχέση με τις άλλες δυο μεθόδους (RMSE = 16.61%).

YIELD ESTIMATION OF MAIZE USING GLAM MODEL AND REMOTE SENSING DATA

D. Kasampalis¹, K. Pattnayak², C. Symonds², Th. Alexandridis^{*}, A. Challinor²

¹Lab of Remote Sensing, Spectroscopy and Geographic Information Systems, School of Agriculture, Aristotle University of Thessaloniki, 54124, Thessaloniki, Greece

²School of Earth and Environment, University of Leeds, Leeds, Great Britain

e-mail: dkasampa@agro.auth.gr, thalex@agro.auth.gr

Abstract

In this study the Generalized Large Area Model (GLAM) crop yield model was used, along with satellite remote sensing data using data assimilation methods to improve yield estimation accuracy of maize in Ghana. Three approaches were tested: a) Ensemble Kalman Filter method (EnKF), b) a simple data assimilation method and c) simple run of the model without data assimilation. The results shown that the EnKF method performed better at estimated maize yield, than the other two approaches (RMSE = 16.61%) for the specific area in Ghana.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα μοντέλα εκτίμησης παραγωγής προσομοιώνουν την ανάπτυξη μιας καλλιέργειας, η οποία επηρεάζεται σημαντικά από βιοτικούς και αβιοτικούς παράγοντες (Chenu et al., 2017). Η κατανόηση αυτών των σχέσεων και η έκφρασή τους στη μορφή μια εξίσωσης ενός μοντέλου, είναι σημαντική για την επιτυχή εκτίμηση της παραγωγής. Δεδομένου ότι όλα τα μοντέλα είναι απλά μια προσπάθεια αναπαράστασης της πραγματικότητας, είναι γνωστό ότι αυτά έχουν πολλές αβεβαιότητες. Αυτές οι αβεβαιότητες των μοντέλων είναι σε μεγάλο βαθμό αναπόφευκτες λόγω της απλουστευμένης περιγραφής των διαδικασιών των μοντέλων και των μαθηματικών εκφράσεων που δεν αναπαράγουν πλήρως τις φυτικές διεργασίες σε επίπεδο κυττάρων (Acock & Acock, 1991). Μία επιπλέον πηγή αβεβαιότητας είναι η υποκειμενικότητα του χρήστη κατά την παραμετροποίηση του μοντέλου (Confalonieri et al., 2016).

Το μοντέλο GLAM (Generalized Large Area Model) είναι ένα process-based μοντέλο για χρήση με δεδομένα μεγάλης κλίμακας (Challinor et al., 2003). Η συγχώνευση δεδομένων τηλεπισκόπησης σε μοντέλα εκτίμησης παραγωγής δίνει υψηλότερη ακρίβεια λόγω καλύτερης χωρικής και χρονικής απεικόνισης της κατάστασης της καλλιέργειας (Kasampalis et al., 2018). Αυτή η εργασία είναι η πρώτη προσπάθεια δημιουργίας ενός πλαισίου συγχώνευσης δεδομένων τηλεπισκόπησης με το μοντέλο GLAM και παρουσιάζονται τα προκαταρκτικά αποτελέσματα από την πρώτη εφαρμογή του μοντέλου σε εκτίμηση αραβόσιτου στην Γκάνα.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

2.1. Περιοχή μελέτης

Η περιοχή μελέτης είναι η επαρχία Gambaga στην Γκάνα και επιλέχθηκε καθώς εκεί καλλιεργείται έντονα αραβόσιτος. Για την επιλογή της πιο έντονα καλλιεργούμενης έκτασης στην Γκάνα χρησιμοποιήθηκε η βάση δεδομένων MIRCA2000 που παρέχεται σε πλέγμα αναφοράς περίπου 9x9km και επιλέχθηκαν εκείνα τα κελιά στα οποία ο αραβόσιτος καλλιεργείται σε περισσότερο από 85 εκατοστημόρια (85-percentiles) των pixels.

2.2. Βαθμονόμηση του μοντέλου GLAM

Το μοντέλο GLAM βαθμονομήθηκε για την περίοδο 1980 έως 1994 και αργότερα χρησιμοποιώντας τις βαθμονομημένες παραμέτρους αξιολογήθηκε το μοντέλο για την περίοδο 1995 έως 2010. Και στις δύο περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα EWEMBI ως δεδομένα εισόδου για τον καιρό. Τα δεδομένα EWEMBI καλύπτουν ολόκληρη την υδρόγειο σε κλίμακα 0.5x0.5° και ημερήσια χρονική ανάλυση από το 1979 έως το 2013.

2.3. Δεδομένα τηλεπισκόπησης

Χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (Leaf Area Index, LAI) που παρέχεται από τον αισθητήρα AVHRR του NOAA (CDR) σε χωρική ανάλυση 0,05° x 0,05° και με ημερήσια χρονική ανάλυση από το 1981 έως σήμερα. Το σύνολο δεδομένων LAI που αφορούσε στην περιοχή ενδιαφέροντος μετατράπηκε σε μορφή αρχείου ASCII, το οποίο μπορεί εύκολα να εισαχθεί απευθείας στο GLAM.

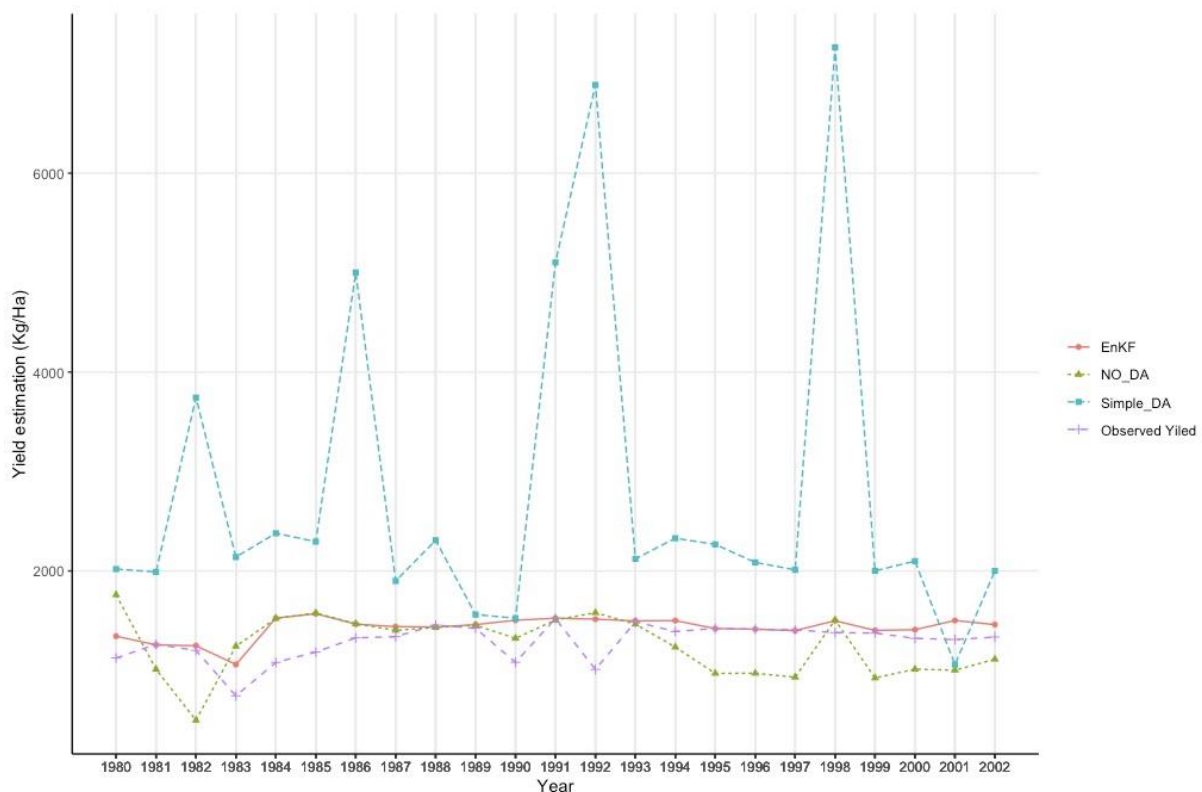
2.4. Πλαίσιο συγχώνευσης δεδομένων

Εφαρμόστηκαν οι εξής δυο τεχνικές συγχώνευσης δεδομένων α) απλή μέθοδος (Simple DA) και β) η τεχνική Ensemble Kalman Filter (EnKF). Στην απλή μέθοδο, οι τιμές του LAI AVHRR αντικατέστησαν τις υπολογιζόμενες από το μοντέλο τιμές LAI. Κατά την εφαρμογή

του EnKF, ξεκινώντας από το πρώτο φαινολογικό στάδιο της καλλιέργειας, τη χρονική στιγμή που υπάρχει διαθέσιμη παρατηρούμενη τιμή του LAI, τότε αυτή η τιμή αλλά και η μοντελοποιημένη τιμή του LAI συνδυάζονται και δημιουργείται μια νέα τιμή LAI σύμφωνα με τις εξισώσεις του EnKF, αυτή η νέα τιμή χρησιμοποιείται για να ενημερώσει το μοντέλο μέχρι τη στιγμή που θα υπάρξει νέα παρατηρούμενη τιμή LAI.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα αποτελέσματα (Διάγραμμα 1) δείχνουν ότι η εκτιμώμενη παραγωγή χωρίς συγχώνευση δεδομένων (NO_DA) είχε χαμηλή ακρίβεια με r -0,13, RMSE 366,12 Kg/Ha, RMSE (%) 28,45% και μεγάλες διακυμάνσεις μεταξύ των αναφερόμενων και των εκτιμώμενων τιμών. Η προσομοίωση με Simple_DA με r -0,03, RMSE 2224,07Kg/Ha και RMSE (%) 172,84% δείχνει επίσης μεγάλες διακυμάνσεις. Η προσομοίωση με εφαρμογή της μεθόδου EnKF είχε r 0,47, RMSE 213,76 Kg/ha και RMSE (%) 16,61%.



Διάγραμμα 3 Αποτελέσματα τις εκτίμησης της παραγωγής καλαμποκιού χρησιμοποιώντας το μοντέλο GLAM, στην περιοχή της επαρχίας Gambaga στη Γκάνα. Αποτελέσματα από τρεις διαφορετικές προσομοιώσεις εκτίμησης παραγωγής καλλιέργειας.

Η μέθοδος SimpleDA υπερεκτίμησε την παραγωγή σχεδόν για όλα τα έτη με εξαίρεση το έτος 2001, όπου υποεκτιμήθηκε κατά -19%. Το 1992, η SimpleDA υπερεκτίμησε την παραγωγή του αραβοσίτου κατά 583%. Το έτος 1992 το μοντέλο EnKF υπερεκτίμησε την παραγωγή κατά 50,1%, η οποία ήταν και η μεγαλύτερη απόκλιση. Τέλος, το μοντέλο NO_DA, υπερεκτίμησε κατά 67,1% την παραγωγή το έτος 1983, η οποία ήταν και η μεγαλύτερη απόκλιση. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το μοντέλο EnKF είχε καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με τις άλλες δύο προσομοιώσεις, σύμφωνα με τη σύγκριση με τα δεδομένα FAOStats.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων εκτίμησης της παραγωγής με συγχώνευση δεδομένων και χωρίς, φάνηκε ότι η το μοντέλο με τη μέθοδο EnKF είναι μια πολλά υποσχόμενη προσέγγιση για τη βελτίωση της εκτίμησης της παραγωγής του αραβοσίτου για τη συγκεκριμένη περιοχή στη Γκάνα.

Ένας από τους βασικούς περιορισμούς αυτής της μελέτης ήταν το γεγονός ότι δεν υπάρχουν αρκετές πληροφορίες σχετικά με την έκταση των καλλιεργούμενων εκτάσεων, στην οποία αναφέρονται τα διαθέσιμα δεδομένα παραγωγής από τον FAO. Η περιοχή Gambage ήταν η μόνη περιοχή που φαίνεται να είχε την μεγαλύτερη καλλιεργούμενη έκταση αραβοσίτου στη Γκάνα σύμφωνα με το MIRCA2000. Αναπόφευκτα, επιλέχθηκαν περιοχές οι οποίες δεν ήταν εξολοκλήρου καλλιεργούμενες εκτάσεις αραβοσίτου. Έτσι, για παράδειγμα μια περιοχή που τμήμα των κελιών ήταν περίπου 60% καλαμποκιού, το υπόλοιπο 40% ήταν άλλες καλλιέργειες. Παρόλα αυτά ο περιορισμός αυτός δεν φάνηκε να οδηγεί σε ακραία σφάλματα όσον αφορά την εκτίμηση της παραγωγής, αντιθέτως φάνηκε να βελτιώνει την επίδοση του μοντέλου χρησιμοποιώντας τη μέθοδο EnKF.

Είναι γνωστό και από άλλες μελέτες ότι υπάρχουν αρκετές πηγές αβεβαιότητας στην εκτίμηση της παραγωγής των καλλιεργειών (Challinor et al., 2005; Ramirez-Villegas et al., 2017). Για παράδειγμα, εδώ υποθέσαμε βέλτιστες συνθήκες καλλιέργειας και διαχείρισης σε μια μεγάλη περιοχή όπου δεν είναι βέβαιο ότι καλύπτεται μόνο από αραβόσιτο. Επιπλέον, άλλοι παράγοντες όπως οι πρακτικές διαχείρισης, τα γενετικά χαρακτηριστικά της καλλιέργειας και η χρήση λιπασμάτων, και άλλα γεγονότα όπως η εμφάνιση παράσιτων ή οι πλημμύρες, αναμένεται να επηρεάσουν την προβλεπόμενη παραγωγή. Για το λόγο αυτό, είναι σημαντικό να αξιολογηθεί η επίδοση ενός μοντέλου υπό συνθήκες υψηλής παραγωγής, καθώς και σε περιβάλλοντα που παράγουν χαμηλότερα επίπεδα παραγωγής υπό συνθήκες στρες για να εξασφαλιστεί μια ολοκληρωμένη εκτίμηση της επίδοσης του μοντέλου. Επιπλέον, σε άλλες μελέτες έχει βρεθεί ότι η συγχώνευση μόνο μιας μεταβλητής όπως το LAI ή μόνο ενός δείκτη βλάστησης, δεν αρκεί για τη βελτίωση της ικανότητας του μοντέλου (Fang et al., 2011).

Για το λόγο αυτό, προτείνεται συνδυασμός δεικτών βλάστησης που καθιστά το μοντέλο να ανταποκρίνεται περισσότερο εύκολα στις αλλαγές των βιοφυσικών χαρακτηριστικών της καλλιέργειας.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Acock, B., & Acock, M. (1991). Potential for using long-term field research data to develop and validate crop simulators. In *Agronomy journal (USA): Vol. v. 83*.
- Challinor, A. J., Slingo, J. M., Wheeler, T. R., Craufurd, P. Q., & Grimes, D. I. F. (2003). Toward a combined seasonal weather and crop productivity forecasting system: determination of the working spatial scale. *Journal of Applied Meteorology*, 42(2), 175–192.
- Challinor, A. J., Wheeler, T. R., Slingo, J. M., & Hemming, D. (2005). Quantification of physical and biological uncertainty in the simulation of the yield of a tropical crop using present-day and doubled CO₂ climates. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 360(1463), 2085–2094. <https://doi.org/10.1098/rstb.2005.1740>
- Chenu, K., Porter, J. R., Martre, P., Basso, B., Chapman, S. C., Ewert, F., Bindi, M., Asseng, S., Portr, J. R., Martree, P., Basso, B., Chapman, S. C., Ewert, F., Bindi, M., & Asseng, S. (2017). Contribution of Crop Models to Adaptation in Wheat. *Trends in Plant Science*, 22(6), 472–490. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2017.02.003>
- Confalonieri, R., Orlando, F., Paleari, L., Stella, T., Gilardelli, C., Movedi, E., Pagani, V.,

- Cappelli, G., Vertemara, A., Alberti, L., Alberti, P., Atanassiu, S., Bonaiti, M., Cappelletti, G., Ceruti, M., Confalonieri, A., Corgatelli, G., Corti, P., Dell’Oro, M., ... Acutis, M. (2016). Uncertainty in crop model predictions: What is the role of users? *Environmental Modelling & Software*, *81*, 165–173. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.04.009>
- Fang, H., Liang, S., & Hoogenboom, G. (2011). Integration of MODIS LAI and vegetation index products with the CSM–CERES–Maize model for corn yield estimation. *International Journal of Remote Sensing*, *32*, 1039–1065. <https://doi.org/10.1080/01431160903505310>
- Kasampalis, D. A., Alexandridis, T. K., Deva, C., Challinor, A., Moshou, D., & Zalidis, G. (2018). Contribution of remote sensing on crop models: A review. *Journal of Imaging*, *4*(4). <https://doi.org/10.3390/jimaging4040052>
- Ramirez-Villegas, J., Koehler, A.-K., & Challinor, A. J. (2017). Assessing uncertainty and complexity in regional-scale crop model simulations. *European Journal of Agronomy*, *88*, 84–95. <https://doi.org/10.1016/J.EJA.2015.11.021>

ΔΑΣΙΚΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΚΥΒΕΡΝΗΣΗ: ΨΗΦΙΑΚΟΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ Ε.Ε.

Δάτση Β., Ανδρεοπούλου Ζ.

Εργαστήριο Δασικής Πληροφορικής, Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 54124 Θεσσαλονίκη
email: randreop@for.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ενσωμάτωση της τεχνολογίας στην καθημερινότητα του ανθρώπου είναι αναγκαία για τη βελτίωση της εξυπηρέτησης των πολιτών και επιχειρήσεων με παράλληλη αύξηση της αποδοτικότητας και της αποτελεσματικότητας των δημοσίων οργανισμών και του κράτους. Η ορθολογική διαχείριση και αξιοποίηση των νέων πληροφοριακών δράσεων δίνουν τη δυνατότητα στην καλύτερη λειτουργία του διοικητικού συστήματος των δασών με τη χρήση και την εφαρμογή των νέων ψηφιακών μέσων.

Η παρούσα εργασία είναι να προσεγγίσει και να εξετάσει την εξέλιξη της Ψηφιακής Διακυβέρνησης, ιδίως τα τελευταία χρόνια, και την εφαρμογή της στις συνδιαλλαγές φορέων της δημόσιας διοίκησης με τους πολίτες. Η εργασία επίσης αναλύει τις τελευταίες εξελίξεις επίδρασης της Διακυβέρνησης στη Δασική Διοίκηση. Επιπρόσθετα, προσδιορίζεται ο ρόλος του Ψηφιακού Μετασχηματισμού, που έρχεται να δώσει νέες ενέργειες με την ψηφιοποίηση όλων των παρεχόμενων δασικών υπηρεσιών.

Χρησιμοποιήθηκε ερωτηματολόγιο δια ζώσης σε υπαλλήλους-δασολόγους Δασικών Υπηρεσιών, ώστε να διερευνηθεί και να καταγραφεί η διείσδυση των νέων τεχνολογιών στη Δασική Διοίκηση και η αποδοχή και δυνατότητα εφαρμογής αυτών εκ μέρους των υπαλλήλων.

Λέξεις κλειδιά: διακυβέρνηση, δασική διοίκηση, ψηφιακός μετασχηματισμός.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Όταν ξεκίνησε η χρήση του διαδικτύου στην Ελλάδα, δεκαετία του '80, οι υπηρεσίες που προσέφερε η Δημόσια Διοίκηση ήταν μηδαμινές. Γενικά, το ποσοστό χρηστών του διαδικτύου, τότε, ήταν χαμηλό οπότε δεν υπήρχε ανάγκη να γίνονται επενδύσεις από το κράτος σε νέες πληροφοριακές ενέργειες. Ακόμη, η υπάρχουσα πολυπλοκότητα του δημόσιου τομέα μέχρι και πριν λίγα χρόνια, με τον κατακερματισμό της δημόσιας διοίκησης λόγω του μεγάλου αριθμού υπηρεσιών που είχε, δυσκόλευε στην υιοθέτηση ενός ενιαίου κεντρικού σχεδίου δράσης (Πανταζή 2018).

Η μεγάλη εξάπλωση της τεχνολογίας στο χώρο της πληροφορικής και των τηλεπικοινωνιών, τα τελευταία χρόνια, έδωσε τη δυνατότητα στους πολίτες την πρόσβαση σε τεράστιες ποσότητες πληροφοριών κάθε είδους (Ανδρεοπούλου 2011).

1.2 Έννοιες-Ορισμοί

Δασική Υπηρεσία είναι ο φορέας για την ανάπτυξη, προστασία και διαχείριση των δημοσίων δασών της χώρας και έχει τη δασοπολιτική και δασοτεχνική εποπτεία και επιτήρηση των μη δημοσίων δασών (ypen.gov.gr).

Ψηφιακός Μετασχηματισμός ορίζεται «η δημιουργία ψηφιακών οδών περάτωσης των διαδικασιών που εφαρμόζονται στην καθημερινή παραγωγική διαδικασία, όποια μορφή κι αν έχει αυτή, αλλά και ψηφιοποίησης των παρεχόμενων υπηρεσιών που διαθέτει ένας οργανισμός» (<https://www.epixeiro.gr/article/154650>).

1.3 Σκοπός της παρούσας εργασίας

Ο σκοπός της εργασίας είναι να αναφερθεί η συμβολή αυτής στο ριζικό μετασχηματισμό της δομής της δημόσιας διοίκησης της χώρας μας και κατ' επέκταση της δασικής διοίκησης. Παράλληλα, όμως, να καταγραφούν πληροφορίες σχετικά με τις πρόσφατες ψηφιακές μεταρρυθμίσεις που έχουν επέλθει στις δασικές υπηρεσίες. Επιπλέον, μέσω της εργασίας αναζητούνται λύσεις βελτίωσης των δασικών δημοσίων υπηρεσιών με τη συνδρομή των ΤΠΕ και το φυσικό περιβάλλον.

Συγκεκριμένα, πληροφορίες σχετικά με την Κεντρική Δασική Υπηρεσία της Ελλάδας και την Ελληνική Δασική Διοίκηση και στις Διευθύνσεις Πληροφορικής του Δασαρχείου Πολυγύρου, στη Διεύθυνση Δασών Κυκλάδων που στεγάζεται στη Σύρο και της Αποκεντρωμένης Διοίκησης Μακεδονίας-Θράκης με ενημέρωσαν με σχετικές πληροφορίες.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Γενικά

Στην παρούσα εργασία μελετάται η χρήση ψηφιακών εφαρμογών στις δημόσιες υπηρεσίες, στη Δασική Διοίκηση και κυριότερα σε διοικητικές υπηρεσίες με επίκεντρο το περιβαλλοντικό και δασικό τομέα. Αναλυτικότερα, ερευνήθηκαν ιστοσελίδες που σχετίζονται με τη δασική. Η ανάλυση δεδομένων της εργασίας έγινε με δυο μεθόδους και υλικά. Η πρώτη μέθοδος ήταν να ερευνηθούν πληροφορίες σχετικές με την τεχνολογία και τη Δασική Διοίκηση. Μέσα από τις ιστοσελίδες και τους φορείς που ελέγχθηκαν σχετικά με το τί προσφέρει ηλεκτρονικά η Δασική Διοίκηση και Διακυβέρνηση σήμερα, διαπιστώθηκε η αναγκαιότητα αυτής, ειδικά από το 2020 με την πανδημία του COVID-19 που άλλαξε τα δεδομένα στην ψηφιακή εποχή.

Από έρευνα που έγινε στην ιστοσελίδα του Υπουργείου Ψηφιακής Διακυβέρνησης διαπιστώθηκε πως υπάρχει σχετική Εθνική Μεταρρύθμιση για την ψηφιακή διαχείριση των

δημόσιων υπηρεσιών και στις αρμόδιες δασικές υπηρεσίες. Το ψηφιακό έγγραφο αναφέρεται στον Ψηφιακό Μετασχηματισμό 2021-2025 και εμπεριέχει σκοπούς και στόχους που θα επέλθουν στη χώρα, ώστε να αναβαθμιστεί η ψηφιακή και ηλεκτρονική διακυβέρνηση σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά δεδομένα.

Τα άτομα που προσκλήθηκαν να συμμετέχουν στην παρούσα εργασία είναι διοικητικοί υπάλληλοι σε αρμόδιες δασικές υπηρεσίες και στο επάγγελμα συγκεκριμένα Δασολόγοι. Οι ειδικοί που συμπλήρωσαν τη σειρά ερωτήσεων που αναγράφεται παρακάτω ασχολούνται καθημερινά με τα ψηφιακά συστήματα των διοικητικών υπηρεσιών.

Παρακάτω θα διεισδύσουμε το ρόλο της τεχνολογίας στις δημόσιες υπηρεσίες και τον ψηφιακό μετασχηματισμό της, ενώ θα αναφερθεί επίσης η αξιοποίησή της στη Δασική Διοίκηση.

2.2. Η Δασική Υπηρεσία

Η σύγχρονη δασοκομία στηρίζεται κυρίως στην περιβαλλοντική βιωσιμότητα των οικοσυστημάτων σε σχέση με τους πολίτες, ως αποτέλεσμα της σημερινής αλλαγής τόσο στις αστικές όσο και στις αγροτικές περιοχές. Τα δάση και οι δασικές εκτάσεις καλύπτουν σχεδόν το 20% της συνολικής έκτασης στην Ελλάδα και διαθέτουν ένα ευρύ φάσμα χαρακτηριστικών (Ανδρεοπούλου 2009).

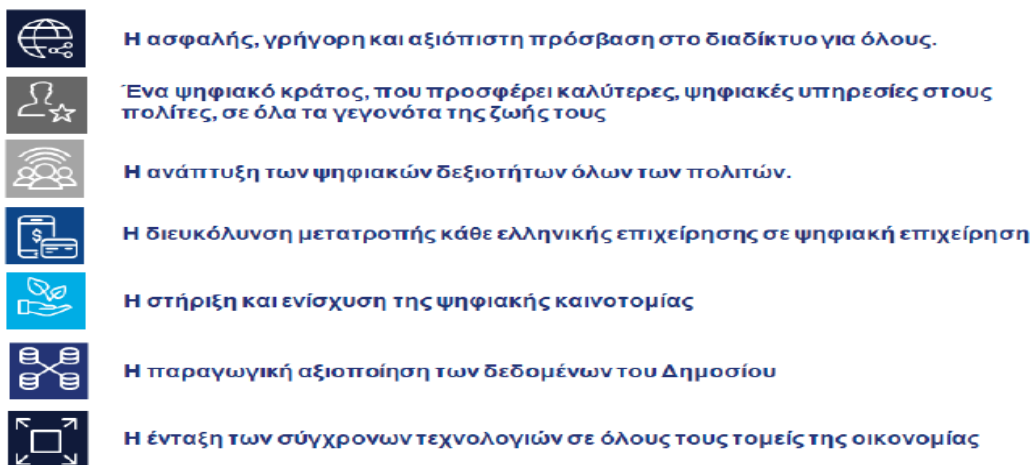
Η Δασική Υπηρεσία είναι η επίσημη διοικητική αρχή, υπεύθυνη για την προστασία και διαχείριση του φυσικού περιβάλλοντος και ειδικότερα των δασών και δασικών εκτάσεων στην Ελλάδα, προσφέροντας διαχρονικά ποιοτικές υπηρεσίες στην κοινωνία και στο περιβάλλον (Αθανασιάδης 2015).

2.3 Σύγχρονη Ψηφιακή Διακυβέρνηση

Το 2020 το Υπουργείο Ψηφιακής Διακυβέρνησης έπαιξε σπουδαίο ρόλο την περίοδο του εγκλεισμού των πολιτών από την πανδημία του Covid-19 και το κλείσιμο των δημόσιων υπηρεσιών για εξυπηρέτηση των πολιτών.

Στην πραγματικότητα η Ελλάδα σε σχέση με τα άλλα κράτη μέλη της Ε.Ε. είχε παραμείνει ψηφιακά πολλά χρόνια πίσω στο θέμα της ψηφιακής διαχείρισης της δημόσιας διοίκησης. Οι ρυθμοί υλοποίησης επιτεύχθηκαν αναγκαστικά, λόγω της κατάστασης της πανδημίας, ώστε να μπορέσουμε να φτάσουμε στα πρότυπα που έχει ορίσει η Ευρώπη σαν σύνολο όπως είναι η **Εθνική Ψηφιακή Στρατηγική 2016-2021** (<https://government.gov.gr/epiteliki-sinopsi-tis-anaforas-litourgikis-proodou-tis-ethnikis-psifiakis-stratigikis-2016-2021/>) και ο **Εθνικός Ψηφιακός Μετασχηματισμός 2020-2025**, που μεταρρυθμίζει πολλές ενέργειες από την προηγούμενη Εθνική Ψηφιακή Στρατηγική, με τη διαφορά ότι λόγω της πανδημίας αναγνωρίστηκαν πολλά προβλήματα, που καταγράφηκαν και τέθηκαν ως προτεραιότητα επίλυσης.

Οι κύριοι στόχοι της ψηφιακής μετάβασης και μετασχηματισμού για την Ελλάδα σύμφωνα με τη *Βίβλο Ψηφιακού Μετασχηματισμού 2020-2025*, που παρέδωσε το Υπουργείο Ψηφιακής Διακυβέρνησης το Δεκέμβριο του 2020 ενόψει της πανδημίας του COVID-19 είναι:



Εικόνα. 5. Κύριοι στόχοι ψηφιακού μετασχηματισμού. (Βίβλος Ψηφιακού Μετασχηματισμού 2020-2025)

2.4 Στρατηγικές κατευθύνσεις και στόχοι για το Περιβάλλον από τον «Ψηφιακό Μετασχηματισμό 2021-2027»

Η Ελλάδα μετά από σχετικές ρυθμίσεις της αναθεωρημένης κυβερνητικής στρατηγικής για την ενέργεια και το κλίμα, θέτει σαφείς στόχους (Ψηφιακός Μετασχηματισμός 2021-2027). Μέσα από αυτές τις στρατηγικές έχουν ανακαλυφθεί οι μακροχρόνιες ελλείψεις σε θέματα ψηφιακών περιβαλλοντικών ζητημάτων.

α. Σύστημα επιτήρησης δασών

Ένα από τα πιο σημαντικά συστήματα δασικής διοίκησης στην Ελλάδα είναι να γίνει η εγκατάσταση και λειτουργία απομακρυσμένης επιτήρησης δασών μέσω ανάλογων συστημάτων με drones, θερμοκάμερες κ.ά. Η ψηφιακή επιτήρηση θα ανιχνεύει πιθανές εστίες φωτιάς σε πραγματικό χρόνο, θα αξιολογεί τις παραγόμενες πληροφορίες και θα δημιουργεί εγκαίρως ειδοποιήσεις, ώστε να ενημερώνονται οι αρχές αλλά και οι κάτοικοι. Με αυτή την ενέργεια ίσως μπορέσουν να σωθούν χιλιάδες δασικές εκτάσεις που καταστρέφονται κάθε χρόνο στη χώρα, καθώς και να προστατευθούν ανθρώπινες ζωές.

β. Πληροφοριακό σύστημα καταγραφής της δασικής παραγωγής

Το συγκεκριμένο έργο έχει ως στόχο την ψηφιοποίηση όλης της διαδικασίας απογραφής του δασικού κεφαλαίου, την καταγραφή της δασικής παραγωγής (ποσότητες υλοτομημένης ξυλείας) και τη διακίνηση των δασικών προϊόντων. Αναγκαία δράση για την ελληνική δασοκομία, καθώς δεν υπάρχει ακριβής ετήσιος υπολογισμός της δασικής υλοτομίας και η απογραφή του δασικού κεφαλαίου. Επιπλέον, περιλαμβάνεται και η υποστήριξη των διαδικασιών της υλοτομίας, καθώς και η διάθεση των δασικών προϊόντων με τη βοήθεια πληροφοριακού συστήματος.

γ. Ψηφιακή αποτύπωση του αγροτικού και του δασικού οδικού δικτύου της χώρας και των συμβάντων δασικών πυρκαγιών

Στόχος του έργου είναι η δημιουργία ψηφιακών λύσεων με σκοπό την υποστήριξη επιτόπιας εποπτείας και καταγραφής από τους υπαλλήλους των δασικών υπηρεσιών:

α) των χαρακτηριστικών προβλημάτων του βασικού αγροτικού και δασικού οδικού δικτύου,

β) των επιπτώσεων από πυρκαγιές που συνέβησαν.

Τα δεδομένα που συλλέγονται, θα υποστηρίζουν το ΥΠΕΝ και την Πολιτική Προστασία στον ετήσιο σχεδιασμό πρόληψης δασικών πυρκαγιών και θα τηρούνται στον Ενιαίο Ψηφιακό Χάρτη.

δ. Ψηφιακή διαχείριση των δασικών διαχειριστικών μελετών

Οι δασικές διαχειριστικές μελέτες αποτελούν τη βασική πηγή πληροφορίας όσον αφορά τα δασικά οικοσυστήματα της χώρας μας και αποτελούν το βασικό εργαλείο για το σχεδιασμό της διαχείρισής τους. Οι διαδικασίες μελέτης και απογραφής ενός δάσους είναι χρονοβόρες και παράλληλα υπάρχει δυσκολία στην παραγωγή στατιστικών στοιχείων.

Προτεραιότητα στον τομέα του περιβάλλοντος, αποτελεί η υλοποίηση έργου και η απλούστευση των διαδικασιών για την ψηφιακή διαχείριση των δασικών μελετών. Στο πλαίσιο του έργου θα αναπτυχθούν εξειδικευμένες εφαρμογές για την εξυπηρέτηση των Δασικών Υπηρεσιών των Περιφερειακών Ενοτήτων, όπως και της Κεντρικής Υπηρεσίας του ΥΠΕΝ. Το σύνολο των διαδικασιών θα υποστηρίζεται ψηφιακά.

3. ΣΥΖΗΤΗΣΗ & ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

3.1 Συμπεράσματα Ερωτηματολογίου

Οι κυβερνήσεις και οι δημόσιοι οργανισμοί έχουν αρχίσει να αναγνωρίζουν όλο και περισσότερο τη σημασία για την ψηφιακή συναλλαγή του κράτους με τους πολίτες και τις επιχειρήσεις, όσο και για την αποτελεσματικότερη παροχή ποιοτικών υπηρεσιών. Επιπρόσθετα, η διαχείρισή της έχει επιλύσει το τελευταίο έτος τη μακροχρόνια γραφειοκρατία που μάστιζε την Ελλάδα (Βίβλος Ψηφιακού Μετασχηματισμού 2020-2025).

Το ερωτηματολόγιο συμπληρώθηκε από 30 επιστήμονες στον τομέα της Δασολογίας και του Περιβάλλοντος.

1. Γνωρίζετε τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της εφαρμογής του Ψηφιακού Μετασχηματισμού στην Ελληνική Δασική Διοίκηση και τους δασικούς φορείς;

2. Οι Έλληνες πολίτες γνωρίζουν τις παροχές που διαθέτουν οι Δασικές Υπηρεσίες ηλεκτρονικά;

3. Θεωρείτε πως οι Δασικές Διοικητικές Υπηρεσίες χρησιμοποιούν άμεσα όλα τα ψηφιακά δεδομένα για την καλύτερη λειτουργία της υπηρεσίας;

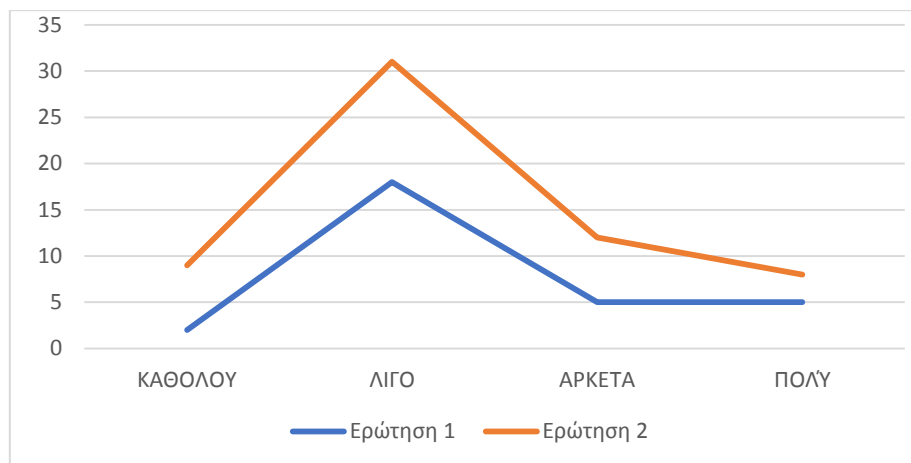
4. Γνωρίζετε για τον «Ψηφιακό Μετασχηματισμό 2021-2025», σε ό,τι αφορά το κομμάτι του περιβάλλοντος;

5. Θα μπορούσατε να κατατάξετε ιεραρχικά τα θετικά αποτελέσματα –ενημέρωση, επαγγελματική κατάρτιση, γνώση, ασφάλεια, εμπειρία, σωστή διαχείριση αποφάσεων– της επίδρασης της Ψηφιακής Διακυβέρνησης στον τομέα του Περιβάλλοντος;

6. Θεωρείτε ότι χρειάζεται μια νέα ψηφιακή πύλη η Δασική Διοίκηση;

Οι απαντήσεις που δόθηκαν είναι οι εξής:

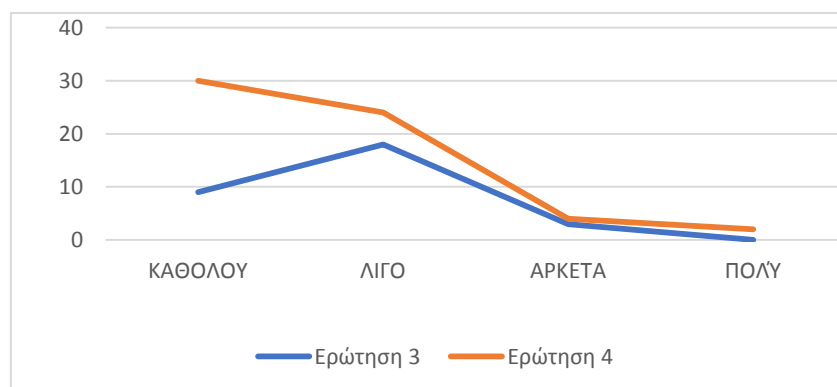
Οι δασικοί φορείς έχουν ενταχθεί ελάχιστα στην ψηφιακή εποχή. Αυτό διαγράφεται από το 60% των αποτελεσμάτων που αντιστοιχούν στο «ΛΙΓΟ». Ποσοστό 33,3% δέχεται πως υπάρχει ανταπόκριση από τις ΔΥ στην ένταξη εφαρμογής του Ψηφιακού Μετασχηματισμού με την απάντηση «ΑΡΚΕΤΑ» και «ΠΟΛΥ».



Από την άλλη πλευρά, στην 2^η ερώτηση, βλέπουμε ότι το 43,3% των απαντήσεων κατανέμεται στο «ΛΙΓΟ». Με βάση, δηλαδή, της γνώμης των ερωτηθέντων, οι πολίτες δεν γνωρίζουν τις ψηφιακές υπηρεσίες που προσφέρει μια Δασική Υπηρεσία. Το 23,3% των απαντήσεων ισοδυναμεί με το «ΚΑΘΟΛΟΥ» και ένα ακόμα 23,3% σε «ΑΡΚΕΤΑ». Σύμφωνα με αυτές τις δυο επιλογές βλέπουμε και τη διαφορετικότητα σε μια σειρά απαντήσεων κατά πόσο οι ειδικοί πληροφορούνται από τις νέες ψηφιακές δυνατότητες και άλλοι που δεν τους ενδιαφέρει ή δεν έχουν την κατάρτιση να ενημερωθούν. Τέλος, ένα 10% είναι αυτό που συμπληρώνει την ερώτηση με το «ΠΟΛΥ» και δείχνει πως χρειάζονται και γνωρίζουν τις υπηρεσίες που διατίθενται.

Στην 3^η ερώτηση τα αποτελέσματα που προήλθαν είχαν να κάνουν φυσικά με την εξοικείωση των ειδικών με τα ψηφιακά δεδομένα και με τη θέση που κατείχαν στην υπηρεσία. Οι διοικητικοί υπάλληλοι, φυσικά, με όσα ψηφιακά μέσα τους παρέχονται, ανταποκρίνονται άμεσα στη χρήση τους, γι' αυτό ένα μέρος των ερωτηθέντων απάντησε στο «ΛΙΓΟ». Γενικότερα, η εξέλιξη της τεχνολογίας έχει επιφέρει πολλές μεταρρυθμίσεις και πολλοί διοικητικοί υπάλληλοι προσπαθούν να ανταπεξέλθουν σε κάθε νέα ψηφιακή επανάσταση.

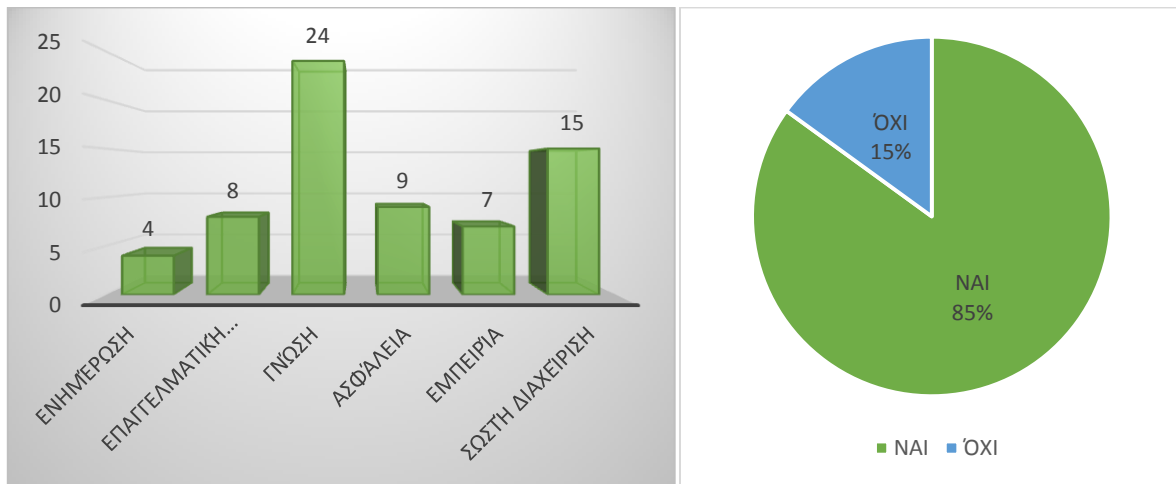
Μόνο το 10% απάντησε πως χρησιμοποιούνται άμεσα τα ψηφιακά μέσα στις ΔΥ και αυτό δείχνει πως δεν υπάρχει άμεση ανταπόκριση. Εδώ να σημειωθεί ότι δεν έχει επιλέξει κανένας το «ΠΟΛΥ» και εμφανίζεται η μεγάλη ανάγκη ένταξης του ψηφιακού μετασχηματισμού στις Δασικές Υπηρεσίες.



Στην 4^η ερώτηση αυτού του σχεδιαγράμματος βλέπουμε πως μεγάλο ποσοστό, κοντά στο 70%, δεν γνωρίζει τη νέα κυβερνητική διάταξη σε σχέση με τον «Ψηφιακό Μετασχηματισμό 2021-2025», με αποτέλεσμα οι περισσότερες απαντήσεις να εντάσσονται στο «ΚΑΘΟΛΟΥ».

Το υπόλοιπο 30% διαμοιράζεται στις άλλες επιλογές.

Στην 5^η ερώτηση κατέταξαν τα θετικά αποτελέσματα ως εξής: Γνώση, Σωστή διαχείριση αποφάσεων, Ασφάλεια, Επαγγελματική κατάρτιση, Εμπειρία και Ενημέρωση.



Στην 6^η ερώτηση, εάν χρειάζεται ο σχεδιασμός μιας νέας ψηφιακής πύλης, οι απαντήσεις ήταν θετικές σε ποσοστό 85% των ερωτηθέντων. Βλέποντας τις δυσκολίες που έχουν εμφανιστεί για την ενημέρωση των δασολόγων σχετικά με το τί συμβαίνει στη Δασική Νομοθεσία, στην Προστασία, στις ευρωπαϊκές αποφάσεις κ.ά., αντιλαμβανόμαστε ότι χάνονται χρήσιμες πληροφορίες, οι οποίες με την ψηφιακή εποχή θα ήταν άμεσες.

4. ΚΕΦΑΛΑΙΟ - ΠΡΟΤΑΣΗ

4.1 Πρόταση Δημιουργίας Κεντρικού Πληροφοριακού Συστήματος Δασικών Υπηρεσιών

Σε γενικότερο πλαίσιο η Δασική Υπηρεσία χρειάζεται άμεση στελέχωση με προσωπικό που έχει εξειδίκευση στην ψηφιακή πληροφορία και στο πλήρες γνωστικό αντικείμενο της διαχείρισης δασών. Είναι γενικά αποδεκτό πως όλοι επιθυμούν την υλοποίηση μιας Ψηφιακής Διακυβερνητικής Πλατφόρμας σχετικά με τις Δασικές Υπηρεσίες της Ελλάδας. Αναλυτικότερα, ένα Κεντρικό Πληροφοριακό Σύστημα των Δασικών Υπηρεσιών μέσα από το gov.gr. Η ψηφιακή πλατφόρμα αυτή θα ήταν υπό την καθοδήγηση του ΥΠΕΝ με κεντρικό διαχειριστή αρμόδιο τμήμα της ηλεκτρονικής διεύθυνσης της κεντρικής δασικής υπηρεσίας.

Μέσα στην πλατφόρμα προτείνονται να συμπεριλαμβάνονται σχετικές ενημερώσεις με:

1. Ερωτήματα Δασολόγων ή πολιτών.
2. Ενημερώσεις του αρμόδιου Υπουργείου για σχετικές δασικές ή περιβαλλοντικές αποφάσεις.
3. Εσωτερική άμεση επικοινωνία με τις Δασικές Υπηρεσίες, τις Αποκεντρωμένες Διοικήσεις και με κάθε αρμόδια διοικητική υπηρεσία των δασών.
4. Ενημερώσεις και πληροφορίες για διαβουλεύσεις, σεμινάρια και συνέδρια τόσο σε εθνικό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο.
5. Νομοθετικό πλαίσιο σχετικά με όλες τις πληροφορίες που χρειάζεται να γνωρίζουν οι δασολόγοι.
6. Πρόσβαση μέσω λογαριασμού εγγραφής και ταυτοποίησης ως δασολόγου και δυνατότητα και σε άλλους επιστήμονες να ενημερώνονται από το σύστημα για κάθε δασική δραστηριότητα.
7. Συνεργασία της πλατφόρμας επίσης με την Κρατική Υπηρεσία για την πρόληψη πυρκαγιών, φυσικών καταστροφών και φυσικά ενδοεπικοινωνία με την Πολιτική

Προστασία.

8. Ενσωμάτωση όλων των δασικών, αλιευτικών, κυνηγετικών συλλόγων αλλά και όσων φορέων έχουν άμεση σχέση με τη Δασική Υπηρεσία.
9. Ενσωμάτωση ψηφιακά όλων των διαχειριστικών μελετών, καθώς και τη δυνατότητα νέων μελετών.
10. Αιτήσεις ή υπηρεσιακά σημειώματα προς τις αρμόδιες δασικές υπηρεσίες μέσω ηλεκτρονικής πλατφόρμας μέσα στο σύστημα.
11. Γνωμοδοτήσεις και αποφάσεις.
12. Σύστημα ενημέρωσης υλοτομιών.
13. Δασεργατική εκπαίδευση μέσα από τα ψηφιακά προγράμματα ΕΣΠΑ.

Μια Δασική Διαδικτυακή Πύλη, με όλα τα προαναφερόμενα, θα ενσωμάτωνε το έργο των δασολόγων σε μια νέα ψηφιακή μετάβαση στις δασικές εφαρμογές, ώστε η δημόσια διοίκηση να ενισχυθεί. Η ύπαρξή της είναι απαραίτητη για την επίτευξη των πιλοτικών μεταρρυθμίσεων στην ηλεκτρονική διακυβέρνηση των Δασικών Υπηρεσιών, αυξάνοντας τη διαφάνεια, την αποτελεσματικότητα, την αξιοπιστία και την ακεραιότητα της δημόσιας διακυβέρνησης. Με τον τρόπο αυτό όλη η διαδικασία συμβάλλει στον εκσυγχρονισμό της παροχής δημόσιων δασικών υπηρεσιών με ψηφιακά εργαλεία σε εθνικό και διασυνοριακό επίπεδο εντός και εκτός της ΕΕ.

Η διερεύνηση των δεδομένων των απαντήσεων των συμμετεχόντων προβάλλει, ότι η νέα γενιά δασολόγων έχει βαθύτερες γνώσεις στο γνωστικό αντικείμενο της ηλεκτρονικής διακυβέρνησης και πρέπει να ενσωματωθεί σε θέσεις των δασικών υπηρεσιών. Οι δεξιότητες των μελών αλληλοεπιδρούν και ενισχύουν τη συνεργασία των πολιτών και του δημόσιου τομέα. Τέλος, η διατήρηση των δασών και η προστασία τους είναι πρωταρχικός σκοπός και πρέπει η πολιτεία και οι πολίτες γενικότερα να συμβάλουν σ' ένα καλύτερο αύριο πιο σύγχρονο και ευέλικτο στην περιβαλλοντική συνείδηση.

5. ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Η ψηφιακή διακυβέρνηση μπορεί να μετασχηματίσει και να βελτιώσει την ποιότητα των διοικητικών δράσεων, καθώς θα πρέπει να χρησιμοποιείται και ως εργαλείο της δημόσιας διοίκησης με σκοπό την αποτελεσματικότερη εξυπηρέτηση των πολιτών.

Υπό αυτή την έννοια, οι κυβερνήσεις θα πρέπει να εκφράσουν τα σημεία ικανοποίησης των πολιτών ως καθήκον, στοχεύοντας στην αποτελεσματικότερη εξυπηρέτησή τους με δυναμική χρήση του Διαδικτύου και πιο απλά στο στοχευμένο μετασχηματισμό της κυβερνητικής γραφειοκρατίας σε διαδικτυακή εφαρμογή.

Εν κατακλείδι, η ψηφιακή διακυβέρνηση είναι κατευθυντήριες γραμμές. Επηρεάζουν την καθημερινότητά μας και αλλάζουν τη νοοτροπία των δασικών διοικητικών μονάδων, καθώς υιοθετούν καινοτόμες δράσεις και προβάλλουν αποτελεσματικό πρόσωπο στη δημόσια διοίκηση. Ανεπηρέαστα με τις πολιτικές αποφάσεις, τα θεσμικά πλαίσια, τις εθνικές στρατηγικές και τα ψηφιακά σχέδια, το πιο σημαντικό απ' όλα είναι η ψηφιακή ενεργοποίηση όλων των θεσμών μέσα στη δασική διοίκηση.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ανδρεοπούλου, Ζ. (2015). «Δίκτυα Η/Υ στη Δασοπονία», Ενότητα 7: *Διαδικτυακές Υπηρεσίες και Περιβάλλον* (Β' Μέρος), (Ανοιχτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο ΑΠΘ, Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος), Θεσσαλονίκη 2015.

Ανδρεοπούλου, Ζ. (2015). *Περιφερειακή Ανάπτυξη. Διαδίκτυο και Οικο-αγροτουρισμός*. Έκδοση: 1.0. Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη. Διαθέσιμο στο: <http://eclass.auth.gr/courses/OCRS>

Βίβλος Ψηφιακού Μετασχηματισμού 2020-2025, Δεκέμβριος 2020, Ελληνική Δημοκρατία Υπουργείο Ψηφιακής Διακυβέρνησης.

Πανταζή, Ι. (2018). *Η Ηλεκτρονική Διακυβέρνηση ως παράγοντας μεταρρύθμισης της δημόσιας διοίκησης σε Ευρώπη και Ελλάδα. Εφαρμογή-Προοπτικές-Δυσκολίες στην Τοπική Αυτοδιοίκηση*, Πτυχιακή Εργασία: Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών Ευρωπαϊκή Ολοκλήρωση και Διακυβέρνηση.

Andreopoulou, Z. (2009). Adoption of Information and Communication Technologies (ICTs) in Public Forest Service in Greece. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 4 (10), 1194-1204.

Andreopoulou, Z., Manos, B., Viaggi, D., Polman, N. (2011), Introduction. Agricultural and Environmental Informatics, Governance, and Management: Emerging Research Applications. *IGIGlobal*. USA.

Ηλεκτρονικές Πηγές:

<https://www.epixeiro.gr/article/154650>

ypen.gov.gr

ktimatologio.gr

<https://government.gov.gr/epiteliki-sinopsi-tis-anaforas-litourgikis-proodou-tis-ethnikis-psifiakis-stratigikis-2016-2021/>

file:///Users/macbookair/Downloads/desi_2020_thematic_chapters_-_full_european_analysis_22E60892-D319-9F6D-3E247D4BE7030772_67086.pdf

<http://www.digitalplan.gov.gr/file/concept-paper-dt-2021-2027-030321.pdf>

ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΡΓΟΝΟΜΙΑ ΣΤΗΝ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΝΘΡΩΠΟΥ-ΡΟΜΠΟΤ ΣΤΗΝ ΓΕΩΡΓΙΑ

Λ. Μπένος, Α. Ταγαράκης, Ε. Αϊβαζίδου, Α. Αναγνώστης, Δ. Κατέρης και Δ. Μπόχτης
Ινστιτούτο Βιο-Οικονομίας και Αγρο-Τεχνολογίας (iBO), Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης (ΕΚΕΤΑ), 6^ο χλμ Χαριλάου-Θέρμης, 57001, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα
e.benos@certh.gr

Περίληψη

Η παρούσα έρευνα ασχολείται με την αναγνώριση της ανθρώπινης δραστηριότητας, μια πολύ σημαντική πτυχή της ασφαλούς αλληλεπίδρασης ανθρώπου-ρομπότ στην γεωργία. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε ένα πείραμα πεδίου που συνέλεξε δεδομένα από 5 αδρανειακές μονάδες μέτρησης τοποθετημένες σε 20 συμμετέχοντες. Έξι συνεχείς υπο-δραστηριότητες εκτελέστηκαν, με διάφορες παραλλαγές, προκυμμένου να καλύψουν τους διαφορετικούς τρόπους πραγματοποίησής τους. Μετά από μία επεξεργασία των δεδομένων, αυτά εισήλθαν σε ένα μοντέλο μηχανικής μάθησης (LSTM), το οποίο έδειξε σημαντική αποτελεσματικότητα στην πρόβλεψη των υπο-δραστηριοτήτων με μέση ακρίβεια 85,6%. Επιπλέον, βρέθηκε ότι ο συνδυασμός όλων των αισθητήρων μπορεί να επιτύχει την υψηλότερη ακρίβεια. Το σύνολο των δεδομένων έγινε δημόσια προσβάσιμο διασφαλίζοντας έτσι τη διαφάνεια της έρευνας και επιτρέποντας μελλοντικές μελέτες.

Λέξεις κλειδιά: μηχανική μάθηση, αναγνώριση ανθρώπινης δραστηριότητας, πρόληψη μυοσκελετικών διαταραχών

MULTI-SENSOR DATA FUSION FOR SAFETY AND ERGONOMICS DURING HUMAN-ROBOT INTERACTION IN AGRICULTURE

L. Benos, A. Tagarakis, E. Aivazidou, A. Anagnostis, D. Kateris and D. Bochtis
Institute for Bio-Economy and Agri-Technology (iBO), Centre of Research and Technology-Hellas (CERTH), 6th km Charilaou-Thermi Rd, GR 57001, Thessaloniki, Greece
e.benos@certh.gr

Abstract

The present investigation deals with human activity recognition, a vital aspect of the safe human-robot interaction in agriculture. In particular, a field experiment was designed that collected data from 5 inertial measurement units worn by 20 participants. Six continuous sub-activities were performed, with a wide range of variations, to cover the different ways of carrying out them. After processing the raw data, these data fed into a machine learning model (LSTM), which showed considerable efficiency in predicting the defined sub-activities with an average accuracy of 85.6%. Moreover, it was found that the combination of all sensors can achieve the highest accuracy. The obtained dataset became publicly accessible, thus, ensuring the transparency of the research and allowing for future meta-studies.

Keywords: machine learning, human activity recognition, musculoskeletal disorders prevention

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Παρά το πλήθος των τεχνολογικών αλλαγών στην γεωργία, οι οποίες έχουν συμβάλει αρκετά στην αντιμετώπιση πολλών προκλήσεων που αφορούν την οικονομία και την παραγωγικότητα της καλλιέργειας, η ασφάλειά και η υγεία των εργαζομένων συχνά υποβαθμίζεται. Επιδημιολογικές μελέτες έχουν εντοπίσει αρκετά προβλήματα που σχετίζονται με τα αγροτικά επαγγέλματα. Επικεντρώνοντας στα μη θανατηφόρα προβλήματα υγείας, οι μυοσκελετικές διαταραχές είναι οι επικρατέστερες μεταξύ αυτών. Μια από τις πιο συνηθισμένες χειρωνακτικές εργασίες που ευθύνεται για την πρόκληση μυοσκελετικών διαταραχών είναι η ανύψωση και η μεταφορά φορτίων (Benos, Tsaouroulis, et al., 2020). Κατά τη μεταφορά φορτίου, η κατανάλωση ενέργειας αυξάνεται καθώς αυξάνεται η απόσταση μεταφοράς, η μάζα και ο όγκος του φορτίου, ενώ η πιθανότητα μυϊκού τραυματισμού αυξάνεται όταν ο εργαζόμενος μεταφέρει το φορτίο με λάθος (μη-εργονομικό) τρόπο. Επιπλέον, η μεταφορά φορτίου, συνήθως σε συνδυασμό με την επαναλαμβανόμενη ανύψωσή του, σχετίζεται έντονα με τραυματισμούς στο γόνατο, στο ισχίο και στη μέση που μπορούν να οδηγήσουν σε οστεοαρθρίτιδα και οσφυαλγία, που έχουν φτάσει σε επιδημικές διαστάσεις μεταξύ των αγροτών. Τα ήπια συμπτώματα που σχετίζονται με τη μεταφορά φορτίου περιλαμβάνουν πόνο και αίσθημα κόπωσης που, με τη σειρά τους, μπορούν να μειώσουν αισθητά την απόδοση του αγρότη. Μια άλλη σημαντική πτυχή είναι ότι οι εργαζόμενοι ξοδεύουν αρκετό χρόνο μεταφέροντας τα κιβώτια, περίπου το ένα τρίτο του συνολικού χρόνου εργασίας όπως τονίζεται στην (Seay, 2015).

Για την αντιμετώπιση των παραπάνω προκλήσεων έχει προταθεί η χρήση μη επανδρωμένων επίγειων οχημάτων για τη μεταφορά των κιβωτίων στο χωράφι (Anagnostis et al., 2021). Ωστόσο, αυτό είναι ένα διεπιστημονικό και πολύπλευρο πρόβλημα, καθώς εμπεριέχει ζητήματα που προέρχονται από πολλές επιστημονικές περιοχές όπως η αλληλεπίδραση ανθρώπου-ρομπότ, το διαδίκτυο των πραγμάτων (Internet of Things), η μηχανική μάθηση (Machine Learning) και η εργονομία. Κατά συνέπεια, κάθε πρόκληση θα πρέπει να διερευνάται ξεχωριστά, σε ένα πρώτο στάδιο, προτού να καταβληθούν ολοκληρωμένες προσπάθειες για την επίτευξη μιας ασφαλούς και οικονομικά βιώσιμης λύσης. Η παρούσα μελέτη επικεντρώνεται σε ένα ζωτικής σημασίας ζήτημα της ασφαλούς αλληλεπίδρασης ανθρώπου-ρομπότ, την αναγνώριση της δραστηριότητας των εργαζομένων που, με τη σειρά της, έχει τη δυνατότητα να αυξήσει την επίγνωση της κατάστασης (situation awareness). Η τελευταία έννοια αποτελεί μια βασική πρόκληση που πρέπει να αντιμετωπιστεί, όπως τονίστηκε από την πρόσφατη εργασία των (Benos, Bechar, et al., 2020) που μελέτησε την ασφάλεια και την εργονομία κατά τη συνέργεια ανθρώπου-ρομπότ στη γεωργία.

Η αναγνώριση της ανθρώπινης δραστηριότητας έχει λάβει εκτεταμένη προσοχή σε πολλούς τομείς ως αποτέλεσμα της προόδου των τεχνολογιών. Όταν αυτή βασίζεται σε δεδομένα αισθητήρων θεωρείται πιο αξιόπιστη σε σύγκριση με τις τεχνικές που βασίζονται στην όραση, καθώς οι τελευταίες επηρεάζονται από οπτικές διαταραχές, όπως η μεταβλητότητα του φωτισμού. Αντίθετα, οι τεχνικές που βασίζονται σε αισθητήρες που τοποθετούνται στο σώμα είναι κατάλληλες για εφαρμογή σε πραγματικό χρόνο, καθώς είναι σχετικά εύκολο να εφαρμοστούν και δεν εξαρτώνται από την τοποθεσία. Μεταξύ των πιο συχνά χρησιμοποιούμενων αισθητήρων, χρησιμοποιούνται τα επιταχυνσιόμετρα, τα μαγνητόμετρα και τα γυροσκόπια αλλά και τα έξυπνα τηλέφωνα (smartphones) που περιλαμβάνουν κάποιους από αυτούς. Γενικά, ο συνδυασμός δεδομένων πολλαπλών αισθητήρων έχει αποδειχθεί ότι είναι πιο αξιόπιστη λύση από τη χρήση ενός μόνο

αισθητήρα, καθώς οι πιθανές απώλειες πληροφοριών ή η ανακρίβεια ενός αισθητήρα μπορούν να αντισταθμιστούν από τους άλλους αισθητήρες.

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι ο σωστός προσδιορισμός των ανθρώπινων δραστηριοτήτων που σχετίζονται με μια συγκεκριμένη εργασία, η οποία είναι η μεταφορά ενός κιβωτίου, η ανύψωση και η τοποθέτησή του σε ένα μη επανδρωμένο επίγειο όχημα κατάλληλο για γεωργικές εργασίες. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε με τη χρήση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης (LSTM) για διαδοχική ταξινόμηση δεδομένων. 20 υγιείς συμμετέχοντες έλαβαν μέρος στα υπαίθρια πειράματα φορώντας πέντε ειδικές για αυτή την ανάλυση αδρανειακές μονάδες μέτρησης σε διαφορετικά σημεία του σώματος.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Περιγραφή πειραματικής διαδικασίας

Οι πειραματικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε ένα αγρόκτημα στην περιοχή του Βόλου και είχαν διάρκεια μίας εβδομάδας. Συμμετείχαν 20 συμμετέχοντες (13 άνδρες, 7 γυναίκες), με μέση ηλικία 30,95 έτη, ύψος 1,75 m και μάζα 75,40 kg. Για να είναι επιλέξιμο για να συμπεριληφθούν στην παρούσα έρευνα, όλα τα άτομα δεν θα έπρεπε να είχαν ιστορικό χειρουργικών επεμβάσεων ή να είχαν υποστεί μυοσκελετικό τραυματισμό κατά τη διάρκεια του τελευταίου έτους που θα μπορούσε να επηρεάσει την απόδοσή τους. Όλοι οι συμμετέχοντες, πριν από οποιαδήποτε πειραματική διαδικασία, έπρεπε να συμπληρώσουν ένα ενημερωμένο έντυπο συγκατάθεσης.

Κάθε συμμετέχοντας έπρεπε να εκτελέσει μια συγκεκριμένη ομάδα δραστηριοτήτων. Συγκεκριμένα, έπρεπε να περπατήσουν μία απόσταση 3,5 μέτρων δίχως εμπόδια ανάμεσα, να σηκώσουν ένα κιβώτιο που βρισκόταν στο έδαφος σε αυτό το σημείο και να το μεταφέρουν στο αρχικό σημείο εκκίνησής τους, όπου έπρεπε να το τοποθετήσουν σε ένα ακίνητο μη επανδρωμένο επίγειο όχημα. Η συνολική εργασία μπορεί να διαιρεθεί σε έξι μικρότερες διαδοχικές υπο-δραστηριότητες:

1. Ακίνησια μέχρι να δοθεί το σήμα για εκκίνηση
2. Περπάτημα απόστασης 3,5 m χωρίς να μεταφέρεται κανένα κιβώτιο
3. Σκύψιμο για την προσέγγιση του κιβωτίου
4. Ανύψωση του κιβωτίου από το έδαφος σε όρθια θέση
5. Επιστροφή με βάδισμα της απόστασης των 3,5 m με μεταφορά του κιβωτίου
6. Τοποθέτηση του κιβωτίου στο μη επανδρωμένο επίγειο όχημα

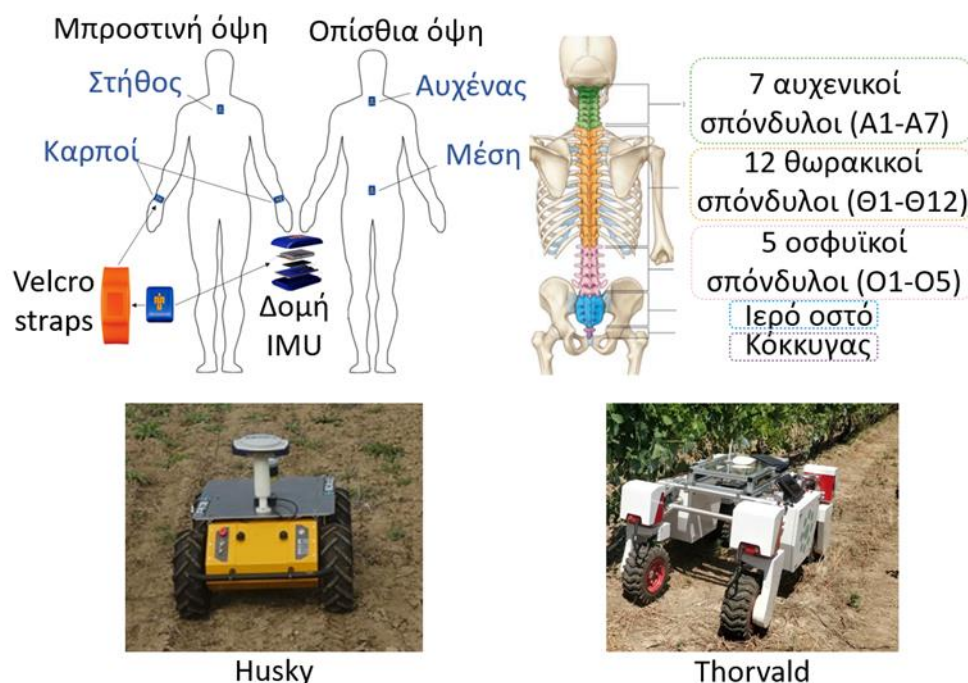
Για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας, χρησιμοποιήθηκαν δύο μη επανδρωμένα επίγεια οχήματα, το Husky και το Thorvald, που αντιστοιχούν σε ύψος εναπόθεσης του κιβωτίου ίσο με 40 cm και 80 cm, αντίστοιχα. Επιπλέον, το κιβώτιο ήτα03BD είτε άδειο (απόβαρο ίσο με 1,5 kg) είτε γεμάτο με δίσκους βαρών συνολικής μάζας (κιβώτιο και δίσκοι) περίπου ίσης με το 20% της μάζας κάθε συμμετέχοντα. Ένα ανοιχτό πλαστικό κιβώτιο (31 × 53 × 35 cm), που χρησιμοποιείται συνήθως στη γεωργία, χρησιμοποιήθηκε με λαβές και στις δύο πλευρές σε ύψος 28 εκατοστών πάνω από τη βάση του. Κατά συνέπεια, κάθε συμμετέχοντας πραγματοποίησε τέσσερις υπο-περιπτώσεις: α) Άδειο κιβώτιο-Husky, β) Γεμάτο κιβώτιο με την απαραίτητη μάζα-Husky, γ) Άδειο κιβώτιο-Thorvald και δ) Γεμάτο κιβώτιο με την απαραίτητη μάζα-Thorvald.

Κάθε υπο-περίπτωση εκτελέστηκε τρεις φορές με τυχαία σειρά και με τον ρυθμό που επιθυμούσε κάθε συμμετέχοντας, που αντιπροσωπεύει σε 12 προσπάθειες συνολικά. Τέλος, δόθηκε εντολή σε όλους τους συμμετέχοντες να πραγματοποιήσουν προθέρμανση πέντε λεπτών προκειμένου να αποφευχθούν ανεπιθύμητοι μυϊκοί τραυματισμοί. Η συμπερίληψη διαφορετικών περιπτώσεων, ανάλογα με το φύλο, την ηλικία, τη μάζα, το

ύψος και τα ύψη φόρτωσης στα ρομπότ, στοχεύει σε ένα μεγάλο εύρος των συλλεχθέντων δεδομένων, έτσι ώστε το εκπαιδευμένο μοντέλο να μπορεί να εντοπίσει τις δραστηριότητες που διεξάγονται κάτω από διαφορετικές συνθήκες.

2.2. Απόκτηση δεδομένων και αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκαν

Στην αρχή της ημέρας των πειραμάτων, οι πέντε αδρανειακές μονάδες μέτρησης (IMUs) (Blue Trident, Vicon, Nexus, Oxford, UK) βαθμονομήθηκαν σύμφωνα με τις οδηγίες που ορίζει ο κατασκευαστής. Πριν από την έναρξη κάθε προσπάθειας, οι αισθητήρες ήταν προσαρτημένοι στο στήθος (περίπου στη λαβή του στέρνου), στον αυχένα (περίπου έβδομος αυχενικός σπόνδυλος, A7), στην μέση (περίπου τέταρτος οσφυϊκός σπόνδυλος, O4), στον δεξιό και τον αριστερό καρπό, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 1. Οι αισθητήρες συνδέθηκαν μέσω ειδικών ιμάντων στους δύο καρπούς (παρέχονται από τον κατασκευαστή), ενώ οι υπόλοιποι τρεις αισθητήρες συνδέθηκαν με ταινία διπλής όψης, όπως συνηθίζεται σε τέτοιες πειραματικές μετρήσεις. Στο ίδιο σχήμα απεικονίζονται και τα διαθέσιμα οχήματα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία.



Σχήμα 1. Τα σημεία τοποθέτησης των πέντε αισθητήρων στο ανθρώπινο σώμα και απεικόνιση της ανατομίας της σπονδυλικής στήλης (πάνω) και τα δύο μη επανδρωμένα επίγεια οχήματα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία (κάτω).

Κάθε αδρανειακή μονάδα μέτρησης περιλαμβάνει ένα επιταχυνσιόμετρο, ένα γυροσκόπιο και ένα μαγνητόμετρο που μπορούν να μετρούν συγχρόνως στους 3 κάθετους άξονες. Η συχνότητα δειγματοληψίας ήταν 50 Hz, η οποία θεωρείται επαρκής για τέτοιου είδους έρευνες. Τέλος, το λογισμικό Capture.U (παρέχεται από τη VICON) χρησιμοποιήθηκε για τον συγχρονισμό των αισθητήρων και τη λήψη δεδομένων, ενώ τα τελευταία αποθηκεύτηκαν απευθείας στους αισθητήρες για περαιτέρω επεξεργασία. Δεδομένου ότι το Capture.U είναι διαθέσιμο μόνο για συσκευές iOS, χρησιμοποιήθηκε ένα Apple iPad mini (64 GB) για την παρούσα έρευνα.

a. Προ-επεξεργασία σήματος και διαχωρισμός των υπο-κατηγοριών

Το λογισμικό Capture.U, σε συνδυασμό με το iPad, προσφέρει την επιλογή ταυτόχρονης βιντεοσκόπησης της πειραματικής συνεδρίας. Αυτό το χαρακτηριστικό ήταν ιδιαίτερα χρήσιμο για τη διάκριση των υποκατηγοριών και την εύρεση της κρίσιμης χρονικής στιγμής. Προφανώς, καθώς οι απαιτούμενες δραστηριότητες είναι συνεχόμενες εκ φύσεως, το τέλος μιας δραστηριότητας αντιστοιχεί στην αρχή μιας άλλης. Δεδομένου ότι οι συμμετέχοντες εκτέλεσαν τις εργασίες με τον δικό τους μοναδικό τρόπο και ρυθμό, η τήρηση των παρακάτω καλά καθορισμένων κριτηρίων για την διάκρισή τους ήταν μείζονος σημασίας προκειμένου να διασφαλιστεί η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.

Κάθε πειραματική διαδικασία ξεκινά με τον συμμετέχοντα να παραμένει στάσιμος (επισημαίνεται ως υπο-δραστηριότητα με ένδειξη "0") και χρησιμοποιείται για δύο σκοπούς: α) Για την εύρεση μιας διακριτής δραστηριότητας "αδράνειας" και β) Για τον συγχρονισμό των αισθητήρων πριν ξεκινήσει το κάθε πείραμα. Οι υπόλοιπες υποκατηγορίες περιγράφονται παρακάτω:

- Η δεύτερη υπο-δραστηριότητα, δηλαδή το περπάτημα χωρίς μεταφορά κιβωτίου (με την ένδειξη "1"), ξεκινά μόλις το πρώτο πόδι εγκαταλείψει το έδαφος.
- Η τρίτη υπο-δραστηριότητα (με την ένδειξη "2") ξεκινά όταν ο συμμετέχων αρχίζει να λυγίζει τον κορμό του, να γονατίζει ή να εκτελεί ταυτόχρονα και τα δύο, οι οποίες αναφέρονται στη διεθνή βιβλιογραφία ως τεχνικές «stooping» (κάμψη του κορμού), «squat» (βαθύ κάθισμα) και «semi-squat» (ημι-κάθισμα), αντίστοιχα.
- Η τέταρτη υπο-δραστηριότητα (με την ένδειξη "3") ξεκινά όταν ο συμμετέχων αρχίζει να σηκώνει το κιβώτιο από το έδαφος.
- Η πέμπτη υπο-δραστηριότητα (με την ένδειξη "4") ξεκινά όταν ο συμμετέχων ξεκινά τη φάση στήριξης του βαδίσματος παρόμοια με την παραπάνω περιγραφή, ωστόσο, μεταφέροντας το κιβώτιο αυτή τη φορά.
- Η έκτη υπο-δραστηριότητα (με την ένδειξη "5") ξεκινά όταν ο συμμετέχων αρχίζει να λυγίζει τον κορμό του, να γονατίζει ή να τα εκτελεί ταυτόχρονα και τα δύο, όπως περιγράφεται παραπάνω, ενώ σταματά όταν ολόκληρη η επιφάνεια του κιβωτίου τοποθετηθεί στο μη-επανδρωμένο επίγειο όχημα.

Η προαναφερθείσα ετικετοποίηση των υπο-δραστηριοτήτων χρησιμοποιήθηκε για το υπόλοιπο της προ-επεξεργασίας του σήματος, ενώ λεπτομερής περιγραφή της προτεινόμενης μεθοδολογίας δίνεται στην πρόσφατη εργασία (Anagnostis et al., 2021). Γενικά, η προ-επεξεργασία του σήματος απαιτείται για να έρθουν τα δεδομένα σε μια βέλτιστη κατάσταση, καθώς προέρχονται από αισθητήρες που μετρούν πραγματικά δεδομένα που αφορούν δυναμικές δραστηριότητες. Η διαδικασία ξεκινά με την προ-επεξεργασία σήματος που περιλαμβάνει τη φόρτωση των δεδομένων, τη σύντηξη μεταβλητών από όλους τους αισθητήρες, την απομάκρυνση των NaNs και των ακραίων τιμών, την απομάκρυνση του θορύβου και την εξισορρόπηση των κλάσεων. Το επόμενο βήμα είναι κάποιος μετασχηματισμός ώστε τα δεδομένα να είναι σε σωστή κατάσταση που απαιτείται για την εκπαίδευση. Αυτό περιλαμβάνει τον ορισμό του χρονικού παραθύρου, την επικάλυψη των χρονικών παραθύρων, την ανάθεση και την ετικετοποίηση των κλάσεων, τον διαχωρισμό των δεδομένων εκπαίδευσης (training dataset) και δοκιμών (test dataset) και την κανονικοποίηση του δεδομένων εκπαίδευσης. Κατόπιν, ακολουθεί η διαδικασία εκπαίδευσης του μοντέλου μηχανικής μάθησης με τη χρήση αρχιτεκτονικής αλγορίθμων LSTM (Long Short-Term Memory). Τέλος, η επικύρωση του μοντέλου γίνεται με δεκαπλή επικύρωση (10-fold cross-validation), όπου το σύνολο των δεδομένων εκπαίδευσης και δοκιμών αναμιγνύεται μετά την ολοκλήρωση κάθε εκπαίδευσης και

υπολογίζονται οι δείκτες για την μέτρηση της απόδοσης. Το αποτέλεσμα της πρόβλεψης, σε σύγκριση με την πραγματική ετικέτα κλάσης που έχει εκχωρηθεί σε κάθε υπό-δραστηριότητα, μπορεί να πάρει μία από τις ακόλουθες τιμές:

- Αληθώς Θετικές (True Positive, TP) ή Αληθώς Αρνητικές (True Negative, TN), σε περίπτωση που η πρόβλεψη του μοντέλου είναι σωστή.
- Ψευδώς Θετικές (False Positive, FP) ή Ψευδώς Αρνητικές (False Negative, FN), σε περίπτωση που η πρόβλεψη του μοντέλου είναι λανθασμένη.

Με βάσει τις παραπάνω τιμές υπολογίζονται οι ακόλουθοι δείκτες απόδοσης:

$$\text{Accuracy} = (TP+TN) / (TP+FP+FN+TN) \quad (1)$$

$$\text{Precision} = TP / (TP+FP) \quad (2)$$

$$\text{Recall} = TP / (TP+FN) \quad (3)$$

$$\text{F1 score} = (2 \times \text{Recall} \times \text{Precision}) / (\text{Recall} + \text{Precision}) \quad (4)$$

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα ταξινόμησης των επιμέρους υπο-δραστηριοτήτων φαίνονται στον Πίνακα 1, όπου έχει υπολογιστεί η ακρίβεια (Precision), η ανάκληση (Recall) και τη τιμή F1-score για κάθε δραστηριότητα. Οι μεμονωμένες μετρήσεις απόδοσης για κάθε τάξη είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για την κατανόηση των αδυναμιών και των πλεονεκτημάτων ενός μοντέλου. Συνολικά, η υπο-δραστηριότητα «Περπάτημα χωρίς κιβώτιο» παρουσιάζει τις υψηλότερες προβλέψεις επιτυγχάνοντας 0,904 για Precision, 0,969 για Recall και 0,937 για F1-score. Αντίθετα, η υπο-δραστηριότητα "Σκύψιμο" επιτυγχάνει τις χαμηλότερες τιμές για ακρίβεια (0,741) και F1-score (0,763), ενώ η "Τοποθέτηση κιβωτίου" σημειώνει τη χαμηλότερη ανάκληση (0,710). Η συνολική απόδοση του εκπαιδευμένου μοντέλου μετριέται με τη χρήση της μέσης ακρίβειας (Accuracy), η οποία υπολογίστηκε 85,6% για όλες τις καθορισμένες δραστηριότητες.

Πίνακας 1. Τα αποτελέσματα ταξινόμησης των επιμέρους υπο-δραστηριοτήτων (Classification Report) για την απόδοση του μοντέλου.

Δραστηριότητα	Precision	Recall	F1-score
Ακινήσια	0,887	0,919	0,902
Περπάτημα (χωρίς κιβώτιο)	0,904	0,969	0,937
Σκύψιμο	0,741	0,790	0,763
Ανύψωση κιβωτίου	0,888	0,788	0,833
Περπάτημα (χωρίς κιβώτιο)	0,834	0,897	0,864
Τοποθέτηση κιβωτίου	0,860	0,710	0,777
Accuracy			0,856

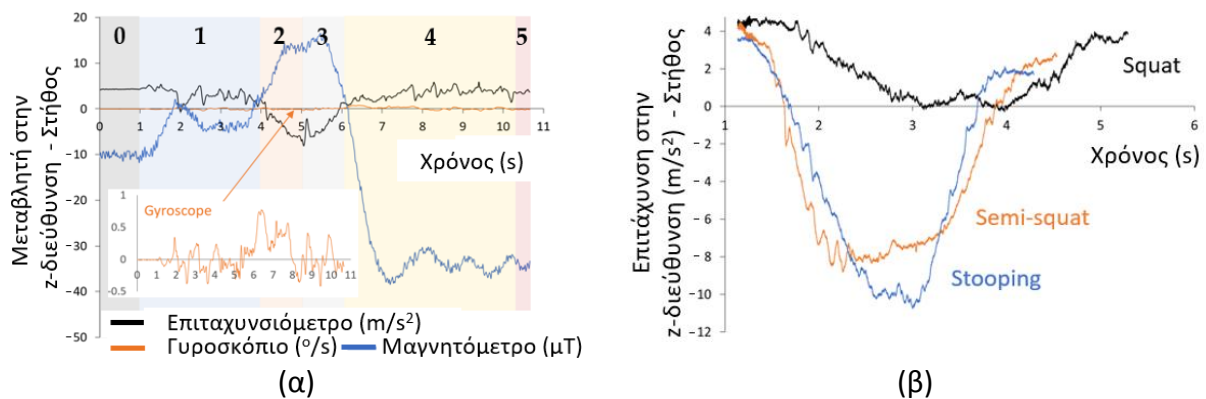
Διεξήχθη, επίσης, έρευνα σχετικά με την επίδραση που έχει κάθε μεταβλητή στην απόδοση του μοντέλου. Τα δεδομένα του επιταχυνσιόμετρου, του γυροσκοπίου και του μαγνητόμετρου χρησιμοποιήθηκαν τόσο μεμονωμένα όσο και σε συνδυασμό. Στη συνέχεια, μετρήθηκε η ακρίβεια κάθε περίπτωσης μαζί με το σφάλμα της και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2. Επίδραση κάθε μεταβλητής στην ακρίβεια του μοντέλου.

Επιταχυνσιόμετρο (x,y,z)	Γυροσκόπιο (x,y,z)	Μαγνητόμετρο (x,y,z)	Accuracy (\pm Σφάλμα)
x			82,708% ($\pm 1,468$)
	x		82,987% ($\pm 1,380$)
		x	73,412% ($\pm 2,180$)
x	x		83,619% ($\pm 0,877$)
x		x	81,200% ($\pm 1,261$)
	x	x	85,532% ($\pm 0,604$)
x	x	x	85,677% ($\pm 0,972$)

Όπως μπορεί να διακρίνει κανείς, ο συνδυασμός όλων των αισθητήρων απέδωσε καλύτερα σε σύγκριση με την περίπτωση όπου κάθε αισθητήρας χρησιμοποιήθηκε ξεχωριστά. Αυτό ήταν ένα αναμενόμενο αποτέλεσμα που έχει επισημανθεί από διάφορες σχετικές μελέτες. Από την άλλη πλευρά, λαμβάνοντας υπόψη τη χρήση ενός μόνο αισθητήρα, τα γυροσκόπια φαίνεται να υπερτερούν ελαφρώς των επιταχυνσιόμετρων, επιδεικνύοντας ακρίβεια 82,987% έναντι 82,708%, αντίστοιχα. Όσον αφορά το μαγνητόμετρο, παρατηρήθηκε ότι είχε τη μικρότερη ακρίβεια (73,412%), ενώ η συμπληρωματική χρήση του, ως μέρος μιας περίπτωσης που εξετάζει μόνο δύο τύπους αισθητήρων, προτείνεται μόνο σε συνδυασμό με γυροσκόπιο, οδηγώντας σε περίπου 3,07% αύξηση της ακρίβειας. Αντίθετα, ο συνδυασμός των επιταχυνσιόμετρων και των γυροσκοπίων είχε ως αποτέλεσμα περίπου 1,10% και 0,76% αύξηση της ακρίβειας σε σύγκριση με την χρήση μόνο επιταχυνσιόμετρων ή γυροσκοπίων, αντίστοιχα.

Ένα πολύ ενδιαφέρον στοιχείο που εξήχθη από την ανάλυση των σημάτων ήταν η διαφορετική μορφή τους κατά το σκύψιμο, όπου οφείλεται και η μικρή αναλογικά ακρίβεια σε αυτή την υπο-δραστηριότητα. Αυτή η διαφοροποίηση αποδόθηκε αρχικά στις διάφορες παραλλαγές των πειραμάτων. Ωστόσο, μία πιο προσεκτική εξέταση των μαγνητοσκοπημένων συνεδριών αποκάλυψε ότι η διαφορά σε αυτές τις χρονοσειρές οφειλόταν κυρίως στην υιοθετημένη τεχνική σκυψίματος. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2, όταν ο συμμετέχων χρησιμοποίησε την τεχνική του squat, παρατηρήθηκε μια σχετικά μικρή εσοχή στην επιτάχυνση στην z διεύθυνση που διαρκεί περισσότερο από τις άλλες δύο τεχνικές. Αυτή η τεχνική χρησιμοποιήθηκε από τη μειοψηφία των συμμετεχόντων, ενώ το stooping και το semi-squat χρησιμοποιήθηκαν στην πλειονότητα των περιπτώσεων και χαρακτηρίζονται από μια βαθύτερη εσοχή. Σε γενικές γραμμές, το squat προκαλεί λιγότερες τάσεις στη σπονδυλική στήλη αλλά περισσότερη καταπόνηση στο γόνατο. Αντίθετα, το stooping, αν και προκαλεί λιγότερες καταπονήσεις στο γόνατο, θεωρείται ο πρωταρχικός παράγοντας κινδύνου για τραυματισμούς στη μέση. Αυτός ο τρόπος ανύψωσης, ειδικά όταν εκτελείται με επαναλαμβανόμενο τρόπο, φαίνεται να είναι η πιο κοινή τεχνική σε αγροτικές δραστηριότητες, δικαιολογώντας την επιδημικές διαστάσεις των τραυματισμών στη σφυϊκή περιοχή σε αυτόν τον τομέα (Benos, Tsaouroulos, et al., 2020). Όσον αφορά το semi-squat, είναι μια εναλλακτική τεχνική μεταξύ stooping και squat που αποφεύγει τη μεγάλη κάμψη των γονάτων και την μεγάλη κάμψη του κορμού. Υπάρχει σημαντική αντιπαράθεση σχετικά με την καλύτερη τεχνική, καθώς όλες έχουν μειονεκτήματα όσον αφορά την κατανάλωση οξυγόνου και τις καταπονήσεις που ασκούνται στη σπονδυλική στήλη και τα γόνατα.



Σχήμα 2. Ενδεικτικά μη επεξεργασμένα σήματα στην κατεύθυνση z στην περιοχή του στήθους: (α) Μετρήσεις διαφορετικών αισθητήρων και (β) Εστίαση στις διαφορετικές τεχνικές με τη χρήση επιταχυνσιομέτρου.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνοψίζοντας, η παρούσα μελέτη επικεντρώνεται στην αναγνώριση της ανθρώπινης δραστηριότητας στην γεωργία. Για το σκοπό αυτό, σχεδιάστηκε ένα πείραμα πεδίου, το οποίο περιελάμβανε καλά καθορισμένες συνεχείς υπο-δραστηριότητες και συνέλεξε δεδομένα που προήλθαν από 20 υγιείς συμμετέχοντες που τους είχαν τοποθετηθεί πέντε αδρανειακές μονάδες μέτρησης σε διαφορετικά σημεία του σώματος. Αυτό το σύνολο δεδομένων χαρακτηρίζεται από μεγάλη μεταβλητότητα, λόγω της συμπερίληψης ενός μεγάλου εύρους διαφορετικών παραμέτρων. Μπορεί να συναχθεί το συμπέρασμα ότι το γυροσκόπιο και το επιταχυνσιόμετρο μπορούν να χρησιμοποιηθούν και τα δύο ανεξάρτητα για την αναγνώριση των συγκεκριμένων υπο-δραστηριοτήτων, που συνήθως απαιτούνται σε γεωργικά περιβάλλοντα. Η συνεργατική τους συμβολή μπορεί, σε κάποιο βαθμό, να αυξήσει τη συνολική απόδοση, ενώ το μαγνητόμετρο παρατηρήθηκε ότι είχε τη μικρότερη απόδοση. Η μεγαλύτερη ακρίβεια παρουσιάστηκε όταν τα δεδομένα από όλους τους αισθητήρες συνδυάστηκαν. Τέλος, τα δεδομένα της παρούσας εργασίας έγιναν δημόσια προσβάσιμα (iBO Open Datasets) και αναμένονται να είναι ιδιαίτερα χρήσιμα για μελλοντική έρευνα σχετικά με τη μηχανική μάθηση καθώς και εργονομικές μελέτες.

Ευχαριστίες: Μέρος της έρευνας χρηματοδοτήθηκε από το έργο: «Human-Robot Syn-ergetic Logistics for High Value Crops» (SYNERGIE), μέσω της Γενικής Γραμματείας Έρευνας και Καινοτομίας (ΓΓΕΚ), κωδ. έργου 2386.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Anagnostis, A., Benos, L., Tsaopoulos, D., Tagarakis, A., Tsolakis, N. and Bochtis, D., 2021. *Human activity recognition through recurrent neural networks for human-robot interaction in agriculture*. Applied Sciences (Switzerland), 11, 2188.
- Benos, L., Bechar, A. and Bochtis, D., 2020. *Safety and ergonomics in human-robot interactive agricultural operations*. Biosystems Engineering, 200, 55–72.
- Benos, L., Tsaopoulos, D. and Bochtis, D., 2020. *A review on ergonomics in agriculture. Part I: Manual operations*. Applied Sciences (Switzerland), 10, 1–21.
- Open Datasets — iBO Available online: <https://ibo.certh.gr/open-datasets/> (accessed on Sep 13, 2021).
- Seay, J. F., 2015. *Biomechanics of Load Carriage-Historical Perspectives and Recent Insights*. Journal of Strength and Conditioning Research, 29, S129–S133.

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΥΦΥΟΥΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΕΩΡΓΙΑΣ ΣΤΗΝ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΤΗΣ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΑΣ

Θ. Αγγελοπούλου^{1,2}, Α. Ταγαράκης¹, Χ. Δόρδας³, Δ. Κατέρης¹ και Δ. Μπόχτης¹

¹Ινστιτούτο Βιο-οικονομίας και Αγρο-Τεχνολογίας (iBO), Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης (ΕΚΕΤΑ), 57001, Θέρμη, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα

²Τμήμα Γεωπονίας, Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, Φασματοσκοπίας και ΓΣΠ, Σχολή Γεωπονίας, Δασολογίας & Φυσικού Περιβάλλοντος, ΑΠΘ, 54124 Θεσσαλονίκη, Ελλάδα

³Τμήμα Γεωπονίας, Εργαστήριο Γεωργίας, Σχολή Γεωπονίας, Δασολογίας & Φυσικού Περιβάλλοντος, ΑΠΘ, 54124 Θεσσαλονίκη, Ελλάδα

e-mail: d.angelpoulou@certh.gr

Περίληψη

Η λίπανση καθώς και άλλες πρακτικές διαχείρισης των καλλιεργειών συμβάλλουν στην εκπομπή των αερίων του θερμοκηπίου. Η εφαρμογή συστημάτων διαχείρισης των καλλιεργειών και των κτηνοτροφικών μονάδων, μπορεί να συντελέσει στην προστασία του περιβάλλοντος διατηρώντας ή αυξάνοντας την παραγωγή. Στην παρούσα μελέτη προτείνεται ένα ολοκληρωμένο σύστημα που χρησιμοποιεί έξυπνα ψηφιακά εργαλεία και μεθοδολογίες επεξεργασίας ακολουθώντας τις έννοιες της κυκλικής οικονομίας, για να μειώσει τον αντίκτυπο στην κλιματική αλλαγή. Η κυκλική γεωργία και η γεωργία ακριβείας μαζί με τη χρήση των κατάλληλων εργαλείων διαχείρισης καλλιεργειών μπορούν να συμβάλουν στην αποδοτικότερη χρήση των πόρων και στη μετάβαση στη βιώσιμη γεωργία.

Λέξεις κλειδιά: Βιο-οικονομία, κυκλική γεωργία, γεωργία ακριβείας, βιωσιμότητα.

IMPLEMENTATION OF A SMART FARMING SYSTEM IN SUPPORT OF CIRCULAR AGRICULTURE

Th. Angelopoulou^{1,2}, A. Tagarakis¹, C. Dordas³, D. Kateris¹ and D. Bochtis¹

¹Institute for Bio-economy and Agri-technology (iBO), Centre for Research and Technology – Hellas (CERTH), 57001, Themi, Thessaloniki, Greece

²Laboratory of Remote Sensing, Spectroscopy and GIS, School of Agriculture, Faculty of Agriculture, Forestry and Natural Environment, Aristotle University of Thessaloniki, 54124, Thessaloniki, Greece

³Laboratory of Agronomy, Faculty of Agriculture, Forestry and Natural Environment, Aristotle University of Thessaloniki, 54124, Thessaloniki, Greece

e-mail: d.angelpoulou@certh.gr

Abstract

Fertilization as well as other crop management practices contribute to emission of greenhouse gases. Crop and livestock management systems should be implemented aiming to environmental protection while maintaining yields. The present study proposes an integrated system that uses smart farming tools and processing methodologies following the concepts of circular economy, to reduce the impact on climate change. Circular and precision agriculture, together with the use of appropriate crop management tools, can contribute to more efficient use of resources towards sustainable agriculture.

Keywords: bioeconomy, circular agriculture, precision agriculture, sustainability.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η κλιματική αλλαγή αποτελεί σημαντική απειλή για το φυσικό περιβάλλον και συνεπώς είναι επιτακτική η ανάγκη να γίνει μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η γεωργία συμβάλλει στο 10% περίπου των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και έως το 95% των εκπομπών αμμωνίας με κύριες πηγές την εντερική ζύμωση από τα μηρυκαστικά, τη νιτροποίηση και την απονιτροποίηση που συμβαίνει στο έδαφος καθώς και η αποσύνθεση της κοπριάς (European Union, 2013; Eurostat, 2013). Το κόστος που προκύπτει λόγω της ρύπανσης με άζωτο κυμαίνεται μεταξύ 70 και 320 δισεκατομμυρίων ευρώ το χρόνο (European Commission, 2013). Η συμφωνία των Παρισίων έθεσε σαν έναν από τους κύριους στόχους της τη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου κατά 40 % έως το 2030 σε σύγκριση με το 1991 και για τον σκοπό αυτό θα πρέπει να συμβάλλουν όλοι οι τομείς όπως η γεωργία και η κτηνοτροφία (*Paris Agreement*, 2015).

Οι πρακτικές της συμβατικής γεωργίας σε επίπεδο ζωικής παραγωγής και των συναφών με αυτή καλλιεργειών μπορεί να οδηγήσουν σε ακατάλληλη χρήση και εφαρμογή των πόρων όπως νερό και λιπάσματα, οι οποίες σχετίζονται με εκπομπές και εκροές ρύπων στο έδαφος, στο νερό και στον αέρα (Peters, Wiedemann, Rowley, & Tucker, 2010). Συνολικά, ο παγκόσμιος τομέας της κτηνοτροφίας συμβάλλει έως και στο 72% των εκπομπών υποξειδίων του αζώτου N_2O και περίπου στο 80% του μεθανίου CH_4 (Gerber et al., 2013). Αυτές οι εκπομπές προκύπτουν απευθείας από εντερική ζύμωση και τη διαχείριση της κοπριάς.

Παράλληλα, οι γεωργοκτηνοτροφικές μονάδες απαιτούν μεγάλες ποσότητες νερού για άρδευση, κατανάλωση από τα ζώα, καθαρισμό και άλλες χρήσεις και ενώ η ποσότητα που χρησιμοποιείται ποικίλλει ανάλογα με την περιοχή, μπορεί να φτάσει έως και σχεδόν το 90% της συνολικής κατανάλωσης νερού κυρίως σε περιοχές της Νότιας Ευρώπης (EEA, 2009). Ωστόσο, υπάρχουν περιθώρια βελτίωσης που σχετίζονται με τη βιώσιμη διαχείριση των υδάτινων πόρων στην γεωργία (π.χ. ενσωμάτωση καλλιεργειών/ζώων όπου τα υποπροϊόντα των καλλιεργειών θα αξιοποιούνται από τα ζώα). Η άρδευση ακριβείας, μια σύγχρονη έννοια διαχείρισης άρδευσης, στοχεύει στην υποστήριξη των βέλτιστων αναγκών σε νερό των φυτών μέσω μειωμένων εισροών. Τέλος, άλλη μια πρακτική που χαρακτηρίζεται ως φιλική προς το περιβάλλον είναι η καλλιέργεια ελεγχόμενης κυκλοφορίας (controlled traffic farming, CTF) (Bochtis et al., 2009; Mouazen & Palmqvist, 2015; Tullberg, 2010; Tullberg et al., 2007). Το CTF χρησιμοποιεί μόνιμες παράλληλες διαδρομές στο χωράφι όπου περιορίζεται η κυκλοφορία μηχανημάτων. Έτσι, ελαχιστοποιείται η συμπίεση του εδάφους, ένα φαινόμενο που συνδέεται άμεσα με τις απαιτήσεις ισχύος των μηχανημάτων, τις συνολικές απαιτήσεις των καλλιεργειών σε ενέργεια και τις αντίστοιχες εκπομπές CO_2 . Σχετικά με την κατάσταση της υγείας των φυτών η συμπίεση του εδάφους δημιουργεί δυσκολίες στην ανάπτυξη των φυτών οδηγώντας σε μειωμένες αποδόσεις (μειωμένη απόδοση μεταφράζεται σε αυξημένο περιβαλλοντικό αποτύπωμα ανά μονάδα μάζας προϊόντος). Πέρα από το αυξημένο δυναμικό απόδοσης και την εξοικονόμηση ενέργειας, άλλα καταγεγραμμένα οφέλη που προκύπτουν από την εφαρμογή του συστήματος CTF περιλαμβάνουν την μείωση των απωλειών CO_2 και την ελαχιστοποίηση της απορροής των υδάτων (Bennett et al., 2017).

Για να επιτευχθεί μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, πρέπει να υιοθετηθούν νέες προσεγγίσεις διαχείρισης, όπως η κυκλική γεωργία, και να αναπτυχθούν και να χρησιμοποιηθούν νέες τεχνολογίες που μπορούν να ελαχιστοποιήσουν τις εισροές για την καλλιέργεια. Η κυκλική γεωργία είναι μια σύγχρονη έννοια διαχείρισης που

προωθεί την επαναχρησιμοποίηση όλων των πόρων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από το ίδιο το σύστημα παραγωγής (Kircher, 2021; Rodias et al., 2020; von Braun, 2018). Η χρήση τέτοιων συστημάτων οδηγεί άμεσα στην ελαχιστοποίηση των γεωργικών αποβλήτων, ενώ η εφαρμογή τους μπορεί να μειώσει τις απώλειες και τις εκπομπές θρεπτικών ουσιών και νερού (Rodias et al., 2020).

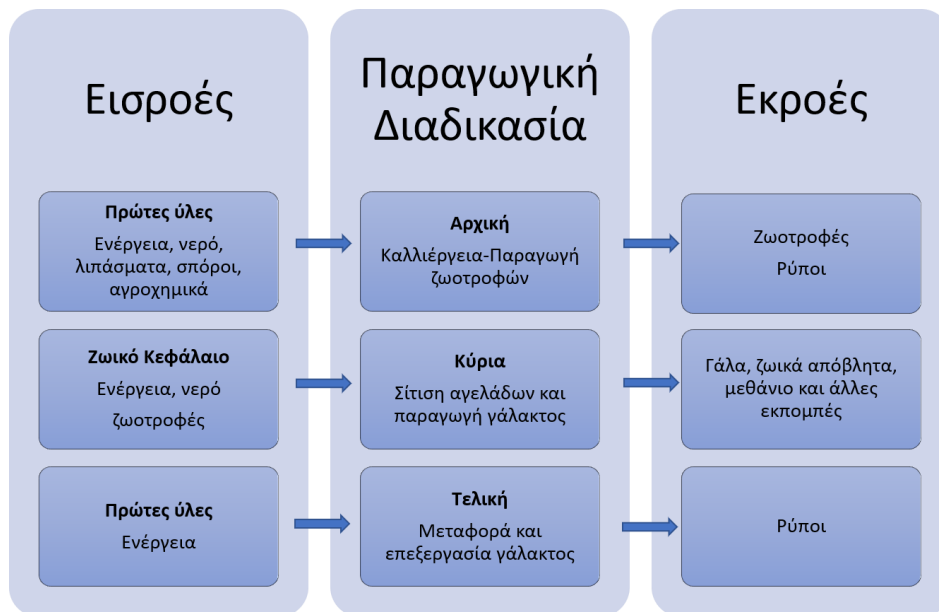
Οι τελευταίες τεχνολογικές εξελίξεις στο τομέα των αισθητήρων και της επικοινωνίας άνοιξαν το δρόμο για την ανάπτυξη και την εφαρμογή πιο αποτελεσματικών συστημάτων διαχείρισης που λαμβάνουν υπόψη τη χρονική και χωρική μεταβλητότητα των ιδιοτήτων του αγρού και των καλλιεργειών για έγκαιρες και ακριβείς επεμβάσεις στο χωράφι (Anagnostis et al., 2021; Angelorouli et al., 2020). Στο πλαίσιο αυτής της εργασίας, συζητείται η ανάπτυξη ενός συστήματος κυκλικής γεωργίας, βασισμένου σε εφαρμογές γεωργίας ακριβείας και στην ανάπτυξη πληροφοριακού συστήματος για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης των καλλιεργειών και της παραγωγικότητας των ζώων. Αρκετά δεδομένα από διάφορες πηγές μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως είσοδοι σε αυτό το σύστημα. Αυτά μπορεί να είναι δεδομένα από συστήματα εντοπισμού θέσης (GPS), δεδομένα συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών (GIS), δεδομένα απομακρυσμένης και εγγύς ανίχνευσης, δεδομένα από καλλιέργειες και το έδαφος (Angelorouli et al., 2020) και μετεωρολογικά συστήματα (συστήματα IoT) καθώς και δεδομένα από γεωργικά μηχανήματα (ως εφαρμοζόμενοι χάρτες άρδευσης, σπόρους, λιπάσματα, εντομοκτόνα κ.λπ.) (Bochtis & Sørensen, 2009, 2010; Hameed, et al., 2012; Jensen et al., 2015; Jensen et al., 2015), και ένα ευρύ φάσμα άλλων πηγών. Τα προαναφερθέντα δεδομένα, ως εισροές σε ένα κυκλικό σύστημα γεωργίας ακριβείας, μεταφράζονται κατάλληλα και χρησιμοποιούνται για την ανάλυση της αποδοτικότητας της παραγωγής. Τέτοια συστήματα, μαζί με την ανάπτυξη κατάλληλων αλγορίθμων, μπορούν επίσης να υποστηρίξουν τη χρήση των αποβλήτων και άλλων υποπροϊόντων στη διαδικασία παραγωγής, προσφέροντας στον παραγωγό ένα ολοκληρωμένο εργαλείο υποστήριξης αποφάσεων για την εφαρμογή της κυκλικής γεωργίας (Bochtis et al., 2013; Menexes et al., 2019). Η ενσωμάτωση όλων των διαφορετικών επιπέδων πληροφοριών μπορεί να είναι ένα ζήτημα. Ωστόσο, οι αλγόριθμοι σύντηξης δεδομένων παρέχουν τη δυνατότητα συνδυασμού πληροφοριών από πολλές διαφορετικές πηγές (GPS, GIS, IoT, αισθητήρες καλλιέργειας και εδάφους κ.λπ.). Δίνεται επίσης έμφαση στην ευκολία χρήσης του συστήματος, λαμβάνοντας υπόψη ότι τέτοια συστήματα πρέπει να απευθύνονται σε άτομα που δεν έχουν συχνά την απαιτούμενη εξοικείωση με σύνθετα τεχνολογικά προηγμένα συστήματα (Marinoudi et al., 2019; Moysiadis et al., 2020).

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να παρουσιάσει ένα ολοκληρωμένο σύστημα κυκλικής γεωργίας (BIOCIRCULAR) οποίο έχει εφαρμογή σε μια μικρομεσαίου μεγέθους γαλακτοπαραγωγική μονάδα κάθετης παραγωγής. Ένα κομμάτι του συστήματος αφορά σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης της γονιμότητας του εδάφους που συνδυάζει τις κατάλληλες ποσότητες οργανικής και ανόργανης λίπανσης καθώς και τη χρήση κοπριάς σε συνδυασμό με καλές γεωργικές πρακτικές. Παρουσιάζονται επίσης και τα πρώτα αποτελέσματα από τη λίπανση φυτών που προορίζονται για ζωοτροφές ως ένα κομμάτι του συστήματος της ολοκληρωμένης διαχείρισης.

2. ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

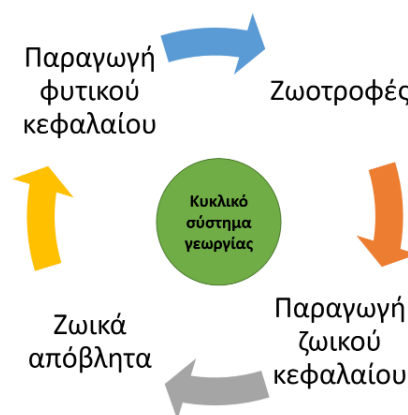
Στόχος της παρούσας εργασίας ήταν η δημιουργία ενός εργαλείου έξυπνης γεωργίας για την στοχευμένη διαχείριση μιας γαλακτοπαραγωγικής μονάδας σε κάθε στάδιο παραγωγής. Προκειμένου να σχεδιαστεί και να αναπτυχθεί ένα τέτοιο σύστημα έπρεπε πρώτα να καθοριστούν οι απαιτήσεις χρηστών. Για το σκοπό αυτό οι διεργασίες μιας τυπικής

γαλακτοπαραγωγικής μονάδας αναλύθηκαν σε τρεις κύριες διεργασίες, οι οποίες με τη σειρά τους καθόρισαν και τις εισροές και τις εκροές για κάθε βήμα της διαδικασίας (Σχήμα 4).



Σχήμα 4 Εισροές και εκροές των σταδίων παραγωγής μιας γαλακτοπαραγωγικής μονάδας

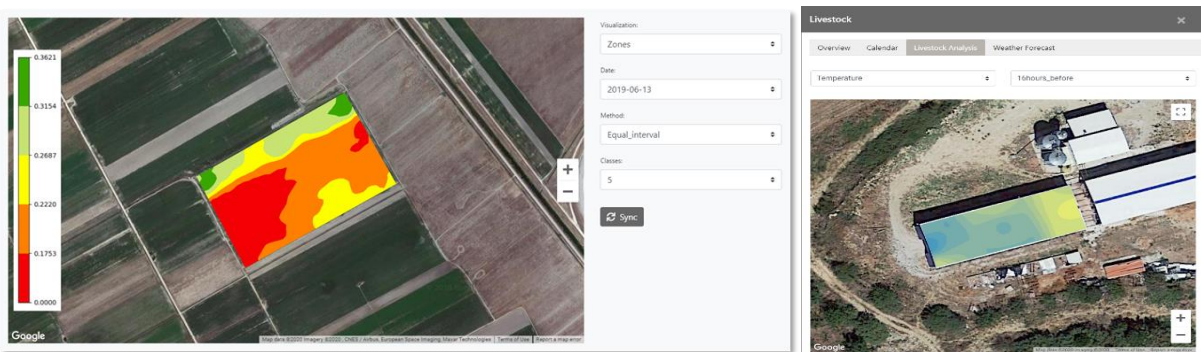
Το σύστημα περιλαμβάνει όλες τις διαδικασίες σε όλη την αλυσίδα παραγωγής και για το λόγο αυτό χωρίστηκε σε βασικά υποσυστήματα που συνδέονται και αλληλοεπιδρούν με ένα κεντρικό κυκλικό σύστημα ακριβείας διαχείρισης πληροφοριών, το οποίο αποτελεί την καρδιά του οικοσυστήματος της κυκλικής γεωργικής εκμετάλλευσης (Σχήμα 5). Τα υποσυστήματα περιλαμβάνουν: α) παραγωγή φυτικού κεφαλαίου, β) παραγωγή ζωοτροφών, γ) παραγωγή ζωικού κεφαλαίου και δ) διαχείριση ζωικών αποβλήτων. Στις διαδικασίες του υποσυστήματος για τα ζωικά απόβλητα, περιλαμβάνεται η παραγωγή ενέργειας και οργανικών λιπασμάτων ως υποπροϊόντα που θα χρησιμοποιηθούν από το ίδιο το σύστημα (κυκλική διαχείριση). Το διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) και τα συστήματα γεωργίας ακριβείας εμπλέκονται σε κάθε υποσύστημα για την παρακολούθηση και καταγραφή των παραμέτρων που απαιτούνται για ενημερωμένη διαχείριση.



Σχήμα 5 Σχηματική αναπαράσταση κυκλικού συστήματος στη γεωργία

3. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΟΥ ΠΛΗΡΟΓΟΡΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

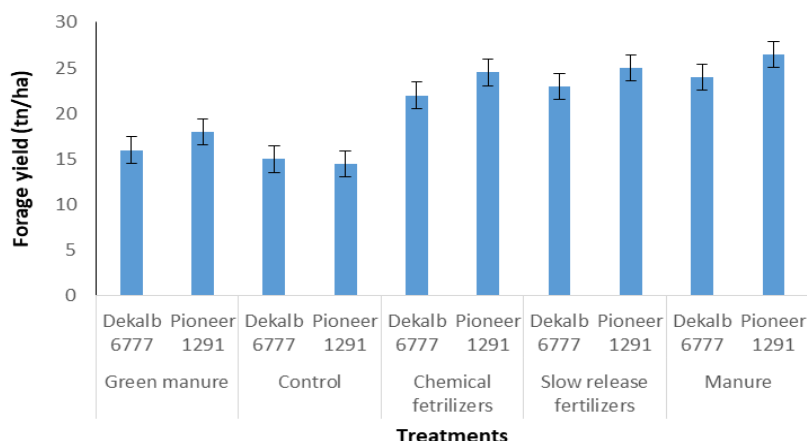
Το κυκλικό σύστημα παραγωγής μπορεί να λαμβάνει και να επεξεργάζεται όλες τις πληροφορίες από κάθε υποσύστημα εγκατεστημένο σε κάθε επίπεδο παραγωγής στο αγρόκτημα και παρέχει τα αποτελέσματα σε απλή και διαχειρίσιμη μορφή, βοηθώντας τους χρήστες να λαμβάνουν τις κατάλληλες αποφάσεις (Σχήμα 3). Σαν δεδομένα εισόδου μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα εξής: α) για το υποσύστημα παραγωγής φυτικών προϊόντων: δεδομένα καιρού και υγρασίας του εδάφους, εικόνες δορυφόρων και μη επανδρωμένων αεροσκαφών, ιδιότητες καλλιέργειας και εδάφους από επίγειους αισθητήρες, β) για το υποσύστημα παραγωγής ζωοτροφών: δεδομένα υγρασίας και θερμοκρασίας ενσιρώματος, γ) για το υποσύστημα ζωικής παραγωγής: περιβαλλοντικές συνθήκες στέγασης των ζώων όπως θερμοκρασία, υγρασία, συγκεντρώσεις CO₂ και μεθανίου κ.λπ. που παρακολουθούνται χρησιμοποιώντας συστήματα ανίχνευσης, κατάσταση της υγείας των ζώων (θερμοκρασία, δραστηριότητα και συμπεριφορά) χρησιμοποιώντας ασύρματα περιλαίμια, δ) για το υποσύστημα επεξεργασίας ζωικών αποβλήτων: όγκος αποβλήτων, περιεκτικότητα και θερμοκρασία λυμάτων, παραγόμενος όγκος βιοαερίου, εάν είναι εξοπλισμένος με εγκαταστάσεις παραγωγής βιοαερίου. Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζονται κάποιες από τις βασικές λειτουργίες της πλατφόρμας.



Σχήμα 3 (α) αυτόματη χαρτογράφηση ιδιοτήτων της καλλιέργειας και (β) χαρτογράφηση των περιβαλλοντικών συνθηκών εντός των εγκαταστάσεων στέγασης των ζώων

4. ΠΕΙΡΑΜΑ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΥ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΖΩΟΤΡΟΦΗΣ

Η παραγωγή του φυτικού κεφαλαίου είναι το αρχικό στάδιο παραγωγής σε ένα κυκλικό σύστημα γαλακτοκομικών προϊόντων και αποτελεί το πρώτο υποσύστημα στο BIOCIRCULAR. Στο πλαίσιο του έργου, εγκαταστάθηκαν πειράματα στον αγρό για τη μελέτη και ανάπτυξη πρακτικών διαχείρισης που μπορεί να οδηγήσουν σε αυξημένη αποδοτικότητα της παραγωγής ελαχιστοποιώντας το περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Επίσης, διερευνήθηκε η επίπτωση στην απόδοση της καλλιέργειας αραβόσιτου (*Zea mays* L.), που καλλιεργείται για παραγωγή ενσιρώματος, με την εφαρμογή διαφόρων τύπων λιπασμάτων. Στη μελέτη συμπεριλήφθηκαν δύο υβρίδια αραβόσιτου: το Dek-alb6777 και το Pioneer1291 και δοκιμάστηκαν πέντε διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης: χλωρά λίπανση (οργανική), χωνεμένη κοπριά (οργανική), συμβατικό λίπασμα (συνθετικό), λίπασμα βραδείας αποδέσμευσης (συνθετικό) και μάρτυρας (δεν εφαρμόζεται λίπασμα).



Σχήμα 4 Απόδοση σε ενσίρωμα κατά τις διαφορετικές επεμβάσεις που δοκιμάστηκαν με τα δύο υβρίδια καλαμποκιού κατά την καλλιεργητική περίοδο του 2019.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η κοπριά που προέρχεται από βοοειδή μπορεί να παρέχει επαρκώς τα θρεπτικά συστατικά που είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών σε διαθέσιμη μορφή, ενισχύοντας παράλληλα τις ιδιότητες συγκράτησης νερού του εδάφους, οδηγώντας σε αυξημένη παραγωγικότητα αραβόσιτου (Σχήμα 4). Επίσης, η χλωρά λίπανση με βίκο μπορεί να παρέχει επαρκείς ποσότητες αζώτου, το οποίο είναι πολύ σημαντικό για την ανάπτυξη του αραβοσίτου. Επομένως, η αποτελεσματική διαχείριση των φυσικών πόρων μαζί με τις ολοκληρωμένες προσεγγίσεις διαχείρισης των καλλιεργειών μπορούν να μειώσουν τις εισροές στα συστήματα παραγωγής φυτών.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα οφέλη από τη χρήση των συστημάτων κυκλικής γεωργίας και ψηφιακής τεχνολογίας είναι σημαντικά. Η εφαρμογή των προσεγγίσεων της κυκλικής γεωργίας ακριβείας μπορεί να οδηγήσει σε βιώσιμη ανάπτυξη της γαλακτοκομικής παραγωγής, αυξάνοντας την αποδοτικότητα, μειώνοντας τις εισροές και ελαχιστοποιώντας τα απόβλητα. Πιο συγκεκριμένα αυτά τα συστήματα επιτρέπουν την παρακολούθηση των διαδικασιών στα διάφορα στάδια της παραγωγής, διευκολύνοντας την ιχνηλασιμότητα για την παραγωγή πιστοποιημένων προϊόντων. Επιπλέον, η χρήση της γεωργίας ακριβείας μπορεί να αυξήσει την αποτελεσματικότητα της χρήσης των πόρων, με την κατάλληλη διαχείριση της χωρικής παραλλακτικότητας στον αγρό. Υποστηρίζοντας τους αγρότες στη λήψη των βέλτιστων διαχειριστικών αποφάσεων, μπορεί να αυξήσει την αποδοτικότητα χρήσης των εισροών, οδηγώντας στη μείωση τους και, συνεπώς, παρέχοντας οικονομικό όφελος για τους παραγωγούς. Επιπλέον, τα κυκλικά χαρακτηριστικά αυτών των συστημάτων ελαχιστοποιούν την παραγωγή ζωικών αποβλήτων, μειώνουν τις απώλειες θρεπτικών και αγροχημικών, μειώνοντας έτσι το περιβαλλοντικό αποτύπωμα.

Το σύστημα που παρουσιάζεται σε αυτή τη μελέτη, στοχεύει να αποτελέσει ένα δυναμικό, έξυπνο σύστημα υποστήριξης αποφάσεων για την κυκλική γεωργία, το οποίο συνδυάζει πληροφορίες από κάθε διαθέσιμη πηγή σε ολόκληρη την αλυσίδα παραγωγής και υποστηρίζει τους αγρότες και τους διαχειριστές των αγροτικών εκμεταλλεύσεων στη λήψη ενημερωμένων και έγκαιρων αποφάσεων βασισμένων σε δεδομένα πραγματικού χρόνου. Επιπλέον, τα αρχικά αποτελέσματα από το πείραμα λίπανσης έδειξαν ότι η χρήση κοπριάς βοοειδών ως μοναδικής πηγής λιπάσματος μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένες αποδόσεις σε σύγκριση με τα συνθετικά λιπάσματα. Αυτό το αποτέλεσμα επιβεβαιώνει την

προοπτική χρήσης ζωικών αποβλήτων σε κυκλικά συστήματα παραγωγής γαλακτοκομικών προϊόντων για αυξημένη βιωσιμότητα.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Μέρος της έρευνας χρηματοδοτήθηκε από το Έργο: «BioCircular: Bioproduction System for Circular Precision Farming», μέσω του Επιχειρησιακού Προγράμματος Ανταγωνιστικότητα, Επιχειρηματικότητα και Καινοτομία, RESEARCH – CREATE – INNOVATE (κωδικός έργου: T1EDK-03987)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Anagnostis, A., Tagarakis, A. C., Kateris, D., Moysiadis, V., Sørensen, C. G., Pearson, S., & Bochtis, D. (2021). Orchard mapping with deep learning semantic segmentation. *Sensors*, 21(11), 1–23. <https://doi.org/10.3390/s21113813>
- Angelopoulou, T., Balafoutis, A., Zalidis, G., & Bochtis, D. (2020, January 7). From laboratory to proximal sensing spectroscopy for soil organic carbon estimation-A review. *Sustainability (Switzerland)*, Vol. 12, p. 443. <https://doi.org/10.3390/su12020443>
- Bennett, J. M., Roberton, S. D., Jensen, T. A., Antille, D. L., & Hall, J. (2017). A comparative study of conventional and controlled traffic in irrigated cotton: I. Heavy machinery impact on the soil resource. *Soil and Tillage Research*, 168, 143–154. <https://doi.org/10.1016/J.STILL.2016.12.012>
- Bochtis, D. D., & Sørensen, C. G. (2009). The vehicle routing problem in field logistics part I. *Biosystems Engineering*, 104(4), 447–457. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2009.09.003>
- Bochtis, D. D., & Sørensen, C. G. (2010). The vehicle routing problem in field logistics: Part II. *Biosystems Engineering*, 105(2), 180–188.
- Bochtis, D. D., Sørensen, C. G., Busato, P., & Berruto, R. (2013). Benefits from optimal route planning based on B-patterns. *Biosystems Engineering*, 115(4). <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2013.04.006>
- Bochtis, D. D., Sørensen, C. G., Jørgensen, R. N., & Green, O. (2009). Modelling of material handling operations using controlled traffic. *Biosystems Engineering*, 103(4). <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2009.02.006>
- Busato, P., Sørensen, C. G., Pavlou, D., Bochtis, D. D., Berruto, R., & Orfanou, A. (2013). DSS tool for the implementation and operation of an umbilical system applying organic fertiliser. *Biosystems Engineering*, 114(1). <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.08.012>
- EEA. (2009). *Water resources across Europe – confronting water scarcity and drought*. EEA Report 2/2009.
- European Commission. (2013). Nitrogen Pollution and the European Environment: Implications for Air Quality Policy. *Science for Environment Policy IN-DEPTH REPORT*, (September), 28.
- European Union. (2013). *Eurostat Pocketbooks Agriculture, forestry and fishery statistics*.
- Eurostat. (2013). Agriculture, forestry and fishery statistics. In *Eurostat*. <https://doi.org/10.2785/45595>
- Gerber, P.J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Faluccci, A. & Tempio, G. (2013). Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities. In *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome*.

- Hameed, I. A., Bochtis, D. D., Sørensen, C. G., & Vougioukas, S. (2012). An object-oriented model for simulating agricultural in-field machinery activities. *Computers and Electronics in Agriculture*, *81*. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2011.11.003>
- Jensen, M.F., Bochtis, D., & Sørensen, C. G. (2015). Coverage planning for capacitated field operations, part II: Optimisation. *Biosystems Engineering*, *139*. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2015.07.002>
- Jensen, Martin F., Nørremark, M., Busato, P., Sørensen, C. G., & Bochtis, D. (2015). Coverage planning for capacitated field operations, Part I: Task decomposition. *Biosystems Engineering*, *139*, 136–148.
- Kircher, M. (2021). Bioeconomy – present status and future needs of industrial value chains. *New Biotechnology*, *60*, 96–104. <https://doi.org/10.1016/J.NBT.2020.09.005>
- Marinoudi, V., Sørensen, C. G., Pearson, S., & Bochtis, D. (2019). Robotics and labour in agriculture. A context consideration. *Biosystems Engineering*, *184*, 111–121. <https://doi.org/10.1016/J.BIOSYSTEMSENG.2019.06.013>
- Menexes, I., Kolorizos, V., Arvanitis, C., Baniyas, G., Kateris, D., & Bochtis, D. (2019). Robotics applications in agriculture with the use of an integrated information system. *11th National Conference of the Hellenic Society of Agricultural Engineers*. Volos, Greece.
- Mouazen, A., & Palmqvist, M. (2015). Development of a Framework for the Evaluation of the Environmental Benefits of Controlled Traffic Farming. *Sustainability*, *7*(7), 8684–8708. <https://doi.org/10.3390/su7078684>
- Moysiadis, V., Tsolakis, N., Katikaridis, D., Sørensen, C. G., Pearson, S., & Bochtis, D. (2020). Mobile Robotics in Agricultural Operations : A Narrative Review on Planning Aspects. *Applied Sciences*.
- Paris Agreement. (2015). Retrieved from https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_english.pdf
- Peters, G. M., Wiedemann, S. G., Rowley, H. V., & Tucker, R. W. (2010). Accounting for water use in australian red meat production. *International Journal of Life Cycle Assessment*, *15*(3), 311–320. <https://doi.org/10.1007/s11367-010-0161-x>
- Rodias, E., Aivazidou, E., Achillas, C., Aidonis, D., & Bochtis, D. (2020). Water-Energy-Nutrients Synergies in the Agrifood Sector: A Circular Economy Framework. *Energies* *2021*, Vol. 14, Page 159, *14*(1), 159. <https://doi.org/10.3390/EN14010159>
- Sejian, V., Bhatta, R., Malik, P. K., Madijagan, B., Al-Hosni, Y. A. S., Sullivan, M., & Gaughan, J. B. (2016). Livestock as Sources of Greenhouse Gases and Its Significance to Climate Change. In *Greenhouse Gases*. <https://doi.org/10.5772/62135>
- Tullberg, J. (2010). Tillage, traffic and sustainability—A challenge for ISTRO. *Soil and Tillage Research*, *111*(1), 26–32. <https://doi.org/10.1016/J.STILL.2010.08.008>
- Tullberg, J. N., Yule, D. F., & McGarry, D. (2007). Controlled traffic farming—From research to adoption in Australia. *Soil and Tillage Research*, *97*(2), 272–281. <https://doi.org/10.1016/J.STILL.2007.09.007>
- von Braun, J. (2018). Bioeconomy – The global trend and its implications for sustainability and food security. *Global Food Security*, *19*, 81–83. <https://doi.org/10.1016/J.GFS.2018.10.003>

ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΖΙΖΑΝΙΩΝ ΣΕ ΑΜΠΕΛΩΝΕΣ

**Δ. Καλαϊτζίδης, Δ. Κατέρης, Β. Μωυσιάδης, Γ. Βασιλειάδης, Δ. Κατικαρίδης, Α. Ταγαράκης
και Δ. Μπόχτης**

Ινστιτούτο Βιο-οικονομίας & Αγρο-τεχνολογίας (iBO), Εθνικό Κέντρο Έρευνας & Τεχνολογικής
Ανάπτυξης (ΕΚΕΤΑ), Δημάρχου Γεωργιάδου 118, 38333, Βόλος, Ελλάδα

d.kateris@certh.gr

Περίληψη

Η διαχείριση των ζιζανίων αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις στην αμπελουργία, δεδομένου ότι τα ζιζάνια μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές απώλειες στην απόδοση της καλλιέργειας δρώντας ανταγωνιστικά προς αυτή. Συνεπώς, η ανάπτυξη μιας αυτοματοποιημένης διαδικασίας παρακολούθησης των ζιζανίων θα παράσχει χρήσιμα δεδομένα για την κατανόηση των πρακτικών διαχείρισής τους. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται μια νέα τεχνική η οποία χρησιμοποιώντας δεδομένα που συλλέγονται με τη βοήθεια μιας κάμερας βάθους (RGB-D) δημιουργεί χάρτες χωρικής παραλλακτικότητας με βάση το ύψος των ζιζανίων στους διαδρόμους μεταξύ των γραμμών των αμπελώνων. Οι αλγόριθμοι που αναπτύχθηκαν δοκιμάστηκαν σε μεγάλο αριθμό δεδομένων που ελήφθησαν από αμπελώνες με ζιζάνια σε διαφορετικά στάδια ανάπτυξης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η προτεινόμενη τεχνική δίνει πολλά υποσχόμενα αποτελέσματα σε διάφορες συνθήκες.

Λέξεις κλειδιά: Αμπελώνας, ζιζάνια, κάμερα βάθους, νέφος σημείων, επίγειο μη-επανδρωμένο όχημα

AUTONOMOUS WEED DETECTION ROBOTIC SYSTEM IN VINEYARDS

D. Kalaitzidis, D. Kateris, V. Moysiadis, G. Vasileiadis, D. Katikaridis, A. Tagarakis and D. Bochtis

Institute for Bio-Economy and Agri-Technology (iBO), Centre of Research and Technology-Hellas
(CERTH), Dimarchou Georgiadou 118, 38333, Volos, Greece

d.kateris@certh.gr

Abstract

Weed management is one of the major challenges in viticulture, as long as weeds can cause significant yield losses and severe competition to the cultivations. In this direction, the development of an automated procedure for weed monitoring will provide useful data for understanding their management practices. In this work, a new depth camera (RGB-D) based- technique was developed in order to provide weed based on weeds' height at the inter-row path of the vineyards. The developed algorithms were tested in many datasets from vineyards with different levels of weed development. The results show that the proposed technique gives promising results in various field conditions.

Key words: Vineyard, weeds, RGB-D camera, point cloud, Unmanned Ground Vehicle (UGV)

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια, η χρήση της ρομποτικής τεχνολογίας στη γεωργία εντείνεται συνεχώς. Οι ρομποτικές πλατφόρμες αποτελούν πλέον την εφαρμογή του αυτοματισμού και της ρομποτικής στον τομέα της γεωργίας με σκοπό την υποβοήθηση των εργατών σε χειρωνακτικές εργασίες βαρέως τύπου. Αυτού του είδους ο εξοπλισμός έχει ήδη αρχίσει να μεταμορφώνει πολλές πτυχές της γεωργίας βρίσκοντας δυναμικά τον δρόμο του προς την αγορά. Ως εκ τούτου, αυτού του είδους οι λύσεις μπορούν να παράσχουν εναλλακτικές διεξόδους στον τομέα της διαχείρισης της καλλιέργειας του αμπελιού καθιστώντας τις ρομποτικές πλατφόρμες προσφιλές και αξιόπιστο εργαλείο.

Η επιτυχής παραγωγή σταφυλιών συνεπάγεται την εφαρμογή ορθών πρακτικών διαχείρισης των ζιζανίων, διατήρησης της απόδοσης της καλλιέργειας και της ποιότητας του εδάφους. Τα ζιζάνια ευθύνονται για σημαντικές απώλειες στην απόδοση της καλλιέργειας δρώντας ανταγωνιστικά προς αυτή. Η ολοκληρωμένη διαχείριση των ζιζανίων σε συνδυασμό με τη χρήση επίγειων και εναέριων αυτόνομων ρομποτικών πλατφορμών (UGVs και UAVs), επιτρέπει την αποτελεσματικότερη διαχείριση τους με γνώμονα πάντα την προστασία του περιβάλλοντος (Jiménez-Brenes et al., 2019).

Είναι γνωστό ότι μία από τις φθηνότερες και αποτελεσματικότερες μεθόδους ελέγχου των ζιζανίων είναι η χρήση χημικών. Ωστόσο, η χρήση αυτής της μεθόδου μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις και κινδύνους για το περιβάλλον. Άλλες μέθοδοι όπως η μηχανική κατεργασία, η θερμική μέθοδος και η κάλυψη των καλλιεργειών μπορούν να αποτελέσουν εναλλακτικές λύσεις στη στρατηγική ελέγχου των ζιζανίων, ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες, το έδαφος και την καλλιέργεια. Επίσης είναι γνωστό ότι οι μηχανικές μέθοδοι διαχείρισης των ζιζανίων είναι οι πιο οικονομικές και αποδοτικές στους αμπελώνες.

Η έγκαιρη ανίχνευση των σημείων εμφάνισης των ζιζανίων σε μια καλλιέργεια μπορεί να επιτευχθεί εύκολα και γρήγορα συνδυάζοντας τη λήψη εικόνας από αισθητήρες που έχουν τοποθετηθεί σε επίγειες και εναερίες ρομποτικές πλατφόρμες (UGVs και UAVs) με την χρήση κατάλληλων αλγορίθμων επεξεργασίας των δεδομένων (Benos et al., 2021; Anagnostis et al., 2021; Tian et al., 2020). Οι αλγόριθμοι αυτοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ολοκληρωμένα πληροφοριακά συστήματα ελέγχου των ζιζανίων για καταπολέμησή τους με μηχανική επέμβαση ή με ψεκασμό (Moreno et al., 2020).

Στον τομέα αυτό οι αυτόνομες ρομποτικές πλατφόρμες καταπολέμηση των ζιζανίων μπορούν να αποτελέσουν αποτελεσματικότερη λύση έναντι της χρήσης του συμβατικού τρόπου καταπολέμησης των ζιζανίων με χημικά σκευάσματα (Wu et al., 2021). Η ολοκληρωμένη διαχείριση ζιζανίων σε συνδυασμό με τη χρήση ρομποτικών τεχνολογιών (UGVs και UAVs), επιτρέπει την αποτελεσματικότερη και οικονομικότερη διαχείριση των ζιζανίων με γνώμονα πάντα την προστασία του περιβάλλοντος.

Η παρούσα εργασία παρουσιάζει μια νέα τεχνική η οποία βασίζεται στα δεδομένα που συλλέγονται με τη βοήθεια μιας κάμερας βάθους (RGB-D) τοποθετημένης σε μια ρομποτική πλατφόρμα αυτόνομης πλοήγησης προκειμένου να παραχθούν χάρτες χωρικής παραλλακτικότητας ζιζανίων με βάση το ύψος τους στους διαδρόμους μεταξύ των γραμμών των αμπελιών. Στόχος είναι να καταστεί δυνατή η χαρτογράφηση των ζιζανίων μειώνοντας το κόστος εργασίας και το χρόνο. Τα δεδομένα που συλλέγονται σε πραγματικό χρόνο από μια κάμερα RGB-D φιλτράρονται διαδοχικά με δυο φίλτρα (χρώματος και σχήματος) προκειμένου να απορριφθούν όλες οι “μη χρήσιμες” πληροφορίες. Για την αξιολόγηση της προτεινόμενης μεθόδου χρησιμοποιήθηκε μεγάλος όγκος δεδομένων που συλλέχθηκαν από διαφορετικούς αμπελώνες οι οποίοι εμφάνιζαν ζιζάνια σε διάφορα επίπεδα ανάπτυξης.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

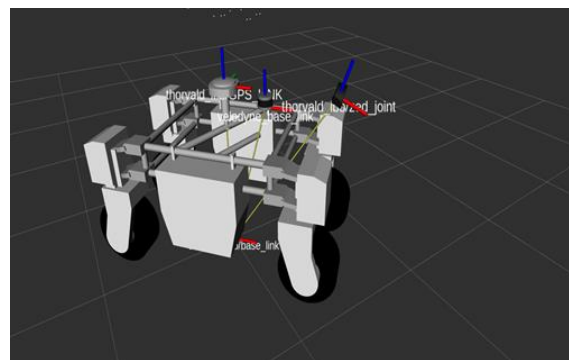
Η πειραματικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στους αμπελώνες του Κτήματος Γεροβασιλείου (Επανομή Θεσσαλονίκης, 40°27'3'', 22°55'32'') κατά τους καλοκαιρινούς μήνες των ετών 2020 και 2021.

2.1. Ρομποτική πλατφόρμα και αισθητήρες

Για την αυτοματοποιημένη συλλογή των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε μια επίγεια αυτόνομη ρομποτική πλατφόρμα (Thorvald, Saga Robotics) επάνω στην οποία προσαρμόστηκε μια κάμερα βάθους RGB-D (Red-Green-Blue-Depth) (Zed 2, Stereolabs). Η κάμερα τοποθετήθηκε στο εμπρόσθιο μέρος της ρομποτικής πλατφόρμας σε μια κατακόρυφη ρυθμιζόμενη καθ' ύψος μπάρα. Για την πλοήγηση της πλατφόρμας χρησιμοποιήθηκε ένας αισθητήρας Lidar (VLP 16, Velodyne) για τη σάρωση του χώρου γύρω από το όχημα και τη δημιουργία δυναμικών δισδιάστατων χαρτών που περιείχαν τα εμπόδια που εντοπίζονταν στο χώρο κίνησης της πλατφόρμας εντός του αμπελώνα. Χρησιμοποιήθηκε ακόμη ένας δέκτης GNSS (SP80, Spectra Geospatial) προκειμένου να τροφοδοτηθεί το σύστημα πλοήγησης με πληροφορίες σχετικά με τη θέση του οχήματος στο πεδίο. Η θέση τοποθέτησης των αισθητήρων στην πλατφόρμα επιλέχθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να μην υπάρχουν νεκρά σημεία στη λήψη των δεδομένων. Η πλατφόρμα κινούνταν σε ευθεία πορεία, παράλληλα με τις σειρές του αμπελιού και στο κέντρο του διαδρόμου που σχηματίζουν οι γραμμές της καλλιέργειας. Στο Σχήμα 1 που ακολουθεί παρουσιάζεται α) η ρομποτική πλατφόρμα που χρησιμοποιήθηκε στο πεδίο και β) η ακριβής θέση των αισθητήρων επί της πλατφόρμας.



(α)



(β)

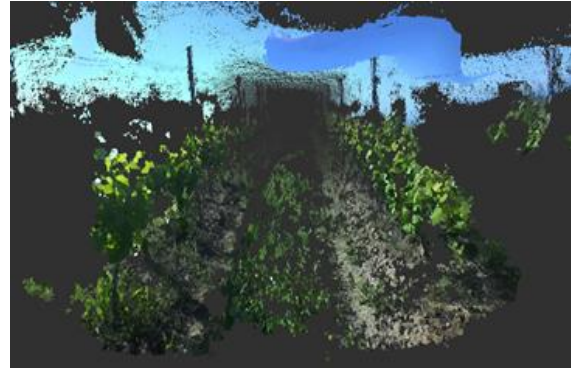
Σχήμα 1. α) Η ρομποτική πλατφόρμα που χρησιμοποιήθηκε και β) οι ακριβείς θέσεις των αισθητήρων επί της πλατφόρμας.

2.2. Καταγραφή δεδομένων

Για την καταγραφή των δεδομένων εντός του αμπελώνα επιλέχθηκε ως ταχύτητα κίνησης της πλατφόρμας τα $1,5 \text{ km h}^{-1}$, προκειμένου να εξλειφθεί ο κίνδυνος παραγωγής δονήσεων λόγω της κίνησης. Η κάμερα βάθους ZED 2 συνδέθηκε με ένα σύστημα επεξεργασίας και καταγραφής των δεδομένων (Jetson TX2) το οποίο έδινε την δυνατότητα απομακρυσμένης και αυτοματοποιημένης καταγραφής. Η συχνότητα δειγματοληψίας που επιλέχθηκε ήταν 15 Hz εξασφαλίζοντας με αυτό τον τρόπο δεδομένα υψηλής ποιότητας. Η κάμερα ZED 2 συνέλεγε εικόνες RGB με ανάλυση 1280 x 720 pixels που εμπεριείχαν και την πληροφορία του βάθους. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν δίνουν τη δυνατότητα απεικόνισης του χώρου τόσο με τη μορφή φωτογραφίας RGB (Σχήμα 2α) όσο και σε τρισδιάστατη μορφή με τη δημιουργία ενός νέφους σημείων (point cloud) (Σχήμα 2β).



(α)

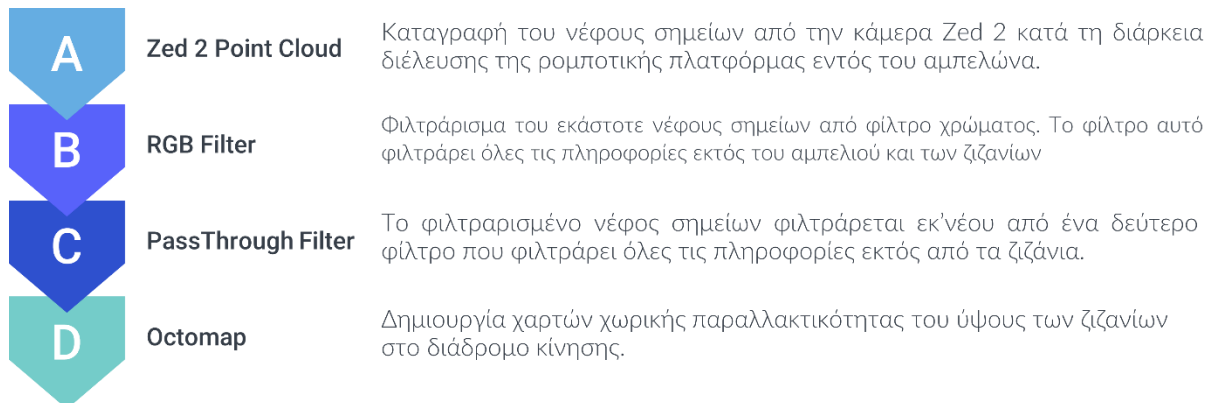


(β)

Σχήμα 2. Απεικόνιση της διαδρομής μεταξύ των γραμμών της καλλιέργειας α) σε μορφή φωτογραφίας RGB και β) σε μορφή νέφους σημείων.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η προτεινόμενη τεχνική βασίζεται στην παραδοχή ότι τα ζιζάνια εμφανίζονται κατά κύριο λόγο στον διάδρομο που σχηματίζεται ανάμεσα στις γραμμές της καλλιέργειας, έχουν ύψος μεγαλύτερο από την επιφάνεια του εδάφους και συνήθως έχουν πράσινη απόχρωση. Με βάση την παραδοχή αυτή αναπτύχθηκαν δυο φίλτρα (χρώματος και σχήματος) τα οποία φιλτράρουν τα σημεία του νέφους σημείων που δεν πληρούν τις προηγούμενες παραδοχές. Το φίλτρο χρώματος απομακρύνει όλες τις αποχρώσεις των άλλων χρωμάτων εκτός από αυτές του πράσινου ενώ το φίλτρο σχήματος φιλτράρει ως προς τις διαστάσεις του το νέφος σημείων που προκύπτει από το προηγούμενο φίλτρο. Η επιλογή των παραμέτρων του φίλτρου χρώματος έγινε μετά από δοκιμές και παρατηρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε διάφορες χρονικές και κλιματολογικές συνθήκες. Το διάγραμμα ροής της διαδικασίας επεξεργασίας των δεδομένων παρουσιάζεται σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 3).



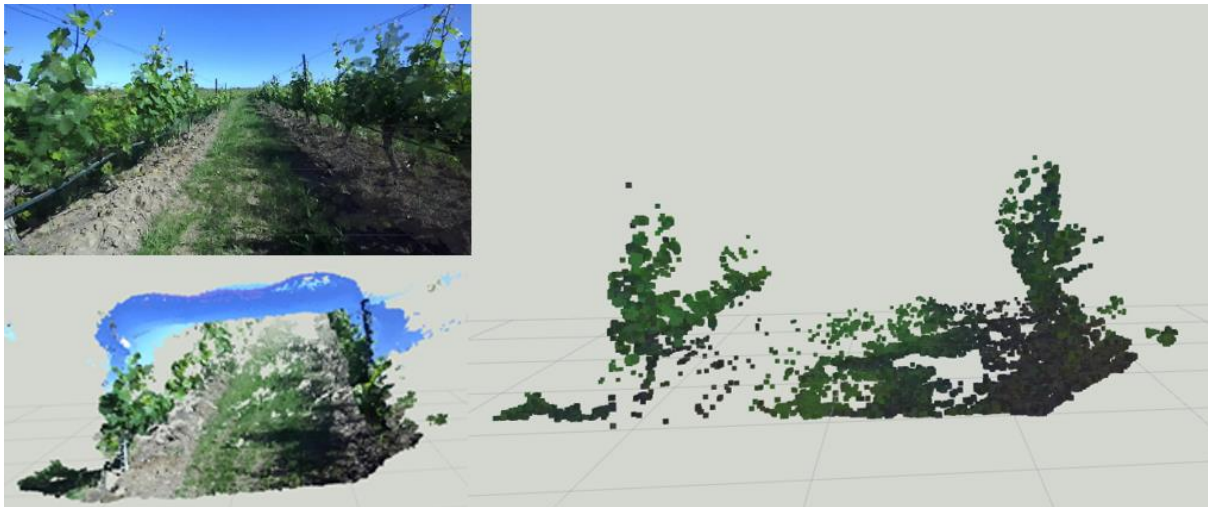
Σχήμα 3. Στάδια επεξεργασίας των δεδομένων.

Προκειμένου να εντοπιστούν τα ζιζάνια χρησιμοποιήθηκε η βιβλιοθήκη PCL_ROS (Point Cloud Library_Robot Operating System). Η βιβλιοθήκη αυτή περιλαμβάνει εργαλεία και φίλτρα που επιτρέπουν τον εντοπισμό των ζιζανίων στα δεδομένα (νέφος σημείων) που συλλέχθηκαν από τον αμπελώνα με εφαρμογή φίλτρων τα οποία φιλτράρουν όλες τις “μη χρήσιμες” πληροφορίες που δεν σχετίζονται με τα ζιζάνια.

Αρχικά αναπτύχθηκε ένα φίλτρο χρώματος το οποίο απομακρύνει όλα τα χρώματα εκτός από το πράσινο σε όλες τις αποχρώσεις του στο νέφος σημείων. Επιλέχθηκε να κρατηθούν όλες οι αποχρώσεις του πράσινου δεδομένου ότι στο πεδίο ο φυσικός φωτισμός προκαλεί

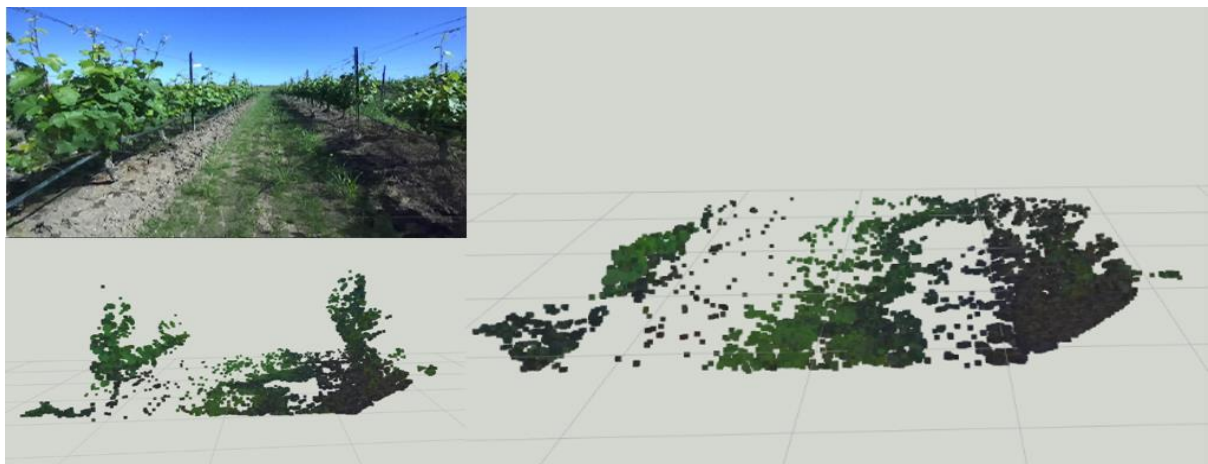
διαφοροποιήσεις ως προς την αποχρώσεις του ζιζανίου και του αμπελιού. Η επιλογή των τιμών του RGB φίλτρου έγινε εμπειρικά με βάση δοκιμές και παρατηρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε διάφορες χρονικές περιόδους της ημέρας μέσα στον αμπελώνα.

Μετά την εφαρμογή του φίλτρου παρατηρείται ότι όλες η πληροφορίες που δεν σχετίζονται με τα ζιζάνια και το αμπέλι έχουν απομακρυνθεί από το νέφος σημείων και έχει παραμείνει η πληροφορία που είναι απαραίτητη για την ανίχνευση των ζιζανίων. Πιο αναλυτικά στο Σχήμα 4 παρατηρείται η απομάκρυνση του μπλε χρώματος η οποία έχει προκληθεί λόγω θορύβου από την κάμερα όπως επίσης και η απομάκρυνση των σημείων του χρώματος που υπάρχει μέσα στον διάδρομο. Μετά το φιλτράρισμα αυτό η πληροφορία που απομένει αφορά αποκλειστικά τα ζιζάνια και την καλλιέργεια. Τα στάδια επεξεργασίας της αρχικής εικόνας που συλλέχθηκε από την κάμερα βάθους μέχρι το νέφος σημείων μετά την εφαρμογή του φίλτρου χρώματος παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.



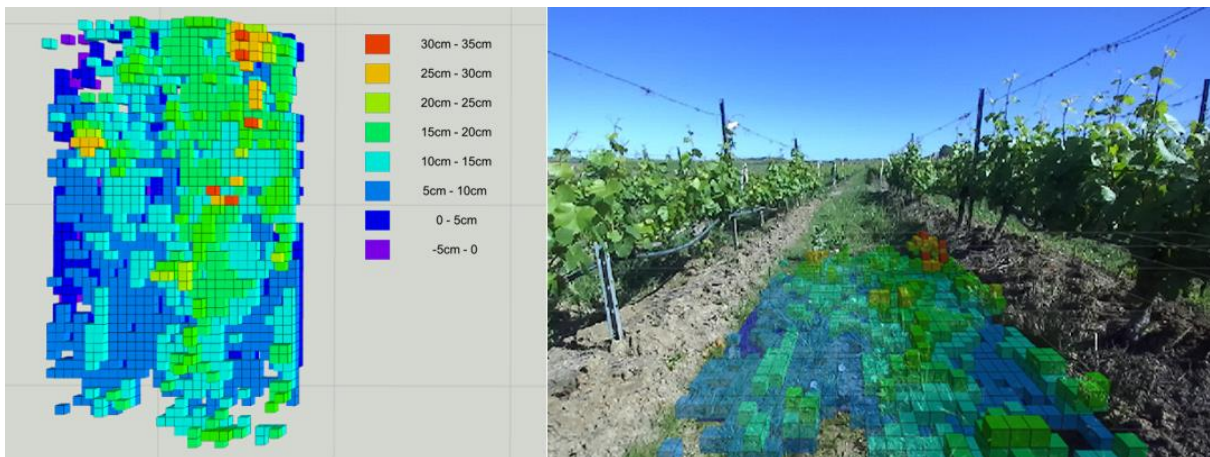
Σχήμα 4. Το νέφος σημείων πριν και μετά την εφαρμογή του φίλτρου χρώματος.

Σε δεύτερη φάση το ήδη φιλτραρισμένο ως προς το χρώμα νέφος σημείων φιλτράρεται και ως προς τις διαστάσεις του. Στην πράξη αυτό που συμβαίνει είναι η αφαίρεση από το νέφος σημείων εκείνων των περιοχών για τις οποίες δεν υπάρχει ενδιαφέρον και είναι γνωστό ότι δεν περιλαμβάνουν ζιζάνια. Τέτοιες περιοχές είναι το αμπέλι αλλά και περιοχές που είναι εκτός του διαδρόμου που εξετάζεται την δεδομένη στιγμή. Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του δεύτερου φίλτρου παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.



Σχήμα 5. Το νέφος σημείων πριν και μετά την εφαρμογή του φίλτρου σχήματος.

Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας φιλτραρίσματος χρώματος και διαστάσεων του νέφους σημείων η πληροφορία που απομένει αφορά τα ζιζάνια μέσα στον διάδρομο του αμπελώνα. Για την γεωδαισία των περιοχών αυτών στις οποίες έχουν εντοπισθεί ζιζάνια χρησιμοποιείται το frame world. Αρχικά όλα τα σημεία του νέφους σημείων λαμβάνονται σε αποστάσεις που αφορούν το σύστημα συντεταγμένων του frame ZED_LINK. Η διαδικασία της γεωδαισίας επιτυγχάνεται πραγματοποιώντας μετατροπή του φιλτραρισμένου νέφους σημείων από το frame της κάμερας ZED_LINK στο frame world το οποίο περιγράφει ένα σύστημα συντεταγμένων σε utm συντεταγμένες. Για την διαδικασία μετασχηματισμού του νέφους σημείων από το ZED_LINK frame στο world frame χρησιμοποιήθηκε η βιβλιοθήκη του ROS tf_transform.



Σχήμα 6. Χωρική παραλλακτικότητα του ύψους των ζιζανίων σε διάδρομο με αρχικό στάδιο ανάπτυξης.



Σχήμα 7. Χωρική παραλλακτικότητα του ύψους των ζιζανίων σε διάδρομο με προχωρημένο στάδιο ανάπτυξης.

Μετά το τέλος της διαδικασίας του μετασχηματισμού αυτού τα σημεία του νέφους σημείων που ελήφθησαν με την κάμερα μετατράπηκαν σε νέφος σημείων utm συντεταγμένων. Το τελικό αυτό νέφος σημείων είναι πλέον γεωδαιμένο και μπορεί πλέον να παρουσιαστεί σε μορφή χάρτη η παραλλακτικότητα των ζιζανίων μέσα στον αμπελώνα. Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται δύο περιπτώσεις χωρικής παραλλακτικότητας του ύψους των ζιζανίων στο διάδρομο κίνησης της ρομποτικής πλατφόρμας σε δυο διαφορετικά στάδια ανάπτυξής τους (Σχήμα 6 και 7).

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπερασματικά, εξετάστηκε μια νέα τεχνική βασιζόμενη σε δεδομένα που συλλέγονται με την χρήση μια κάμερας βάθους, προκειμένου να απεικονιστεί η διασπορά των ζιζανίων στη διαδοχική διαδρομή των αμπελώνων. Τα δεδομένα πραγματικού χρόνου από την κάμερα RGB-D μετατράπηκαν σε διαφορετικούς χρωματικούς χώρους προκειμένου να μειωθεί ο θόρυβος που θα μπορούσε να προκύψει. Η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε δοκιμάστηκε σε μεγάλο αριθμό δεδομένων που ελήφθησαν από αμπελώνες με ζιζάνια σε διαφορετικά στάδια ανάπτυξης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η προτεινόμενη τεχνική δίνει πολλά υποσχόμενα αποτελέσματα σε διάφορες συνθήκες

Ευχαριστίες: Μέρος της έρευνας χρηματοδοτήθηκε από το έργο “BACCHUS: Mobile Robotic Platforms for Active Inspection and Harvesting in Agricultural Areas” (κωδ. έργου: 871704) μέσω της Ευρωπαϊκής Ένωσης, H2020-ICT-2018-2020.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Anagnostis, A., Tagarakis, A.C., Asiminari, G., Papageorgiou, E., Kateris, D., Moshou, D. and Bochtis, D., 2021. *A deep learning approach for anthracnose infected trees classification in walnut orchards*. Computers and Electronics in Agriculture, 182, 105998.
- Benos, L., Tagarakis, A.C., Dolias, G., Berruto, R., Kateris, D. and Bochtis, D., 2021. *Machine Learning in Agriculture: A Comprehensive Updated Review*. Sensors, 21(11), 3758.
- Jimenez-Brenes, F.M., Lopez-Granados, F., Torres-Sanchez, J., Pena, J.M., Ramirez, P., Castillejo-Gonzalez, I.L. and de Castro, A.I., 2019. *Automatic UAV-based detection of Cynodon dactylon for site-specific vineyard management*. PLoS One, 14(6), 1-21.
- Moreno, H., Rueda-Ayala, V., Ribeiro, A., Bengochea-Guevara, J., Lopez, J., Peteinatos, G., Valero, C. and Andujar, D., 2020. *Evaluation of vineyard cropping systems using on-board rgb-depth perception*. Sensors, 20(23), 6912.
- Tian, H., Wang, T., Liu, Y., Qiao, X. and Li, Y., 2020. *Computer vision technology in agricultural automation —A review*. Information processing in agriculture, 7(1), 1-19.
- Wu, Z., Chen, Y., Zhao, B., Kang, X. and Ding, Y., 2021. *Review of weed detection methods based on computer vision*. Sensors, 21(11), 3647.

ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΠΑΡΑΛΛΑΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗΣ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ ΑΠΟ ΠΙΘΑΝΑ ΤΟΞΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

**Ουρανία–Δέσποινα Κάντζου, Ευαγγελία Ε. Γκόλια, Σωτηρία Παπαδήμου, Μαρία-Άννα
Χαρτοδιπλωμένου, Βασίλειος Αντωνιάδης & Νικόλαος Τσιρόπουλος**

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής & Αγροτικού Περιβάλλοντος
Εργαστήριο Εδαφολογίας, Οδός Φυτόκου, 38446 Ν. Ιωνία Μαγνησίας, ✉kantzourania@gmail.com

Περίληψη

Η παρούσα εργασία είχε ως σκοπό, τη μελέτη των ιδιοτήτων και των επιπέδων των πιθανών τοξικών στοιχείων (ΠΤΣ), ψευδαργύρου και μολύβδου, σε εδαφικά δείγματα που συνελέγησαν από τον αστικό ιστό του Βόλου. Η πρώτη δειγματοληψία των 62 συνολικά δειγμάτων έλαβε χώρα το καλοκαίρι του 2018 και έπειτα ακολούθησε επανάληψη της διαδικασίας το καλοκαίρι του 2019 και του 2020. Το εύρος της περιοχής μελέτης ήταν ίδιο και για τα 3 χρόνια μελέτης και εκτυλισσόταν από την οδό Ζάχου έως και το λιμάνι καλύπτοντας 0,768 km², μέσα στα οποία περιλαμβάνονται τόσο μεγάλοι και κεντρικοί δρόμοι, όσο και περιοχές αστικού πρασίνου. Στο σύνολο των δειγμάτων, προσδιορίστηκαν οι τιμές των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του εδάφους, μαζί με τις διαθέσιμες και ολικές συγκεντρώσεις του Ζη και του Ρb. Συμπερασματικά, οι μέσες τιμές των ολικών συγκεντρώσεων των μετάλλων συγκρινόμενες με τις τιμές που έχουν τεθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση, βρέθηκαν αρκετά χαμηλότερες.

Λέξεις κλειδιά: βαρέα μέταλλα, αστικά εδαφικά δείγματα, Ζη, Ρb

DEPICTION OF SPATIAL VARIABILITY OF URBAN POLLUTION BY POTENTIALLY TOXIC ELEMENTS: THE CASE OF VOLOS CITY

**O.D. Kantzou, E.E. Golia, S. Papadimou, M.A. Chartodiplomenou, N. Tsiropoulos &
V. Antoniadis**

University of Thessaly, Department of Agriculture, Crop Production and Rural Environment
Laboratory of Soil Science, Fytokou Road, 36 446 N. Ionia Magnessias, ✉kantzourania@gmail.com

Abstract

The aim of the present research was, the study of the properties and concentrations of two potentially toxic elements (PTEs), zinc and lead, in soil samples which were collected from the urban area of Volos. The first sampling of the 62 samples took place in summer of 2018 and the process was repeated in summer of 2019 and 2020. The expansion of the study area was the same for the 3 years of the research and was expanded from Zahou Street to the port, covering 0.768 km², in which are included both large and main roads, as well as urban green areas. In all soil samples, were measured the values of the physicochemical properties and at the same time were calculated both the available and the total concentrations of Zn and Pb. To sum up, the average values of total metal concentrations, compared to the values that are set by the European Union, were found lower.

Keywords: heavy metals, urban soil samples, Zn, Pb

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το έδαφος αποτελεί ένα υποσύστημα βιογεωχημικών κύκλων, όπως είναι η ανακύκλωση θρεπτικών ουσιών, η ανταλλαγή ενέργειας, η ισορροπία των τιμών των ροών αερίων του θερμοκηπίου και η ανακύκλωση του άνθρακα. Ωστόσο, όσο οι γεωργικές εισροές, η αστικοποίηση, η υπέρμετρη αύξηση του πληθυσμού, η βιομηχανική ανάπτυξη και η αλόγιστη μετακίνηση των οχημάτων συνεχίζονται, τα ΠΤΣ δεν θα σταματήσουν να εναποτίθενται στο έδαφος (Shifaw, 2018). Για το λόγο αυτό, οι αστικές περιοχές, θεωρούνται επικίνδυνα σημεία για την εμφάνιση περιβαλλοντικών ανωμαλιών σε πολλές κλίμακες. Τα αστικά εδάφη, που λειτουργούν ως δεξαμενή ρύπων, είναι εξαιρετικοί δείκτες ρύπανσης, ενώ τα ΠΤΣ στο έδαφος θεωρούνται σημαντικοί δείκτες για την παρακολούθηση των επιπτώσεων των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στην ποιότητα του εδάφους (Tong et al., 2020).

Στις πόλεις, το έδαφος έχει δύο κύριους ρόλους, την υποστήριξη της αστικής ανάπτυξης και την πλαισίωση πάρκων και κήπων, οι οποίοι διαδραματίζουν σημαντικό περιβαλλοντικό ρόλο στις αστικές κοινότητες (Cachada et al., 2018). Ο όρος αστική ρύπανση αναφέρεται στην παρουσία δηλητηριωδών και επιβλαβών ουσιών στα εδάφη των πόλεων και των αστικών περιοχών. Διάφορες πηγές μπορεί να συντελούν στην αύξηση της αστικής ρύπανσης, με τις πιο επιζήμιες να είναι εκείνες που σχετίζονται με τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Οι επιπτώσεις των ανθρωπογενών πηγών ρύπανσης, όπως η αέναη παραγωγή επιβλαβών αερίων από τα εργοστάσια, τις βιομηχανίες, η κυκλοφορία οχημάτων και ούτω καθεξής, συνήθως εντείνονται σε μεγάλες πόλεις με αυξημένο αριθμό πληθυσμού (Martínez-Bravo & Martínez-del-Río, 2019). Παράλληλα, ο όρος αστική ρύπανση είναι άρρηκτα συνυφασμένος με τα ΠΤΣ και με τις μορφές αυτών στο έδαφος αφού εισέρχονται στα αστικά περιβάλλοντα μέσω πολλαπλών διαδρομών, με κυριότερο μέσο τον αέρα. Ωστόσο, η σοβαρότητα της ρύπανσης εξαρτάται σημαντικά και από τη συνεργιστική δράση μεταξύ των μεταλλικών ρύπων (Brümmer, 1986; Ma & Rao, 1997; Selim & Sparks, 2001).

Τα βαρέα μέταλλα αποτελούν μια μεγάλη ομάδα μεταλλικών στοιχείων, που έχουν ατομική πυκνότητα μεγαλύτερη από 5 g cm^{-3} και παρουσιάζουν μεγάλο βιομηχανικό και βιολογικό ενδιαφέρον (Alloway, 2001). Είναι φυσικά συστατικά στοιχεία, από τα οποία ορισμένα είναι απαραίτητα όπως για παράδειγμα ο χαλκός, ο σίδηρος, το νικέλιο και ο ψευδάργυρος, και μη απαραίτητα μέταλλα όπως είναι το κάδμιο, ο υδράργυρος και ο μόλυβδος. Γεγονός είναι, πως οι διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες όπως, οι βιομηχανικές, οι εξορυκτικές και οι γεωργικές, έχουν οδηγήσει σε μια ευρεία κατανομή των βαρέων μετάλλων στα οικοσυστήματα, θέτοντας σε κίνδυνο την οικολογία, την περιβαλλοντική συνοχή και την ανθρώπινη υγεία (Santos et al., 2018).

Ο όρος που χρησιμοποιείται ολοένα και περισσότερο και αναφέρεται στις επιβλαβείς ιδιότητες αυτών των μετάλλων, είναι ο όρος «Πιθανά Τοξικά Στοιχεία» (Potentially Toxic Elements, PTEs). Ο όρος αυτός θεωρείται πιο έγκυρος, καθώς ορισμένα από αυτά τα μέταλλα σε μικρές ποσότητες, ίχνη, είναι απαραίτητα για την ομαλή λειτουργία των οργανισμών, αλλά όταν η συγκέντρωσή τους ξεπεράσει μια ορισμένη τιμή γίνονται ιδιαίτερα επικίνδυνα και τοξικά (Kabata-Pendias A. & Mukherjee A.B., 2007). Επιπλέον, τα PTEs θεωρούνται περιβαλλοντικοί ρύποι, λόγω της τοξικότητάς τους, της ανθεκτικότητάς τους και της μη αποικοδόμησής τους (Golia et al., 2020).

Τα ιχνοστοιχεία μπορεί να προέρχονται είτε από φυσικές πηγές, όπως είναι τα μητρικά υλικά, τα πετρώματα, οι ηφαιστειακές εκρήξεις και η διάβρωση του εδάφους, είτε από ανθρωπογενείς πηγές, όπως είναι η βιομηχανοποίηση, η αστικοποίηση, οι εκπομπές αερίων των τροχοφόρων και η καύση ορυκτών καυσίμων, είτε τέλος, από γεωργικές εισροές όπως

είναι τα λιπάσματα, τα φυτοφάρμακα, τα ζιζανιοκτόνα και τα μυκητοκτόνα. Ωστόσο, επί του παρόντος οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες είναι αυτές που επιταχύνουν σημαντικά τη συσσώρευση ιχνοστοιχείων στο περιβάλλον (Tadesse et al., 2018).

2. ΥΛΙΚΑ-ΜΕΘΟΔΟΙ

Η παρούσα εργασία διεξήχθη στον αστικό ιστό του Βόλου, μιας από τις μεγαλύτερες πόλεις της Ελλάδος. Με μόνιμο πληθυσμό που να ξεπερνά τις 80.000 και διαθέτοντας ένα από τα πιο εμπορικά λιμάνια, δεν είναι τυχαίο που αποτελεί ένα σημαντικό βιομηχανικό κέντρο και πόλο έλξης για τους τουρίστες. Αυτό οφείλεται στην ιδιαίτερη γεωγραφική κατανομή της πόλης, αφού εκτείνεται από τα νερά του Παγασητικού κόλπου, έως και τους πρόποδες του Πηλίου.

Με σκοπό την ολοκλήρωση της πειραματικής διαδικασίας, συνελέγησαν επιφανειακά εδαφικά δείγματα σε βάθος 0-10 cm. Το τελικό εδαφικό δείγμα το οποίο πάρθηκε από κάθε σημείο δειγματοληψίας, απαρτιζόταν από 4 υπο-δείγματα. Η πρώτη δειγματοληψία των 62 εδαφικών δειγμάτων πραγματοποιήθηκε το καλοκαίρι του 2018, ενώ η διαδικασία αυτή επαναλήφθηκε για ακόμα δύο φορές το καλοκαίρι του 2019 και του 2020. Οι δειγματοληψίες και των τριών χρόνων έλαβαν χώρα στα ίδια σημεία της πόλης, τόσο σε κεντρικές τοποθεσίες, όσο και σε πάρκα και πλατείες, έτσι ώστε να μελετηθούν οι όποιες διακυμάνσεις στις συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων.

2.1 Φυσικοχημικές ιδιότητες - Θεματικοί χάρτες

Οι φυσικοχημικές ιδιότητες των εδαφικών δειγμάτων που μετρήθηκαν στο εργαστήριο σύμφωνα με τους Page et al., το 1982, ήταν μεταξύ άλλων, η επί τοις 100 περιεκτικότητα σε άργιλο (%), η ποσότητα της οργανικής ουσίας (ΟΟ) (μέθοδος Walkley-Black), η ηλεκτρική αγωγιμότητα (ΗΑ) και η τιμή του pH (1:1) (έδαφος: νερό). Παράλληλα, υπολογίστηκε η διαθέσιμη προς τα φυτά συγκέντρωση των μετάλλων, με το διάλυμα διαιθυλενο-τριαμινο-πενταξικού οξέος (DTPA), του οποίου η τιμή pH ρυθμίστηκε σταθερά στο 7,3 (Lindsay and Norvell, 1978). Εκτός των άλλων, η ολική συγκέντρωση μετάλλων μετρήθηκε, με τη μέθοδο εκχύλισης Aqua Regia (μίγμα HCl-HNO₃, 3: 1) (ISO / DIS 11466 1994) ύστερα από πέψη στους 180 °C για 2 ώρες (Golia et al., 2007b). Έπειτα, ακολούθησε η περαιτέρω ανάλυση των εδαφικών δειγμάτων, ώστε να επιτευχθεί ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης των μεταλλικών στοιχείων Zn και Pb, όπου χρησιμοποιήθηκε φασματοφωτόμετρο Ατομικής Απορρόφησης (AAS), με εξάρτημα φλόγας (F-AAS) ή φούρνου γραφίτη (GF) (Lajunen, 1992). Για τη διόρθωση υποβάθρου σήματος χρησιμοποιήθηκε λυχνία Δευτερίου (AOAC, 1984).

Αναφορικά με τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων, αυτή έγινε με τη χρήση του προγράμματος SPSS, έκδοση 26, όπου η σύγκριση των συγκεντρώσεων γίνεται με δοκιμή t-test. Τα αποτελέσματα δεν υπέδειξαν κάποια στατιστικώς σημαντική διαφορά μεταξύ των μέσων συγκεντρώσεων των 3 ετών. Οι μέσες συγκεντρώσεις ύστερα αξιοποιήθηκαν για τη δημιουργία θεματικών χαρτών, όπου για την κατασκευή τους χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ArcGIS καθώς και οι προεκτάσεις του ArcMap και ArcTools.

2.2 Δείκτης Ρύπανσης

Στην παρούσα έρευνα υπολογίστηκε και ο δείκτης γεωσυσσώρευσης Igeo. Ο δείκτης αυτός αποτελεί ένα πολύ σημαντικό εργαλείο καθώς διευκολύνει την σύγκριση των παρόντων τιμών των βαρέων μετάλλων σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές που θα ίσχυαν σε μη βιομηχανικά εδάφη. Σύμφωνα με την μελέτη των Kabata-Pendias (2010), η τιμή

αναφοράς η οποία χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του δείκτη ήταν 70 mg kg^{-1} και 27 mg kg^{-1} , για τον Zn και τον Pb αντίστοιχα. Ο Igeo υπολογίζεται σύμφωνα με τον τύπο:

$$I_{geo} = \log_2 [C_{AR} / 1.5 C_{AR \text{ ref}}] \quad (1)$$

όπου: C_{AR} : η συγκέντρωση του μετάλλου σήμερα

$C_{AR \text{ ref}}$: η συγκέντρωση του μετάλλου σε μη ρυπασμένο ίζημα

Αναφορικά με τις τιμές του δείκτη Igeo, αυτές κατανέμονται σε κλάσεις, όπως φαίνεται παρακάτω:

- I. $I_{geo} < 0$,
- II. $I_{geo} = 0-1$,
- III. $I_{geo} = 1-2$,
- IV. $I_{geo} = 2-3$,
- V. $I_{geo} = 3-4$,
- VI. $I_{geo} = 4-5$,
- VII. $I_{geo} > 5$

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1. Φυσικοχημικές ιδιότητες εδαφικών δειγμάτων

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των φυσικοχημικών ιδιοτήτων των 62 εδαφικών δειγμάτων, που αναλύθηκαν κατά τα έτη 2018, 2019 και 2020 (τους καλοκαιρινούς μήνες). Οι τιμές του παρακάτω πίνακα είναι ο μέσος όρος των τιμών των 3 ετών (2018, 2019 και 2020).

Πίνακας 1: Φυσικοχημικές ιδιότητες των εδαφικών δειγμάτων.

Δείγμα	pH	HA (mS cm^{-1})	CaCO_3 (%)	ΟΟ (%)	Άμμος (%)	Άργιλος (%)
Ελάχιστη Τιμή	6,6	1,12	9,6	0,3	22,0	2,1
Μέγιστη Τιμή	8,9	6,96	20,5	4,4	78,1	52,0
Μέση Τιμή	7,4	3,24	14,6	2,4	56,7	19,2
Σχετική τυπική απόκλιση (%)	2,1	0,9	1,1	0,6	1,1	1,2

Στον Πίνακα 2 διακρίνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων των διαθέσιμων και των ολικών συγκεντρώσεων του ψευδαργύρου και του μολύβδου στα εδαφικά δείγματα. Οι τιμές του πίνακα είναι ο μέσος όρος των διαθέσιμων και των ολικών συγκεντρώσεων του Zn και του Pb των 3 ετών (2018, 2019 και 2020).

Πίνακας 2: Διαθέσιμες και Ολικές συγκεντρώσεις ψευδαργύρου και μολύβδου.

Δείγμα	ZnDTPA	PbDTPA	ZnAqua Regia	PbAqua Regia
	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}
Ελάχιστη Τιμή	9,8	0,6	88,4	5,4
Μέγιστη Τιμή	50,9	6,2	218,1	58,1
Μέση Τιμή	31,8	2,9	131,0	35,9
Σχετική τυπική απόκλιση (%)	4,6	2,9	11,3	3,6
Ανώτατες τιμές ΦΕΚ 641/B/7-08-1991	-	-	300	300

Μελετώντας τις μέσες τιμές των διαθέσιμων συγκεντρώσεων του ψευδαργύρου και συγκρίνοντάς τες με εκείνες άλλων εργασιών, συμπεραίνεται πως είναι παρόμοιες με εκείνες των Γκόλια κ.ά. (2019α) αλλά, αρκετά αυξημένες σε σχέση με των Massas et al. (2009). Από την άλλη πλευρά, οι μέσες διαθέσιμες συγκεντρώσεις του μολύβδου βρέθηκαν αρκετά μειωμένες από εκείνες των προαναφερθέντων εργασιών.

Έπειτα από τη μελέτη των παραπάνω μέσων τιμών των ολικών συγκεντρώσεων και της σύγκρισής τους με εκείνων άλλων εργασιών και του επιτρεπτού ορίου που έχει θέσει η Ευρωπαϊκή Ένωση, το οποίο αριθμείται στα 300 mgkg^{-1} , συμπεραίνεται πως κυμαίνονται σε φυσιολογικά πλαίσια. Πιο συγκεκριμένα, η μέση ολική συγκέντρωση του Zn βρέθηκε αρκετά χαμηλότερη με εκείνη των Massas et al. (2009), Γκόλια κ.ά. (2019α) και των Argyraki et al. (2018).

3.2. Γεωστατιστική ανάλυση και Κατασκευή θεματικών χαρτών του δείκτη Igeo

Οι θεματικοί χάρτες οι οποίοι παρουσιάζονται στις Εικόνες 1 και 2, δημιουργήθηκαν με σκοπό την οπτική απεικόνιση της χωρητικότητας της μόλυνσης των βαρέων μετάλλων. Ο δείκτης γεωσυσσώρευσης αποδείχθηκε ένα αξιόλογο εργαλείο για την εκτίμηση της ρύπανσης της περιοχής.



Εικόνα 1: Απεικόνιση της χωρικής παραλλακτικότητας του δείκτη γεωσυσσώρευσης του ψευδαργύρου στην πόλη του Βόλου.



Εικόνα 2: Απεικόνιση της χωρικής παραλλακτικότητας του δείκτη γεωσυσσώρευσης του μολύβδου στην πόλη του Βόλου.

Όπως φαίνεται και στις παραπάνω εικόνες στην κλάση II ανήκουν τα εδαφικά δείγματα στα οποία περιέχεται σε περίσσεια ο ψευδάργυρος, ενώ τα εδαφικά δείγματα του μολύβδου ανήκουν κατά προσέγγιση σε ίσα ποσοστά, τόσο στην κλάση II, όσο και στην κλάση I. Ωστόσο, ούτε το Igeo του Pb ούτε του Zn ξεπέρασε την τιμή 2 (Golía et al., 2021).

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης έδειξαν ότι οι ολικές συγκεντρώσεις τόσο του ψευδαργύρου, όσο και του μολύβδου που εντοπίστηκαν στα εδάφη διαφόρων σημείων του αστικού ιστού του Βόλου, είναι αρκετά μικρότερες σε σχέση με τα όρια που έχουν τεθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Στην περίπτωση των διαθέσιμων συγκεντρώσεων των δύο μετάλλων, οι υψηλότερες αλλά και οι χαμηλότερες τιμές τους εντοπίστηκαν σε σημεία αρκετά αναμενόμενα, δηλαδή σε περιοχές με εντονότερη και ηπιότερη συχνότητα κίνησης αντίστοιχα. Παρόλα αυτά, δεν θα πρέπει να επαναπαυτούν οι φορείς σε αυτά τα δεδομένα, αλλά συνίσταται μελέτη των επιπέδων των βαρέων μετάλλων κάθε χρόνο, με σκοπό να συγκριθούν οι τιμές τους και να διεξαχθεί ένα εμπειριστατωμένο συμπέρασμα για την πορεία της ρύπανσης των εδαφών. Σε αυτή την έρευνα θα αποτελέσουν πολύτιμα εργαλεία η δημιουργία θεματικών χαρτών, μέσω των οποίων γίνεται η απεικόνιση του βαθμού της ρύπανσης.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

5.1 Ελληνική Βιβλιογραφία

Γκόλια, Ε., Κάντζου, Ο. Δ., Χαρτοδιπλωμένου, Μ. Α., Λακιώτης, Κ., Ζούντα, Δ., Μαμαλούδης, Χ. και Αντωνιάδης, Β., 2019α. *Καταγραφή των επιπέδων χαλκού και ψευδαργύρου σε περιοχές αστικού πρασίνου - η περίπτωση του Δήμου Βόλου*. 11^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωργικής Μηχανικής. Βόλος, 8/11/2019.

Υπουργική Απόφαση: 80568/4225/91 'Μέθοδοι, όροι και περιορισμοί για την χρησιμοποίηση στη γεωργία της ιλύος που προέρχεται από επεξεργασία οικιακών και αστικών λυμάτων (ΦΕΚ 641/Β/7-08-1991)

5.2 Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

- Alloway, B., 2001. Heavy metals in soils. Blackie, Glasgow, UK.
- AOAC (1984). Methods of Analysis (14th ed.). Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.
- Argyrazi, A., Kelepertzis, E., Botsou, F., Paraskevopoulou, V., Katsikis, I., and Trigoni, M., 2018. Environmental availability of trace elements (Pb, Cd, Zn, Cu) in soil from urban, suburban, rural and mining areas of Attica, Hellas. *Journal of Geochemical Exploration*, Volume 187, pp. 201–213.
- Brümmer, G.W., 1986. Heavy metal species, mobility and availability in soils. In *The importance of chemical “speciation” in environmental processes*, pp. 169-192. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Cachada, A., Rocha-Santos, T., and Duarte, A.C., 2018. Soil and pollution: an introduction to the main issues. In *Soil pollution*, pp. 1-28. Academic Press.
- Golia, E.E., Tsiropoulos, N.G., Dimirkou, A. and Mitsios, I.K., 2007b. Distribution of heavy metals of agricultural soils of central Greece using the modified BCR sequential extraction method. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 87: 1053–1063.
- Golia E.E., Antoniadis V., Tsiropoulos N. and Vleioras S., 2020. Investigation of Extraction Methods for the Assessment of the Pseudo-Total Concentration of Potentially Toxic Elements in Moderately Contaminated Soils of Central Greece. *Water Air and Soil Pollution*, Volume 231, Issue 9, Article number 484.
- Golia, E.E., Papadimou, S.G., Cavalaris, C., and Tsiropoulos, N.G., 2021. Level of Contamination Assessment of Potentially Toxic Elements in the Urban Soils of Volos City (Central Greece). *Sustainability*, 13(4), 2029.
- Kabata-Pendias, A. and Mukherjee, A.B., 2007. Trace elements from soil to human. Springer Science & Business Media.
- Lajunen, L. H. G. 1992. *Spectrochemical Analysis by Atomic Absorption and Emission*. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, pp. 26-100.
- Lindsay, W. L., & Norvell, W. A. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil science society of America journal*, 42(3), 421-428.
- Ma, L.Q. and Rao, G.N., 1997. Chemical fractionation of cadmium, copper, nickel, and zinc in contaminated soils, Volume 26, No.1, pp. 259-264. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America.
- Martínez-Bravo, M., and Martínez-del-Río, J., 2019. Urban pollution and emission reduction. *Sustainable cities and communities*, pp. 905-915.
- Massas, I., Ehaliotis, C., Gerontidis, S., and Sarris, E., 2009. Elevated heavy metal concentrations in top soils of an Aegean island town (Greece): total and available forms, origin and distribution. *Environmental Monitoring and Assessment*, Volume 151, Issue 1-4, pp. 105-116.
- Meharg, A.A. *Trace Elements in Soils and Plants*, 4th ed.; Kabata-Pendias, A., Ed.; CRC Press/Taylor & Francis Group: Boca Raton, FL, USA, 2010; ISBN 9781420093704.
- Page, A. L., Miller, H. R., & Keeney, R. D. (1982). *Methods of soil analysis part II—chemical and microbiological properties*. Madison: Inc. Soil Science of America.
- Santos, D., Vieira, R., Luzio, A. and Félix, L., 2018. Zebrafish early life stages for toxicological screening: insights from molecular and biochemical markers. In *Advances in Molecular Toxicology*, Volume 12, pp. 151-179. Elsevier.
- Selim, H.M. and Sparks, D.L., 2001 (Eds.). *Heavy metals release in soils*. CRC press.

- Shifaw, E., 2018. Review of Heavy Metals Pollution in China in Agricultural and Urban Soils. *Journal of Health & Pollution*, Volume 8, Issue 18, Article number 180607.
- Tadesse, A.W., Gereslassie, T., Xu, Q., Tang, X. and Wang, J., 2018. Concentrations, Distribution, Sources and Ecological Risk Assessment of Trace Elements in Soils from Wuhan, Central China. *International Journal Environmental Research Public Health*, Volume 15, Issue 12, Article number 2873.
- Tong, S., Li, H., Li, W., Tudi, M. and Yang, L., 2020. Concentration, Spatial Distribution, Contamination Degree and Human Health Risk Assessment of Heavy Metals in Urban Soils across China between 2003 and 2019—A Systematic Review. *International Journal Environmental Research Public Health*, Volume 17, Issue 9, Article number 3099.

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΧΑΛΚΟΥ ΚΑΙ ΚΑΔΜΙΟΥ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΕΔΑΦΗ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ

Μ.Α Χαρτοδιπλωμένου¹, Ε.Ε. Γκόλια¹, Σ. Παπαδήμου¹, Ο.Δ Κάντζου¹, Β. Αντωνιάδης¹ & Ν. Τσιρόπουλος²

¹Εργαστήριο Εδαφολογίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής & Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Οδός Φυτόκου, 38446 Ν. Ιωνία Μαγνησίας, Ελλάδα

²Εργαστήριο Αναλυτικής Χημείας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής & Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Οδός Φυτόκου, 38446 Ν. Ιωνία Μαγνησίας, Ελλάδα

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η καταγραφή των επιπέδων του χαλκού και του καδμίου, σε εδάφη του πολεοδομικού συγκροτήματος του Δήμου Βόλου. Ο συνολικός αριθμός των δειγμάτων ανά έτος ήταν 62 και η συνολική έκταση της περιοχής μελέτης να 0,768km², ενώ η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε για 3 συνεχόμενα χρόνια (2018-2020). Στα εδαφικά δείγματα προσδιορίστηκαν οι διαθέσιμες και οι ολικές συγκεντρώσεις των μετάλλων, αλλά και ο δείκτης ρύπανσης, του οποίου η παραλλακτικότητα καταγράφηκε με τη βοήθεια των αντίστοιχων θεματικών χαρτών. Αν και οι μέσες τιμές των συγκεντρώσεων των μετάλλων είναι χαμηλότερες των ορίων που τέθηκαν από την Ευρωπαϊκή Ένωση, παρατηρήθηκε μια μικρή τάση αύξησης ανά έτος, γεγονός που οδηγεί στην αναγκαιότητα συνέχισης της μελέτης των επιπέδων των μετάλλων στο άμεσο μέλλον, για την ενδελεχή παρακολούθηση της ρύπανσης.

Λέξεις κλειδιά: πιθανά τοξικά στοιχεία, δείκτης ρύπανσης, αστική ρύπανση, Cu, Cd

MONITORING OF COPPER AND CADMIUM LEVELS IN URBAN SOILS OF VOLOS CITY

M.A. Chartodiplomenou¹, E.E. Golia¹, S. Papadimou¹, O.D. Kantzou¹, V. Antoniadis¹ & N. Tsiropoulos²

¹Laboratory of Soil Science, Department of Agriculture, Crop Production and Rural Environment, University of Thessaly, Fytokou Road, 36 446 N. Ionia Magnessias, Greece

²Laboratory of Analytical Chemistry, Department of Agriculture, Crop Production and Rural Environment, University of Thessaly, Fytokou Road, 36 446 N. Ionia Magnessias, Greece

Abstract

The purpose of this study was to study the monitoring of copper and cadmium levels in the soils of the Municipality of Volos. The number of the samples was 62 per year from an urban area of 0,768km² and the sampling took place 3 consecutive years (2018-2020). The values of the total and available concentrations of the Cu, Cd metals, as well as the contamination factor were determined in the soil samples. Although, the average values of the metal concentrations were lower than the limits set by the European Union, the continuous study of PTEs levels is considered necessary, in order to monitor the pollution of the study area.

Keywords: PTEs, contamination factor, urban pollution, Cu, Cd

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το έδαφος αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά οικοσυστήματα για την επιβίωση και την ανάπτυξη του ανθρώπου (Fei et al., 2019; He et al., 2019; Wang et al., 2018), ενώ παράλληλα μπορεί να συμβάλλει άμεσα ή έμμεσα στην ποιότητα ζωής του (De Hollander and Staatsen, 2003; Van Kamp et al., 2011). Στο πλαίσιο της αστικής επέκτασης το έδαφος υφίσταται συνεχώς αλλαγές που οφείλονται σε ανθρωπογενείς παρεμβάσεις και επηρεάζουν τόσο το κλίμα, όσο και την ποιότητα του περιβάλλοντος (Bolund and Huphammar, 1999; Chambers et al., 2016). Αναμφισβήτητα, λοιπόν, αποτελεί τον πρωταρχικό δέκτη περιβαλλοντικών ρύπων, η πλειοψηφία των οποίων είναι τοξικά ιχνοστοιχεία (Fernandes et al., 2011; Olatunji et al., 2013; Chauhan et al., 2014).

Η περιβαλλοντική ρύπανση με την αστικοποίηση, τη βιομηχανοποίηση και την τεχνολογική εξέλιξη να λαμβάνουν χώρα παγκοσμίως αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα του πλανήτη. Η δυσλειτουργία του εδαφικού οικοσυστήματος και η μείωση της ικανότητας του εδάφους να επιτελέσει κάποιες από τις σημαντικότερες λειτουργίες του αποτελούν τις βασικές επιπτώσεις της ρύπανσης. Ανάμεσα στις πολυάριθμες πηγές ρύπανσης συγκαταλέγονται και τα βαρέα μέταλλα, οι συγκεντρώσεις των οποίων μπορούν να αυξηθούν λόγω των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων.

Ο όρος ιχνοστοιχεία υποδηλώνει την αναγκαιότητα της ύπαρξής τους στο έδαφος και στον ανθρώπινο οργανισμό ακόμα και σε σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις (ίχνη). Είναι, γενικά, μη βιοαποικοδομήσιμα και μερικά από αυτά αποτελούν απαραίτητα μικροθρεπτικά συστατικά (Milićević et al., 2017). Σε αυτά συμπεριλαμβάνονται στοιχεία, όπως ο ψευδάργυρος (Zn) και ο χαλκός (Cu).

Τα ιχνοστοιχεία μπορούν να προέρχονται είτε από φυσικές πηγές, όπως είναι το μητρικό υλικό, οι ηφαιστειακές εκρήξεις και η διάβρωση του εδάφους, είτε από ανθρωπογενείς πηγές (Liu et al., 2018; Bolan et al., 2014; Rinklebe et al., 2019), όπως είναι η βιομηχανοποίηση, η αστικοποίηση, οι εκπομπές οχημάτων, οι εξορυκτικές δραστηριότητες, η καύση ορυκτών καυσίμων, οι γεωργικές εισροές και ούτω καθεξής (Kibassa et al., 2013; Ma et al., 2016).

Τα βαρέα μέταλλα αποτελούν μια μεγάλη ομάδα μεταλλικών στοιχείων που έχουν ατομική πυκνότητα μεγαλύτερη από 5 g/cm³ (Alloway, 2001; Kim et al., 2015). Σε ό,τι αφορά τις επιβλαβείς ιδιότητες των παραπάνω μετάλλων, χρησιμοποιείται ο όρος «Πιθανά τοξικά στοιχεία» (Potentially Toxic Elements, PTE) (Kabata-Pendias, 2001; Golia, 2003), καθώς ορισμένα από αυτά σε μικρές ποσότητες (ίχνη) είναι απαραίτητα για την ομαλή λειτουργία των οργανισμών (Golia et al., 2020). Εάν τα περιεχόμενα έκθεσης υπερβούν τα ασφαλή/κρίσιμα όρια, τότε τα στοιχεία αυτά μπορούν να γίνουν εξαιρετικά επικίνδυνα (Bolan et al., 2014; Beckers and Rinklebe, 2017; Rinklebe et al., 2019), προκαλώντας δυσμενείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία (Davydova, 2005; Merian et al., 2004; Pierzynsky et al., 2005). Ιδιαίτερα τοξικά στοιχεία θεωρούνται το κάδμιο (Cd), ο μόλυβδος (Pb) και ο υδράργυρος (Hg).

Η ρύπανση των εδαφών από πιθανά τοξικά στοιχεία (PTE) αντιπροσωπεύει ένα από τα κύρια παγκόσμια περιβαλλοντικά προβλήματα, καθώς σήμερα πολλές ανθρωπογενείς δραστηριότητες απελευθερώνουν PTE σε διαφορετικά περιβαλλοντικά διαμερίσματα (Radziemska et al., 2017). Συνεπώς, αποτελεί επείγον πρόβλημα σε ολόκληρο το βιομηχανικό κόσμο (Li et al., 2013; Kong, 2014), ενώ απαραίτητος κρίνεται ο ποσοτικός προσδιορισμός των συνοδευτικών κινδύνων (Lu et al., 2015).

Στην παρούσα εργασία υπολογίστηκε ο δείκτης ρύπανσης (CF) για τα μέταλλα χαλκό και κάδμιο, και παράλληλα η αποτύπωση της ρύπανσης του εδάφους πραγματοποιήθηκε με τη

χρήση των γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφορικής (GIS). Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) αποτελούν ένα χρήσιμο εργαλείο για τη βιώσιμη διαχείριση του εδάφους (Malkakis et al., 2006) και στοχεύουν στη χωρική κατανομή και χρονική διακύμανση των ρύπων στο έδαφος (Golia et al., 2015).

2. ΥΛΙΚΑ-ΜΕΘΟΔΟΙ

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε στην περιοχή της Θεσσαλίας και συγκεκριμένα στην πόλη του Βόλου, η οποία μάλιστα διαθέτει ένα από τα πιο σημαντικά λιμάνια της χώρας. Κατά τη διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος πραγματοποιήθηκαν συνολικά 3 δειγματοληψίες 62 επιφανειακών εδαφικών δειγμάτων, βάθους 0-10 cm, τα οποία αποτελούνταν από 4 υπο-δείγματα, και κάλυπταν ένα μεγάλο εύρος της περιοχής μελέτης (Εικόνα 1). Αναλυτικότερα, η πρώτη δειγματοληψία έλαβε χώρα το καλοκαίρι του 2018 και στη συνέχεια η διαδικασία επαναλήφθηκε το καλοκαίρι του 2019 και του 2020 στα ίδια σημεία δειγματοληψίας με σκοπό τη μελέτη της χωρικής και χρονικής μεταβολής των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων.



Εικόνα 1: Χάρτης σημείων δειγματοληψίας

2.1 Αναλύσεις

Μετά τη δειγματοληψία, τα εδαφικά δείγματα αεροξηράθηκαν σε θερμοκρασία δωματίου και διήλθαν από κόσκινο των 2 mm. Οι φυσικοχημικές αναλύσεις των εδαφικών δειγμάτων πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με τους Page et al., το 1982 και περιλάμβαναν την επί τοις 100 περιεκτικότητα σε άργιλο (%), την ποσότητα της οργανικής ουσίας (OO) με τη μέθοδο Walkley-Black, την ηλεκτρική αγωγιμότητα (HA), καθώς και την τιμή του pH (1:1) (έδαφος: νερό). Επιπλέον, υπολογίστηκε η διαθέσιμη προς τα φυτά συγκέντρωση των μετάλλων, με το διάλυμα διαιθυλενο-τριαμινο-πενταξικού οξέος (DTPA) με την τιμή του pH να είναι σταθερά ρυθμισμένη στο 7,3 (Lindsay and Norvell, 1978), και η ολική συγκέντρωση μετάλλων με τη μέθοδο εκχύλισης Aqua Regia (μίγμα HCl-HNO₃, 3: 1) (ISO / DIS 11466 1994) ύστερα από πέψη στους 180 °C για 2 ώρες (Golia et al., 2007b). Τέλος, προσδιορίστηκαν οι συγκεντρώσεις των μετάλλων Cu και Cd με φασματοφωτόμετρο Ατομικής Απορρόφησης (AAS), με εξάρτημα φλόγας (F-AAS) ή φούρνου γραφίτη (GF) (Lajunen, 1992). Αξίζει να σημειωθεί χρησιμοποιήθηκε λυχνία Δευτερίου, όπου ήταν απαραίτητη η διόρθωση του υποβάθρου σήματος (AOAC, 1984).

2.2 Δείκτης Ρύπανσης

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, αντικείμενο μελέτης της παρούσας εργασίας αποτέλεσε ο προσδιορισμός της τιμής του δείκτη ρύπανσης (CF) των ΡΤΕ. Ο CF υπολογίζεται σύμφωνα με τον τύπο:

$$CF = C_{AR} / C_{AR\ ref} \quad (1)$$

όπου: C_{AR} : η συγκέντρωση του μετάλλου εκχυλισμένο με Aqua Regia

$C_{AR\ ref}$: η συγκέντρωση του μετάλλου σε μη ρυπασμένο ίζημα ($mg\ kg^{-1}$)

Ο δείκτης CF κατανέμεται σε κλάσεις και ταξινομείται ως εξής:

- I. $CF < 0$
- II. $CF = 1-3$
- III. $CF = 3-6$
- IV. $CF = >6$

Στην κλάση II η ρύπανση θεωρείται μέτρια, στην κλάση III σημαντική, ενώ στην κλάση IV πολύ υψηλή.

Για τον υπολογισμό του δείκτη ρύπανσης του χαλκού και του καδμίου ως τιμές αναφοράς χρησιμοποιήθηκαν, σύμφωνα με τον Kabata- Pendias (2010), οι τιμές $38,90\ mg\ kg^{-1}$ και $0,41\ mg\ kg^{-1}$ αντίστοιχα.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται οι φυσικοχημικές ιδιότητες των εδαφικών δειγμάτων που αναλύθηκαν, κατά τους καλοκαιρινούς μήνες των ετών 2018, 2019 και 2020. Τα αποτελέσματα αναφέρονται στα εδαφικά δείγματα της περιοχής μελέτης (Εικόνα 1) και προκύπτουν από το μέσο όρο των τιμών της τριετούς διάρκειας του πειράματος.

Πίνακας 1: Φυσικοχημικές ιδιότητες των εδαφικών δειγμάτων.

Δείγμα	pH	HA ($mS\ cm^{-1}$)	CaCO ₃ (%)	ΟΟ (%)	Άμμος (%)	Άργιλος(%)
Ελάχιστη Τιμή	6,6	1,12	9,6	0,3	22,0	2,0
Μέση Τιμή	7,4	3,24	14,6	2,4	56,7	19,2
Μέγιστη Τιμή	8,9	6,96	20,5	4,4	78,0	52,0

Στον Πίνακα 2 απεικονίζονται οι τιμές των διαθέσιμων- προς το φυτό- συγκεντρώσεων του χαλκού και του καδμίου που μετρήθηκαν κατά τους καλοκαιρινούς μήνες των ετών 2018, 2019 και 2020.

Πίνακας 2: Διαθέσιμες συγκεντρώσεις ψευδαργύρου και μολύβδου. Οι τιμές του πίνακα είναι ο μέσος όρος των διαθέσιμων συγκεντρώσεων του Zn και του Pb των 3 ετών (2018, 2019 και 2020).

Δείγμα	Cu _{DTPA}	Cd _{DTPA}
	$mg\ kg^{-1}$	$mg\ kg^{-1}$
Ελάχιστη Τιμή	1,52	0,08
Μέση Τιμή	10,81	0,12
Μέγιστη Τιμή	17,65	0,17

Οι διαθέσιμες συγκεντρώσεις του χαλκού στο μεγαλύτερο ποσοστό των εδαφικών δειγμάτων κυμαίνονται, σε mg kg⁻¹ εδάφους, από 10,91 έως 17,65. Επιπλέον, η μέση τιμή του παρουσιάζει μεγάλη αύξηση συγκριτικά με μελέτη των Gasparatos et al. (2015) και των Massas et al. (2018), σε αντίθεση με την μέγιστη τιμή, η οποία παρουσιάζει σημαντική μείωση έναντι των δύο παραπάνω ερευνών.

Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται οι τιμές των ολικών συγκεντρώσεων του χαλκού και του καδμίου των εδαφικών δειγμάτων που αναλύθηκαν κατά τους καλοκαιρινούς μήνες των ετών 2018, 2019 και 2020

Πίνακας 3: Ολικές συγκεντρώσεις ψευδαργύρου και μολύβδου. Οι τιμές του πίνακα είναι ο μέσος όρος των ολικών συγκεντρώσεων του Zn και του Pb των 3 ετών (2018, 2019 και 2020).

Δείγμα	Cu_{Aqua Regia}	Cd_{Aqua Regia}
	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹
Ελάχιστη Τιμή	28,90	0,57
Μέση Τιμή	53,91	0,94
Μέγιστη Τιμή	89,27	1,25
Ανώτατες τιμές ΦΕΚ 641/B/7-08-1991	140	3

Από τη μελέτη του Πίνακα 3 προκύπτει ότι οι ολικές συγκεντρώσεις του χαλκού και του καδμίου κυμάνθηκαν, σε mg kg⁻¹ εδάφους, από 28,9 έως 89,27 για τον χαλκό, ενώ από 0,57 έως 1,25 για το κάδμιο. Οι μέσες τιμές των ολικών συγκεντρώσεων του χαλκού και του καδμίου που αναφέρονται στην περιοχή του Βόλου δεν υπερβαίνουν τα επιτρεπτά όρια που έχουν τεθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Παράλληλα, η μέση ολική συγκέντρωση του χαλκού στον αστικό ιστό του Βόλου βρέθηκε να είναι υψηλότερη από εκείνη της Ανατολικής Αττικής (Massas et al.,2018), σε αντίθεση με εκείνη της Μαδρίτης της Ισπανίας όπου τα επίπεδα του χαλκού παρατηρήθηκαν χαμηλότερα (Vazquez de la Cueva et al.,2014).

3.2. Γεωστατιστική ανάλυση και Κατασκευή θεματικών χαρτών του δείκτη Igeo

Οι θεματικοί χάρτες οι οποίοι παρουσιάζονται στις Εικόνες 2 και 3, δημιουργήθηκαν με σκοπό τη βέλτιστη απεικόνιση της χωρικής κατανομής της ρύπανσης του εδάφους από πιθανά τοξικά στοιχεία (PTE). Ο δείκτης ρύπανσης CF κατείχε σπουδαίο ρόλο στην επίτευξη του παραπάνω σκοπού.

Στην Εικόνα 2 και 3 απεικονίζεται η χωρική παραλλακτικότητα του δείκτη ρύπανσης του χαλκού και του καδμίου αντίστοιχα.



Εικόνα 2: Θεματικός χάρτης απεικόνισης του δείκτη ρύπανσης του χαλκού



Εικόνα 3: Θεματικός χάρτης απεικόνισης του δείκτη ρύπανσης του καδμίου

Παρατηρώντας την Εικόνα 2 και 3, είναι φανερό πως το μεγαλύτερο ποσοστό των εδαφικών δειγμάτων ανήκουν στην κλάση III με αποτέλεσμα η ρύπανση να χαρακτηρίζεται ως μέτρια. Ωστόσο, ένα εδαφικό δείγμα εντοπίστηκε να έχει τιμή μεταξύ 3 και 6, κλάση δηλαδή με σημαντικό επίπεδο ρύπανσης. Το γεγονός αυτό ενδέχεται να οφείλεται στην έντονη βιομηχανική δραστηριότητα της περιοχής.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα έρευνα διήρκησε 3 συνεχόμενα χρόνια (2018-2020) με σκοπό τη καταγραφή των επιπέδων του χαλκού και του καδμίου σε αστικό περιβάλλον. Τα αποτελέσματά της αποδεικνύουν ότι τους καλοκαιρινούς μήνες των παραπάνω ετών οι τιμές μετάλλων κυμάνθηκαν εντός των ορίων που έχουν οριστεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Πιο συγκεκριμένα, οι ολικές συγκεντρώσεις τόσο του χαλκού, όσο και του καδμίου ήταν αρκετά χαμηλότερες από τα μέγιστα επιτρεπτά όρια, καθώς και από τις τιμές άλλων εργασιών που αναφέρονται σε κοινά σημεία δειγματοληψίας κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού του 2018

(Παπαδήμου Σωτηρία, 2020; Γκόλια κ.ά., 2019^α). Κρίθηκε αναγκαία, η συνεχής παρακολούθηση των επιπέδων ρύπανσης με σκοπό τον προσδιορισμό της χρονικής διακύμανσης και της χωρικής κατανομής των συγκεντρώσεων του χαλκού και του καδμίου. Η καλύτερη απεικόνιση των παραπάνω μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση γεωστατιστικών μεθόδων, δηλαδή τη δημιουργία θεματικών χαρτών (GIS), που μπορεί να συμβάλλει στην καλύτερη αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των βαρέων μετάλλων.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

5.1 Ελληνική Βιβλιογραφία

- Γκόλια, Ε. (2003). Ρύπανση εδαφών της Θεσσαλίας από βαρέα μέταλλα (Zn, Cu, Mn, Fe, Cd και Pb) και πρόσληψη αυτών από ποικιλίες καπνού. Απεικόνιση της χωρικής παραλλακτικότητας των βαρέων μετάλλων σε επιλεγμένες περιοχές της μελέτης. Διδακτορική Διπλωματική Εργασία στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας. Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Βόλος.
- Γκόλια, Ε., Κάντζου, Ο. Δ., Χαρτοδιπλωμένου, Μ. Α., Λακιώτης, Κ., Ζούντα, Δ., Μαμαλούδης, Χ. και Αντωνιάδης, Β., 2019α. Καταγραφή των επιπέδων χαλκού και ψευδαργύρου σε περιοχές αστικού πρασίνου - η περίπτωση του Δήμου Βόλου. 11^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωργικής Μηχανικής. Βόλος, 8/11/2019.
- Υπουργική Απόφαση: 80568/4225/91 'Μέθοδοι, όροι και περιορισμοί για την χρησιμοποίηση στη γεωργία της ιλύος που προέρχεται από επεξεργασία οικιακών και αστικών λυμάτων (ΦΕΚ 641/Β/7-08-1991)

5.2 Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

- Alloway, B., 2001. Heavy metals in soils. Blackie, Glasgow, UK.
- Bolan, N., Kunhikrishnan, A., Thangarajan, R., Kumpiene, J., Park, J., Makino, T., ... & Scheckel, K. (2014). Remediation of heavy metal (loid) s contaminated soils—to mobilize or to immobilize?. *Journal of hazardous materials*, 266, 141-166.
- Bolund, P., & Hunhammar, S. (1999). Ecosystem services in urban areas. *Ecological economics*, 29(2), 293-301.
- Beckers, F., & Rinklebe, J. (2017). Cycling of mercury in the environment: Sources, fate, and human health implications: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 47(9), 693-794
- Chambers, L. G., Chin, Y. P., Filippelli, G. M., Gardner, C. B., Herndon, E. M., Long, D. T., & Widom, E. (2016). Developing the scientific framework for urban geochemistry. *Applied Geochemistry*, 67, 1-20
- Chauhan, G., & Chauhan, U. K. (2014). Human health risk assessment of heavy metals via dietary intake of vegetables grown in wastewater irrigated area of Rewa, India. *International journal of scientific and research publications*, 4(9), 1-9.
- De Hollander, A. E., & Staatsen, B. A. (2003). Health, environment and quality of life: an epidemiological perspective on urban development. *Landscape and Urban Planning*, 65(1-2), 53-62.
- Fei, X., Christakos, G., Xiao, R., Ren, Z., Liu, Y., & Lv, X. (2019). Improved heavy metal mapping and pollution source apportionment in Shanghai City soils using auxiliary information. *Science of the Total Environment*, 661, 168-177.
- Fernandes Azevedo, B., Barros Furieri, L., Peçanha, F. M., Wiggers, G. A., Frizera Vassallo, P., Ronacher Simões, M., ... & Valentim Vassallo, D. (2012). Toxic effects of mercury on the

- cardiovascular and central nervous systems. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, 2012
- Gasparatos, D., Mavromati, G., Kotsovilis, P., & Massas, I. (2015). Fractionation of heavy metals and evaluation of the environmental risk for the alkaline soils of the Thriassio plain: a residential, agricultural, and industrial area in Greece. *Environmental Earth Sciences*, 74(2), 1099-1108
- Golia, E. E., Dimirkou, A., & St A, F. (2015). Spatial monitoring of arsenic and heavy metals in the Almyros area, Central Greece. Statistical approach for assessing the sources of contamination. *Environmental monitoring and assessment*, 187(7), 1-13.
- Golia E.E., Antoniadis V., Tsiropoulos N. and Vleioras S., 2020. Investigation of Extraction Methods for the Assessment of the Pseudo-Total Concentration of Potentially Toxic Elements in Moderately Contaminated Soils of Central Greece. *Water Air and Soil Pollution*, Volume 231, Issue 9, Article number 484.
- Golia, E.E., Papadimou, S.G., Cavalaris, C., and Tsiropoulos, N.G., 2021. Level of Contamination Assessment of Potentially Toxic Elements in the Urban Soils of Volos City (Central Greece). *Sustainability*, 13(4), 2029
- He, B., Zhao, X., Li, P., Liang, J., Fan, Q., Ma, X., ... & Qiu, J. (2019). Lead isotopic fingerprinting as a tracer to identify the pollution sources of heavy metals in the southeastern zone of Baiyin, China. *Science of The Total Environment*, 660, 348-357.
- Kabata-Pendias, A., & Pendias, H. (2001). *Trace Elements in Soils and Plants* (3rd ed.). London: CRC Press.
- Kibassa, D., Kimaro, A. A., & Shemdoe, R. S. (2013). Heavy metals concentrations in selected areas used for urban agriculture in Dar es Salaam, Tanzania. *Scientific Research and Essays*, 8(27), 1296-1303
- Kim, R. Y., Yoon, J. K., Kim, T. S., Yang, J. E., Owens, G., & Kim, K. R. (2015). Bioavailability of heavy metals in soils: definitions and practical implementation—a critical review. *Environmental geochemistry and health*, 37(6), 1041-1061.
- Kong, X. (2014). China must protect high-quality arable land. *Nature News*, 506(7486), 7.
- Li, Z. G., Zhang, G. S., Liu, Y., Wan, K. Y., Zhang, R. H., & Chen, F. (2013). Soil nutrient assessment for urban ecosystems in Hubei, China. *PloS one*, 8(9), e75856.
- Liu, R., Wang, M., & Chen, W. (2018). The influence of urbanization on organic carbon sequestration and cycling in soils of Beijing. *Landscape and Urban Planning*, 169, 241-249.
- Lu, Y., Song, S., Wang, R., Liu, Z., Meng, J., Sweetman, A. J., ... & Wang, T. (2015). Impacts of soil and water pollution on food safety and health risks in China. *Environment international*, 77, 5-15
- Ma, L., Yang, Z., Li, L., & Wang, L. (2016). Source identification and risk assessment of heavy metal contaminations in urban soils of Changsha, a mine-impacted city in Southern China. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(17), 17058-17066
- Malkakis, K. G., Golia, E. E., Stamatopoulou, I. G., Floras, S. A., Mitsios, I. K. (2006). Study of spatial variability of available phosphorus (Olsen), boron, nitrates and nitrites in Almyros region (central Greece), using geostatistics. *Proceedings of International Conference On Information Systems in Sustainable Agriculture, Agro-environment and Food Technology*, 22–25 September, Volos, Greece, pp 756–764.
- Massas, I., Gasparatos, D., Ioannou, D., & Kalivas, D. (2018). Signs for secondary buildup of heavy metals in soils at the periphery of Athens International Airport, Greece. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(1), 658-671.

- Meharg, A.A. Trace Elements in Soils and Plants, 4th ed.; Kabata-Pendias, A., Ed.; CRC Press/Taylor & Francis Group: Boca Raton, FL, USA, 2010; ISBN 9781420093704.
- Milićević, T., Relić, D., Škrivanj, S., Tešić, Ž., & Popović, A. (2017). Assessment of major and trace element bioavailability in vineyard soil applying different single extraction procedures and pseudo-total digestion. *Chemosphere*, 171, 284-293
- Olatunji, O. S., Opeolu, B. O., Fatoki, O. S., & Ximba, B. J. (2013). Heavy metals concentration levels in selected arable agricultural soils in South Western Nigeria. *International Journal of Physical Sciences*, 8(11), 421-427
- Page, A. L., Miller, H. R., & Keeney, R. D. (1982). *Methods of soil analysis part II—chemical and microbiological properties*. Madison: Inc. Soil Science of America.
- Radziemska, M., Vaverková, M. D., & Baryła, A. (2017). Phytostabilization—management strategy for stabilizing trace elements in contaminated soils. *International journal of environmental research and public health*, 14(9), 958.
- Rinklebe, J., Antoniadis, V., Shaheen, S. M., Rosche, O., & Altermann, M. (2019). Health risk assessment of potentially toxic elements in soils along the Central Elbe River, Germany. *Environment international*, 126, 76-88.
- Van Kamp, I., Leidelmeijer, K., Marsman, G., de Hollander, A., & Vauramo, S. (2011). *Urban ecosystem services at the plant-soil interface*. Department of Environmental Science. Faculty of biological and environmental science. University of Helsinki. Finland.
- Vázquez de la Cueva, A., Marchant, B. P., Quintana, J. R., de Santiago, A., Lafuente, A. L., & Webster, R. (2014). Spatial variation of trace elements in the peri-urban soil of Madrid. *Journal of Soils and Sediments*, 14(1), 78–88. <https://doi.org/10.1007/s11368-013-0772-5>
- Wang, X., Zhang, L., Zhao, Z., & Cai, Y. (2018). Heavy metal pollution in reservoirs in the hilly area of southern China: Distribution, source apportionment and health risk assessment. *Science of the Total Environment*, 634, 158-169.



**12^ο Πανελλήνιο Συνέδριο
Γεωργικής Μηχανικής**


ΕΔΑΦΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ



ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΣΧΕΣΕΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΟΥ SAR_e ΚΑΙ ΤΩΝ SAR_{1:1}, SAR_{1:5}

Γ. Κάργας, Δ. Κόκας , Π. Λόντρα & Α. Σγουμποπούλου

Γεωπονικό Παν/μιο Αθηνών, Τμήμα ΑΦΠ-ΓΜ, Ιερά Οδός 75, 11855, Αθήνα,

dimkokas@hotmail.com


Περίληψη

Στην παρούσα εργασία διερευνάται η σχέση μεταξύ των τιμών του ποσοστού προσροφημένου Νατρίου (SAR) που αποκτήθηκε από το εκχύλισμα της πάστας κορεσμού και αυτού που αποκτήθηκε από εκχυλίσματα αναλογιών 1:1 και 1:5 έδαφος/νερό (SAR_{1:1}, SAR_{1:5}). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι σχέσεις μεταξύ SAR_e - SAR_{1:1}, καθώς και SAR_e - SAR_{1:5} είναι ισχυρά γραμμικές. Οι γραμμικές εξισώσεις είναι SAR_e=1.21·SAR_{1:1} (R²=0.954) και SAR_e=2.22·SAR_{1:5} (R²=0.828). Η γραμμικότητα των σχέσεων είναι πιο ισχυρή όταν η περιεκτικότητα του εδάφους σε CaCO₃ είναι μεγαλύτερη από 4%. Επίσης, οι αντίστοιχες σχέσεις των ηλεκτρικών αγωγιμοτήτων (EC) EC_e-EC_{1:1} και EC_e-EC_{1:5} είναι ισχυρά γραμμικές με υψηλό R². Γραμμικές συσχετίσεις παρατηρήθηκαν, επίσης, μεταξύ των συγκεντρώσεων Na⁺, Ca²⁺ και Mg²⁺ που προέκυψαν από τις παραπάνω μεθόδους με υψηλές τιμές του συντελεστή R². Η μέθοδος 1:1 φαίνεται να είναι πιο αποτελεσματική σε σύγκριση με τη μέθοδο 1:5 στην πρόβλεψη των τιμών της EC, SAR και των ιόντων του εκχυλίσματος της πάστας κορεσμού.

Λέξεις κλειδιά: Ηλεκτρική αγωγιμότητα, SAR, αλατότητα εδαφών, αλκαλικότητα εδαφών

INVESTIGATION OF THE RELATIONSHIPS BETWEEN SAR_e AND SAR_{1:1}, SAR_{1:5}

G. Kargas, D. Kokas , P. Londra & A. Sgoubopoulou

Agricultural University of Athens, Department of Natural Resources Development and Agricultural Engineering, 75 Iera Odos, Athens, 11855, Greece, dimkokas@hotmail.com

Abstract

This study investigates the relationship between sodium adsorption ratio acquired by the saturated paste extract method (SAR_e) and those by 1:1 and 1:5 soil/water extracts (SAR_{1:1}, SAR_{1:5}). The results showed that the relationships between SAR_e - SAR_{1:1}, as well as SAR_e - SAR_{1:5} are strongly linear. The linear regression equations without intercept are SAR_e=1.21·SAR_{1:1} (R²=0.954) and SAR_e=2.22·SAR_{1:5} (R²=0.828). Linearity of the relationships is stronger when the CaCO₃ content of soils is greater than 4%. Also, the electrical conductivity (EC) relationships EC_e-EC_{1:1} and EC_e-EC_{1:5} are strongly linear with high R². Linear relationships were also observed between the Na⁺, Ca²⁺ and Mg²⁺ concentrations obtained from the previous methods with high values of R². It was concluded that the 1:1 method was more effective compared to 1:5 method in the prediction of the EC, SAR and ions concentrations of the saturation paste.

Keywords: Electrical conductivity, SAR, soil salinity, soil sodicity

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μία από τις σημαντικότερες υποβαθμίσεις που υφίστανται σήμερα τα εδάφη, κυρίως των περιοχών με ξηρό και ημίξηρο κλίμα, οφείλεται στην αλατότητα ή/και αλκαλικότητα. Έχει υπολογισθεί ότι περίπου 10^9 εκτάρια εδάφους σε 75 χώρες παγκοσμίως έχουν επηρεασθεί από την αύξηση των φαινομένων της αλατότητας/αλκαλικότητας (Szabolcs, 1994; Chi et al., 2011).

Η εκτίμηση της επίδρασης του Na^+ στα εδάφη γίνεται κυρίως είτε μέσω του ποσοστού ανταλλάξιμου Νατρίου (ESP) είτε μέσω του ποσοστού προσρόφησης Νατρίου (SAR). Η πρώτη μέθοδος (ESP) θεωρείται χρονοβόρα, καθώς χρειάζεται αρκετή προετοιμασία, και χρειάζεται εμπειρία και δεξιότητες για τη σωστή καταμέτρηση του αποτελέσματος. Η δεύτερη μέθοδος (SAR), η οποία βρίσκει έμμεσα το ζητούμενο, μπορεί να μετρηθεί ευκολότερα και πιο απλά/γρήγορα από την προηγούμενη (Ganjegunte and Vanve, 2006; Monteleone et al. 2016). Ο τύπος υπολογισμού του SAR είναι:

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \quad (1)$$

όπου οι συγκεντρώσεις των ιόντων είναι σε meq/l. Η σχέση η οποία εφαρμόζεται σε κατάσταση ισορροπίας και η οποία υπολογίζει την ESP μέσω της SAR (USDA, 1954; Ganjegunte and Vanve, 2006) είναι:

$$ESP = \frac{100 \cdot (-0.0126 + 0.01475 \cdot SAR_e)}{1 + (-0.126 + 0.01475 \cdot SAR_e)} \quad (2)$$

Η σχέση (2) είναι μια εμπειρική εξίσωση που συσχετίζει τις συγκεντρώσεις των διαλυτών κατιόντων του εκχυλίσματος της πάστας κορεσμού με αυτές των ανταλλάξιμων κατιόντων. Αυτή η εξίσωση έχει παρουσιαστεί και ως νομογράφημα από τη USDA (1954).

Οι δύο προηγούμενες παράμετροι (ESP, SAR) σε συνδυασμό με την ηλεκτρική αγωγιμότητα της πάστας κορεσμού του δείγματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον χαρακτηρισμό ενός εδάφους. Πιο συγκεκριμένα, το Υπουργείο Γεωργίας των ΗΠΑ (USDA, 1954) έχει κατηγοριοποιήσει τα εδάφη σε 3 ομάδες:

1. Αλατούχα εδάφη: εδάφη τα οποία έχουν $EC_e > 4$ ds/m και $ESP < 15\%$
2. Αλκαλικά εδάφη: εδάφη τα οποία έχουν $EC_e < 4$ ds/m, $ESP > 15\%$ και $SAR_e < 13$
3. Αλατούχα- Αλκαλικά εδάφη: εδάφη τα οποία έχουν $EC_e > 4$ ds/m, $ESP > 15\%$ και $SAR_e > 13$

Λαμβάνοντας υπόψη ότι ο προσδιορισμός του SAR σε εκχυλίσματα αναλογιών 1:1 και 1:5 έδαφος/νερό ($SAR_{1:1}$, $SAR_{1:5}$) είναι γρηγορότερος από αυτόν σε εκχυλίσματα πάστας κορεσμού (SAR_e), έρευνες όπως και αυτή λαμβάνουν χώρα για την εύρεση των σχέσεων μεταξύ SAR_e - $SAR_{1:1}$, καθώς και μεταξύ SAR_e - $SAR_{1:5}$. Παρόλο που οι μέθοδοι των αναλογιών 1:1 και 1:5 είναι ευρέως διαδεδομένοι, παρουσιάζουν ένα σοβαρό μειονέκτημα κατά την επίδραση υψηλών ποσοτήτων νερού στη διαλυτότητα λιγότερο διαλυτών αλάτων, όπως ο γύψος και ο ασβεστίτης. Για τον γύψο, καθώς η αραιώση αυξάνεται, η συγκέντρωση όλων των ιόντων μειώνεται, εκτός από τις συγκεντρώσεις των Ca^{2+} και SO_4^{2-} που παραμένουν σχετικά σταθερές. Από την άποψη αυτή, λόγω της παρουσίας λιγότερο διαλυτών αλάτων σε εδάφη που περιέχουν γύψο ή ασβεστίτη, καθώς ο βαθμός αραιώσης αυξάνεται, η συγκέντρωση ιόντων αλλάζει σημαντικά σε σχέση με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις τους στο εδαφικό διάλυμα ή στο εκχύλισμα της πάστας κορεσμού. Αυτοί οι παράγοντες είναι πιθανό να επηρεάσουν τις σχέσεις SAR_e - $SAR_{1:1}$ και SAR_e - $SAR_{1:5}$. Επίσης, ένας άλλος παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει τη σχέση SAR_e - $SAR_{1:5}$ είναι η τεχνική με την οποία λαμβάνεται το εκχύλισμα αναλογίας 1:5, καθώς διαφορετικές τεχνικές στο ίδιο δείγμα έχουν δώσει διαφορετικές τιμές EC, πράγμα που επηρεάζει την τιμή του SAR (He et al., 2012; Kargas et al., 2020).

Αρκετοί ερευνητές (Somnez et al., 2008; Kargas et al., 2018) έχουν διαπιστώσει πως υπάρχει γραμμική συσχέτιση μεταξύ των συγκεντρώσεων των ιόντων του εκχυλίσματος της πάστας κορεσμού και των ιόντων των εκχυλισμάτων που προέρχονται από τις αναλογίες 1:1 και 1:5 έδαφος/νερό. Έτσι, είναι δυνατόν να προβλέψουμε τη συγκέντρωση των κατιόντων της πάστας κορεσμού και μετά να υπολογίσουμε την τιμή της SAR_e από τον υπολογισμό των κατιόντων των εκχυλισμάτων 1:1 και 1:5 έδαφος/νερό.

Οι Rengasamy et al. (1984) ανέφεραν ότι οι τιμές του SAR_e ήταν σχεδόν ίδιες με αυτές του $SAR_{1:5}$ για επιφανειακά εδάφη της Αυστραλίας.

Έρευνα των Chi and Wang (2010) έδειξε ότι υπάρχει ισχυρή γραμμική συσχέτιση μεταξύ των τιμών SAR_e - $SAR_{1:5}$ με κλίση που εξαρτιόταν από την υφή του εδάφους. Η γραμμική σχέση που παρατηρήθηκε μεταξύ των εδαφών μέσης σύστασης ήταν $SAR_e=13.67 \cdot SAR_{1:5}$ με $R^2=0.93$ και η αντίστοιχη μεταξύ των λεπτόκοκκων εδαφών ήταν $SAR_e=8.05 \cdot SAR_{1:5}$ με $R^2=0.81$. Επίσης, οι συγκεντρώσεις των ιόντων Ca^{2+} και Mg^{2+} από το εκχύλισμα της πάστας κορεσμού δεν συσχετιζόνταν με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις των εκχυλισμάτων 1:5 έδαφος/νερό. Ωστόσο, πρέπει να αναφερθεί ότι η περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται από πολύ χαμηλές τιμές συγκεντρώσεων Ca^{2+} και Mg^{2+} συγκρινόμενες με αυτές του Na^+ . Άρα σε αυτή την περίπτωση η τιμή του SAR_e δεν μπορεί να προβλεφθεί από τον υπολογισμό των συγκεντρώσεων των Ca^{2+} και Mg^{2+} του εκχυλίσματος της πάστας κορεσμού, καθώς δεν συσχετίζονται με τις συγκεντρώσεις των Ca^{2+} και Mg^{2+} του εκχυλίσματος 1:5.

Η έρευνα των He et al. (2015) ανέφερε πως η σχέση μεταξύ SAR_e και $SAR_{1:5}$ εξαρτιόταν από την περιεκτικότητα του εδάφους σε ασβεστίτη. Εάν η συγκέντρωση του ασβεστίτη στο έδαφος ήταν μεγαλύτερη του 4% τότε η πρόβλεψη του SAR_e από το $SAR_{1:5}$ αύξανε, καθώς η γραμμική σχέση είχε υψηλότερες τιμές R^2 . Άρα, η περιεκτικότητα του ασβεστίτη στο έδαφος παίζει σημαντικό ρόλο στη γραμμικότητα της σχέσης μεταξύ του SAR_e και $SAR_{1:5}$. Οι ερευνητές υπέδειξαν, επίσης, πως οι συγκεντρώσεις των Mg^{2+} και Na^+ στο εκχύλισμα της πάστας κορεσμού συσχετιζόνταν γραμμικά με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις των ιόντων του εκχυλίσματος 1:5 με σχετικά υψηλό R^2 (0.76 και 0.68, αντίστοιχα). Όσον αφορά στις συγκεντρώσεις Ca^{2+} , δεν υπήρχε ισχυρή γραμμική συσχέτιση, καθώς το R^2 δεν ξεπερνούσε την τιμή 0.34 πράγμα το οποίο αποδόθηκε στην ύπαρξη γύψου και ασβεστίτη στο έδαφος.

Από τα προηγούμενα, φαίνεται ότι για τη σχέση μεταξύ SAR_e - $SAR_{1:5}$ τα ευρήματα δείχνουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους, ενώ η σχέση SAR_e - $SAR_{1:1}$ δεν έχει διερευνηθεί ουσιαστικά. Επίσης, για τη μέθοδο USDA (1954) που χρησιμοποιείται παγκοσμίως για τον προσδιορισμό της EC από εκχυλίσματα κορεσμένης πάστας, αναλογίες 1:1 και 1:5 έδαφος/νερό οι σχέσεις μεταξύ SAR_e - $SAR_{1:1}$ και SAR_e - $SAR_{1:5}$ δεν έχουν εξεταστεί σε πολλούς τύπους εδαφών.

Ο στόχος αυτής της εργασίας είναι να μελετήσει τη σχέση μεταξύ SAR_e - $SAR_{1:1}$ και SAR_e - $SAR_{1:5}$ από δείγματα εδαφών προερχόμενα από διαφορετικές περιοχές της χώρας μας με ευρύ φάσμα τιμών EC_e και να διερευνήσει το ρόλο του ανθρακικού ασβεστίου. Η μέθοδος USDA (1954) χρησιμοποιήθηκε για να ληφθούν τα εκχυλίσματα των αναλογιών 1:1,1:5 έδαφος/νερό καθώς και αυτά της πάστας κορεσμού.

2. ΥΛΙΚΑ-ΜΕΘΟΔΟΙ

Για το πείραμα χρησιμοποιήθηκαν 122 επιφανειακά εδαφικά δείγματα (βάθους 0-15cm) με χαμηλή περιεκτικότητα σε οργανική ουσία (<1% στις περισσότερες περιπτώσεις). Τα δείγματα αυτά πάρθηκαν από 5 διαφορετικές περιοχές της Ελλάδας και πιο συγκεκριμένα από την Εύβοια (15 δείγματα), Λακωνία (20 δείγματα), Πρέβεζα (7 δείγματα), Αργολίδα (40 δείγματα) και από την Κω (40 δείγματα). Από τα 122 εδαφικά δείγματα που εξετάστηκαν,

τα 46 προήλθαν από προηγούμενη δειγματοληψία (έτος 2015) των οποίων οι αναλύσεις ιόντων και EC συμπληρώθηκαν με πρόσθετες μετρήσεις όπως του CaCO_3 (Kargas et al., 2018). Τα υπόλοιπα δείγματα συλλέχθηκαν το έτος 2018 από τις ίδιες περιοχές, την ίδια περίοδο καλλιέργειας με τη προηγούμενη δειγματοληψία, και πραγματοποιήθηκαν πλήρεις αναλύσεις.

Στα περισσότερα εδάφη, από τα οποία έγινε η δειγματοληψία, επικρατούσε διαφορετική καλλιέργεια, ενώ κάποια δεν ήταν καλλιεργημένα. Τα επιλεγμένα εδάφη αντιπροσωπεύουν εδάφη με διαφορετικό επίπεδο αλατότητας. Τα εδαφικά δείγματα της Αργολίδας συλλέχθηκαν στο τέλος της περιόδου άρδευσης, δηλαδή το Σεπτέμβριο, ενώ τα εδαφικά δείγματα των άλλων περιοχών πάρθηκαν κατά την αρδευτική περίοδο Ιούλιο-Αύγουστο.

Τα παραπάνω εδαφικά δείγματα μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής του ΓΠΑ. Αρχικά έγινε αεροζήρανση των εδαφών για περίπου 3 με 7 ημέρες ανάλογα με τον τύπο του εδάφους και την αρχική εδαφική υγρασία και έπειτα τα δείγματα κοσκινίστηκαν από κόσκινο 2 mm. Τα εκχυλίσματα των δειγμάτων τόσο της πάστας κορεσμού όσο και των αναλογιών (1:1, 1:5) αποκτήθηκαν με βάση τη μέθοδο USDA (1954).

Σε όλα τα εδαφικά δείγματα, προσδιορίστηκε η μηχανική σύσταση των εδαφών και η περιεκτικότητά τους σε ανθρακικό ασβέστιο. Η υφή βρέθηκε με τη μέθοδο υδρόμετρου (Βουγουκος, 1951), ενώ το ισοδύναμο ποσοστό CaCO_3 μετρήθηκε από το εκλυόμενο CO_2 έπειτα από προσθήκη HCl .

Σε όλα τα εκχυλίσματα, η συγκέντρωση του Na^+ προσδιορίστηκε με τη μέθοδο του φλογοφωτόμετρου ενώ οι συγκεντρώσεις των ιόντων Ca^{2+} και Mg^{2+} με τη μέθοδο της τιτλοδότησης EDTA.

Για την εκτίμηση των γραμμικών σχέσεων μεταξύ των $\text{EC}_e\text{-EC}_{1:1}$ και $\text{EC}_e\text{-EC}_{1:5}$, προσδιορίστηκε ο συντελεστής R^2 . Η ρίζα της μέσης τετραγωνικής απόκλισης (RMSE) χρησιμοποιήθηκε για τη σύγκριση των διάφορων μεθόδων μεταξύ τους.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

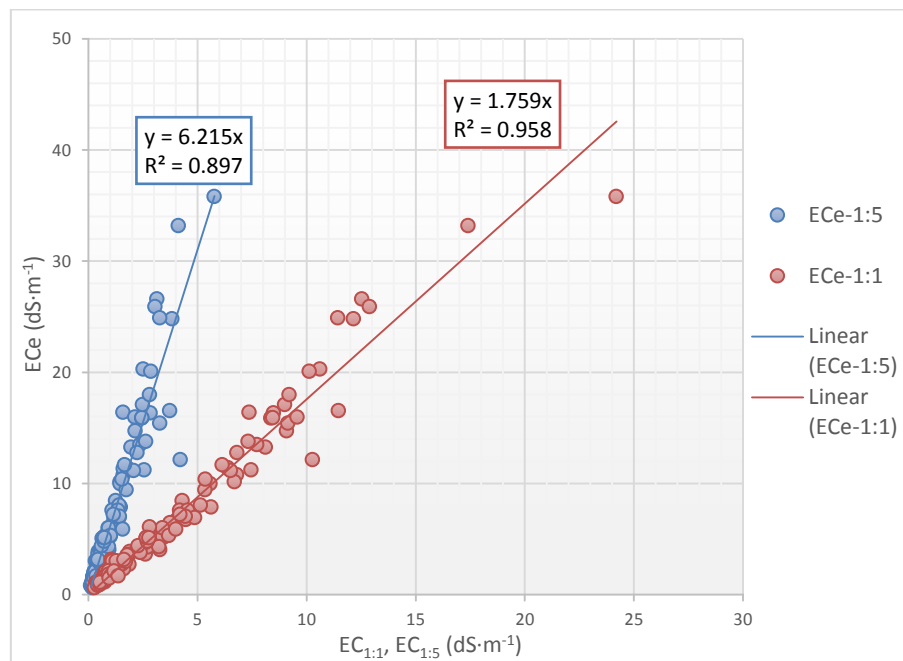
Η περιεκτικότητα των εδαφών σε άμμο, ιλύ και άργιλο κυμαινόταν από 11.6% έως 84.6%, 8% έως 58% και 7,4% έως 48,4%, αντίστοιχα. Όλα τα δείγματα είχαν αμελητέα περιεκτικότητα σε γύψο. Η περιεκτικότητα του ανθρακικού ασβεστίου ποικίλλει σημαντικά μεταξύ των περιοχών δειγματοληψίας (0.5% έως 15.8% στην Αργολίδα, 8.77% έως 11% στην Κω, 0.12% έως 10.11% στην Λακωνία, 0.21% έως 3.83% στην Εύβοια και 15.79 έως 33.21% στην Πρέβεζα). Συνολικά, το 70% των δειγμάτων είχε περιεκτικότητα σε $\text{CaCO}_3 > 4\%$ (w/w).

Όσον αφορά στο ποσοστό κορεσμού (SP), όλα τα εδάφη που εξετάστηκαν είχαν τιμές μεγαλύτερες του 33%, με μέση τιμή 53.7%. Εφόσον οι τιμές του SP συσχετίζονται ισχυρά με τη περιεκτικότητα του εδάφους σε άργιλο, από τις προαναφερθείσες τιμές συμπεραίνουμε ότι τα δείγματα μας στην πλειοψηφία τους μπορούν να χαρακτηρισθούν ως λεπτόκοκκης υφής (Chi and Wang, 2010).

Οι τιμές των EC_e κυμαίνονταν από 0.61 έως 35.8 dS/m, οι $\text{EC}_{1:1}$ από 0.53 έως 24.2 dS/m ενώ οι $\text{EC}_{1:5}$ από 0.14 έως 5.77 dS/m. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1, οι τιμές των EC_e συσχετίζονται ισχυρά γραμμικά με τις τιμές των $\text{EC}_{1:1}$ και $\text{EC}_{1:5}$. Παρόμοιες κλίσεις με αυτές του Σχήματος 1 (1.759 και 6.215, αντίστοιχα) είχαν παρουσιασθεί και στην έρευνα του έτους 2018 (Kargas et al., 2018), οι οποίες ήταν 1.83 και 6.53, αντίστοιχα.

Τα παραπάνω αποτελέσματα επιβεβαιώνουν προηγούμενες έρευνες σχετικά με την ισχυρή γραμμικότητα των σχέσεων $\text{EC}_e\text{-EC}_{1:1}$ και $\text{EC}_e\text{-EC}_{1:5}$ από διαφορετικές περιοχές ανά τον πλανήτη (Chi and Wang, 2010; Kargas et al., 2018; Datta et al., 2019; Hassannia et al., 2020). Ωστόσο, η κλίση των γραμμικών σχέσεων φαίνεται πως επηρεάζεται από την υφή

του εδάφους, καθώς και από την περιεκτικότητα σε CaCO_3 και γύψο. Όσο υψηλότερη είναι η περιεκτικότητα του εδάφους σε άργιλο, κυρίως τύπου 2:1, σε CaCO_3 και γύψο, τόσο πιο μικρή κλίση θα παρουσιασθεί στην σχέση των EC, ειδικά στην περίπτωση του $\text{EC}_e\text{-EC}_{1:5}$.

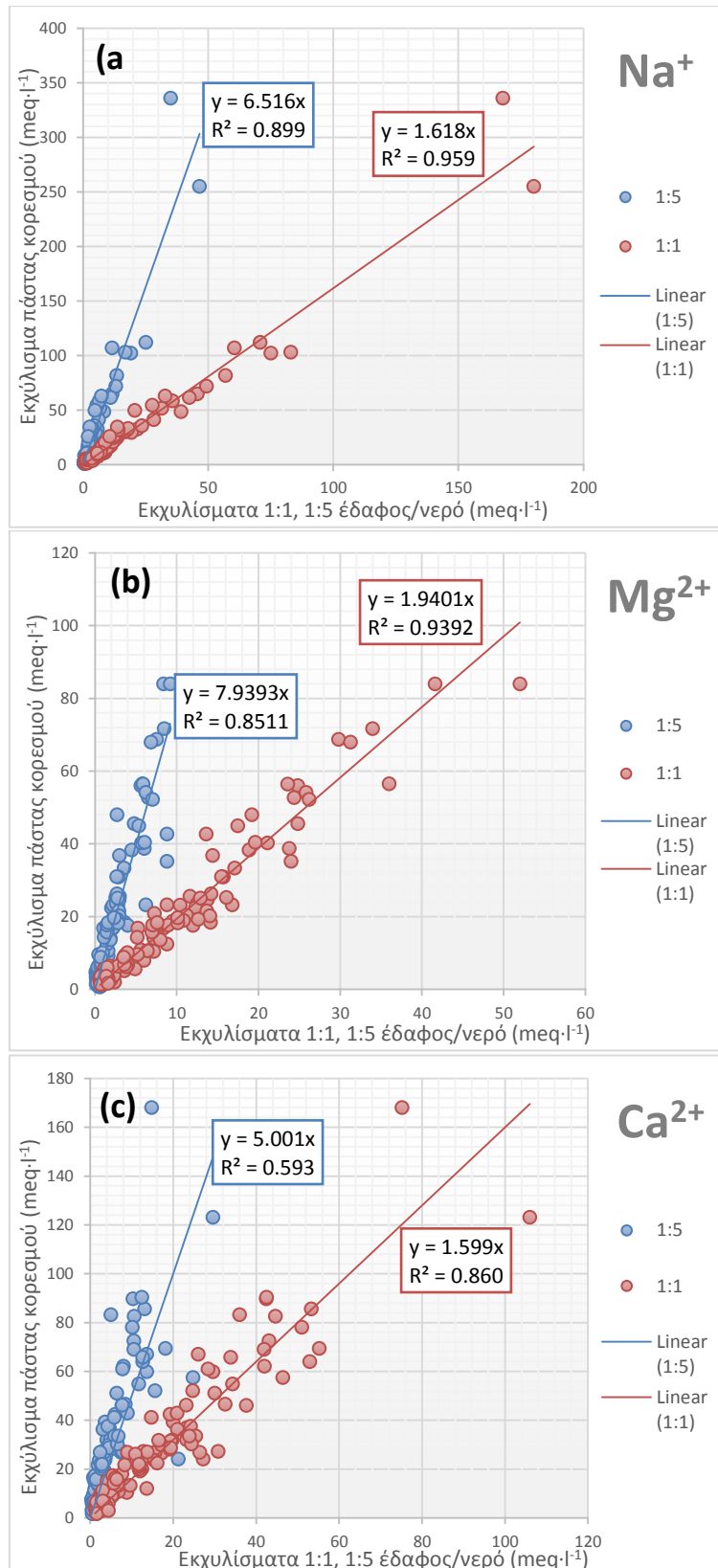


Σχήμα 1: Γραμμικές συσχετίσεις μεταξύ $\text{EC}_e\text{-EC}_{1:1}$ (πορτοκαλί) και $\text{EC}_e\text{-EC}_{1:5}$ (μπλε).

Οι Zhang et al. (2005) ανέφεραν ότι η μέση συγκέντρωση των ιόντων του εκχυλίσματος της πάστας κορεσμού (Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ , Ca^{2+} και Mg^{2+}) είναι περίπου διπλάσια από αυτή του εκχυλίσματος 1:1 έδαφος/νερό. Ωστόσο, στην παρούσα έρευνα αποδείχθηκε ότι ισχύει μόνο στην περίπτωση του Mg^{2+} (Σχήμα 2b, η κλίση του 1:1 είναι 1.9401 κοντά δηλαδή στο 2). Στην περίπτωση του Na^+ και του Ca^{2+} , οι μέσες συγκεντρώσεις των ιόντων στην πάστα κορεσμού είναι 1.618 και 1.599 φορές μεγαλύτερη από αυτή της 1:1, αντίστοιχα (Σχήμα 2a,c). Όσον αφορά στο Ca^{2+} , οι μικρότερες τιμές μπορούν να αποδοθούν στις υψηλές συγκεντρώσεις του εδάφους σε CaCO_3 , ενώ για το Na^+ χρειάζεται περαιτέρω έρευνα.

Οι γραμμικές σχέσεις που προέκυψαν μεταξύ των συγκεντρώσεων των ιόντων του εκχυλίσματος της πάστας κορεσμού και των αναλογιών 1:1 και 1:5 φαίνονται στο Σχήμα 2 (a,b και c). Βλέπουμε ότι οι σχέσεις που προέκυψαν και για τα τρία κατιόντα (Na^+ , Mg^{2+} και Ca^{2+}) δείχνουν να είναι ισχυρά γραμμικές. Ωστόσο, οι τιμές των R^2 είναι μεγαλύτερες στις σχέσεις μεταξύ εκχυλισμάτων πάστας κορεσμού και 1:1. Στη περίπτωση του Ca^{2+} παρατηρήθηκαν οι μικρότερες τιμές των R^2 σε σχέση με τα άλλα κατιόντα και κυρίως στη περίπτωση του 1:5. Αυτή η διαφορά μπορεί να οφείλεται στην παρουσία ανθρακικού ασβεστίου. Η επίδραση του CaCO_3 φαίνεται να είναι πιο έντονη στην περίπτωση του 1:5, καθώς το CaCO_3 διαλύεται περισσότερο όσο αυξάνεται η αραιώση (He et al., 2015).

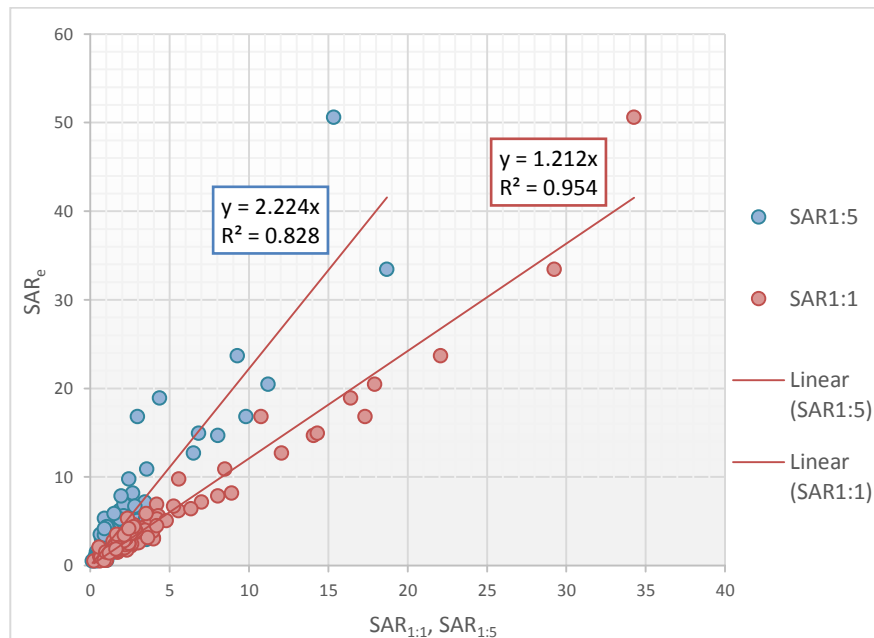
Οι γραμμικές σχέσεις που προέκυψαν μεταξύ $\text{SAR}_e\text{-SAR}_{1:1}$ και $\text{SAR}_e\text{-SAR}_{1:5}$ με τις αντίστοιχες τιμές R^2 αναπαρίστανται στο Σχήμα 3. Οι σχέσεις αυτές είναι ισχυρά γραμμικές ειδικά στη περίπτωση $\text{SAR}_e\text{-SAR}_{1:1}$ λόγω του υψηλού συντελεστή R^2 . Οι κλίσεις στις σχέσεις $\text{SAR}_e\text{-SAR}_{1:1}$ και $\text{SAR}_e\text{-SAR}_{1:5}$ είναι 1.212 και 2.224, αντίστοιχα. Αυτές οι τιμές των κλίσεων και του R^2 διαφέρουν από τις αντίστοιχες άλλων ερευνών. Πιο συγκεκριμένα, οι Rengasamy et al. (1984) ανέφεραν κλίση ίση με 1 για τη σχέση μεταξύ $\text{SAR}_e\text{-SAR}_{1:5}$, ενώ οι Chi and Wang (2010) υψηλές τιμές (13.19).



Σχήμα 2: Γραμμικές συσχετίσεις συγκεντρώσεων Na⁺, Mg²⁺ και Ca²⁺ (a,b και c) μεταξύ των εκχυλισμάτων της πάστας κορεσμού και των αναλογιών 1:1 (πορτοκαλί) και 1:5 (μπλε).

Αλλαγές στη γραμμικότητα των σχέσεων, καθώς και στις τιμές των R² παρατηρήθηκαν ανάλογα με την περιεκτικότητα σε CaCO₃. Για CaCO₃ > 4%, οι κλίσεις των γραμμικών

σχέσεων χωρίς σημείο τομής παρέμεναν σχεδόν ίδιες (1.21 και 2.29 για SAR_e-SAR_{1:1} και SAR_e-SAR_{1:5}, αντίστοιχα) και το R² αυξήθηκε λίγο. Για CaCO₃ < 4% οι τιμές των κλίσεων και των αντίστοιχων R² μειώθηκαν εμφανίζοντας τιμές 1.17 και 1.86 με R² 0.93 και 0.76 για τις σχέσεις SAR_e-SAR_{1:1} και SAR_e-SAR_{1:5}, αντίστοιχα. Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα, φαίνεται πως η περιεκτικότητα του εδάφους σε CaCO₃ επηρεάζει τη γραμμικότητα των σχέσεων του SAR.



Σχήμα 3: Γραμμικές συσχετίσεις μεταξύ SAR_e-SAR_{1:1} (πορτοκαλί) και SAR_e-SAR_{1:5} (μπλε).

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Βασιζόμενοι στα αποτελέσματα του εκχυλίσματος της πάστας κορεσμού, τα εδάφη χαρακτηρίζονται κυρίως ως μη αλκαλικά, αλλά αλατούχα εδάφη στις περισσότερες περιπτώσεις. Η EC_e και οι συγκεντρώσεις των ιόντων Na⁺, Ca²⁺ και Mg²⁺ στην πάστα κορεσμού μπορούν να προβλεφθούν από τα εκχυλίσματα των αναλογιών 1:1 και 1:5 έδαφος/νερό, εφόσον οι σχέσεις που πάρθηκαν μεταξύ πάστας και αναλογιών είναι ισχυρά γραμμικές.

Εδάφη με CaCO₃ > 4% παρουσιάζουν ισχυρά γραμμικές σχέσεις και η κλίση που εμφανίζει η σχέση SAR_e-SAR_{1:5} τείνει να είναι διπλάσια αυτής της σχέσης SAR_e-SAR_{1:1}. Αντίθετα, εδάφη με CaCO₃ < 4% εμφανίζουν συσχέτιση κλίσεων μικρότερη του 2 και η πρόβλεψη του SAR_e από το SAR_{1:5} είναι αμφισβητήσιμη.

Οι τιμές του SAR_e μπορούν να εκτιμηθούν ασφαλώς από τις συγκεντρώσεις των κατιόντων του εκχυλίσματος των αναλογιών 1:1 και 1:5 μέσω της πρόβλεψης των αντίστοιχων κατιόντων στο εκχύλισμα της πάστας κορεσμού.

Περαιτέρω έρευνα απαιτείται για την αξιολόγηση της χρήσης των προτεινόμενων εξισώσεων σε μεγαλύτερα βάθη (πέρα των 15 cm) και στην περίπτωση εδαφών με χαμηλή συγκέντρωση CaCO₃.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Aboukila, E.F., Norton, J.B., 2017. Estimation of Saturated Soil Paste Salinity from Soil-Water Extracts. Soil Sci. 182, 107-113.

- Bouyoucos, G.H., 1951. A recalibration of the hydrometer method of making mechanical analysis of soils. *Agronomy J.* 43, 34-438.
- Chi, C.M., Zhao, C.W., Sun, X.J., Wang, Z.C., 2011. Estimating Exchangeable Sodium Percentage from Sodium Absorption Ratio of Salt-affected soil in the Songnen Plain of Northeast China. *Pedosphere*. 21(2), 271-276.
- Chi, C.M., Wang, Z.C., 2010. Characterizing salt affected soils of Songnen Plain using saturated paste and 1:5 soil to water extraction methods. *Arid Land Res. Manag.* 24, 1-11.
- Datta, A., Mandal, A.K., Yadav, R.K., 2019. Proper measurement of electrical conductivity and other parameters influence profile salinity and sodicity under different land uses. *Ecological Indicators*. 101, 1004-1006.
- Ganjegunte, G.K., Vance, G.F., 2006. Deviations from the empirical sodium adsorption ratio (SAR) and exchangeable sodium percentage (ESP) relationship. *Soil Sci.* 171, 364-373.
- Gupta, R.K., Abrol, I.P., 1990. Salt affected soils: Their reclamation and management for crop production. *Adv Soil Sci.* 11, 223-288.
- Hassania, M., Nazari, B., Kaviani, A., Sotoodehnia, A., 2020. Evaluation and analysis of different regression models for estimation of EC_e from EC 1:5. With a case study from Buin-Zahra, Iran. *Irrig. And Drain.* 2020, 1-12
- He, Y., DeSutter, T., Hopkins, D., Wysocki, Clay, D.E., 2015. Relationship between 1:5 soil/water and saturated paste extract sodium absorption ratios by three extraction methods *Soil Sci. Soc. Am. J.* 79, 681-687.
- Kargas, G., Chatzigiakoumis, I., Kollias, A., Spiliotis, D., Massas, I., Kerkides, P., 2018. Soil Salinity Assessment Using Saturated Paste And Mass Soil:Water 1:1 and 1:5 Ratios Extracts. *Water J.* 10, 1589.
- Kargas, G., Londra, P., Sgoubopoulou, A., 2020. Effect of 1:1 and 1:5 soil to water extract electrical conductivity methods on estimation of soil saturated paste extract electrical conductivity. *Water J.* 12(4), 1010.
- Monteleone, M., Lacolla, G., Caranfa, G., Cucci, G., 2016. Indirect Measurement of Electrical Conductivity and Exchangeable Cations on Soil Water Extracts. *Soil Sci.* 181(9/10), 465-471.
- NRCS, 2011. Method 4.3.3: Aqueous extraction. In Butt E(ed.) *Soil Survey Laboratory Information Manual*. Soil Surv. Invest. Rep. 45, Version 2.0. National Soil Survey Center. Lincoln, NE.
- Ozcan, H., Ekinici, H., Yigini, Y., Yuksel, O., 2006. Comparison of four soil salinity extraction methods. In *Proceedings of the 18th International Soil Meeting on "Soil Sustaining Life on Earth, Managing Soil and Technology"*. Sanliurfa, Turkey, pp. 697-703.
- Pengasamy, P., Creene, R.S.B., Ford, W., Mehanni, A.H., 1984. Identification of dispersive behaviour and the management of red-brown earths. *Aust. J. Soil Res.* 22, 413-431.
- Somnez, S., Buyuktas, D., Okturen, F., Citak, S., 2008. Assessment of different soil to water ratios (1:1, 1:2.5, 1:5) in soil salinity studies. *Geoderma*. 144, 361-369.
- Szabolcs, I., 1994. Soil and Salinization. In Pessarakli M(ed.) *Handbook of plant and crop stress*. Marcel Dekker, New York, pp. 3-11.
- United States Department of Agriculture (USDA), 1954. *Diagnoses and Improvement of Saline and Alkali Soils*. Agriculture Handbook No 60. Washington, DC, USA.
- Visconti, F., de Paz, J.M., Rubio, J.L., 2010. What information does the electrical conductivity of soil water extracts of 1 and 5 ratio (w/v) provide for soil salinity assessment of agricultural irrigated land? *Geoderma*. 154, 387-397.

Zhang, H., Schroder, J.L., Pitman, J.J., Wang, J.J., Payton, M.E., 2005. Soil Salinity Using Saturated Paste and 1:1 Soil to water extract. Soil Sci. Soc. Am. J. 69, 1146-1151.

ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΕΔΑΦΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΒΙΟ-ΤΣΙΜΕΝΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

Βράννα Αντιγόνη^{1*} ; Κωστοπούλου Σοφία²

¹Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη ²Τμήμα Γεωπονίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη
[*avranna@civil.auth.gr](mailto:avranna@civil.auth.gr)

Περίληψη

Η εργασία παρουσιάζει μία πρόσφατα προταθείσα μέθοδο βελτίωσης εδαφών, γνωστή ως βιο-τσιμεντοποίηση. Η συγκεκριμένη μέθοδος περιλαμβάνει τη σταθεροποίηση εδαφών με διέγερση μη-παθογόνων εδαφικών βακτηρίων, η οποία είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί με μία φυσική τεχνική εδαφικής τσιμεντοποίησης, γνωστή ως «μικροβιακώς επαγόμενη καθίζηση ανθρακικού ασβεστίου», MICP. Η τεχνική αυτή οδηγεί στο σχηματισμό φυσικών συγκολλητικών δεσμών τσιμεντοποίησης στην επιφάνεια των εδαφικών κόκκων και στα κενά των εδαφικών πόρων, και ως εκ τούτου μεταβάλλει σημαντικά την εδαφική δομή και προκαλεί αύξηση της αντοχής του εδάφους. Η βιο-τσιμεντοποίηση αποτελεί μία πολλά υποσχόμενη βιώσιμη μέθοδο βελτίωσης εδαφών, με πληθώρα εφαρμογών, μεταξύ των οποίων η σταθεροποίηση των εδαφών, ο έλεγχος της διάβρωσης, η αποκατάσταση ρυπασμένων εδαφών, η στεγανοποίηση δεξαμενών γεωργικών εκμεταλλεύσεων και η διαχείριση αγροτικών αποβλήτων.

Λέξεις κλειδιά: βιο-τσιμεντοποίηση, βελτίωση εδαφών, MICP, δομή εδαφών, σταθεροποίηση

SOIL IMPROVEMENT BY MEANS OF BIO-CEMENTATION

Vranna Antigoni^{1*} ; Kostopoulou Sofia²

¹Dep. Civil Eng., Aristotle University of Thessaloniki, Thessaloniki

²Fac. Agriculture, Aristotle University of Thessaloniki, Thessaloniki

[*avranna@civil.auth.gr](mailto:avranna@civil.auth.gr)

Abstract

This paper presents a recently proposed method of soil improvement, known as bio-cementation. This method comprises the stabilization of soils via the stimulation of non-pathogenic soil bacteria, which can be achieved by means of a natural soil-cementation technique, known as “microbially induced calcite precipitation”, MICP. This technique induces the formation of cementation bonds both among individual soil grains and within soil voids, and therefore alters significantly soil structure, as well as soil strength. Bio-cementation constitutes a highly promising sustainable soil improvement method, with a wide range of applications, among which are stabilization of slopes, erosion control, remediation of contaminated soils, sealing of agricultural reservoirs and agricultural waste management.

Keywords: bio-cementation, soil improvement, MICP, soil structure, stabilization

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μελέτη της βελτίωσης εδαφών με σκοπό την ενίσχυση της σταθερότητας της δομής και την κατ' επέκταση βελτίωση της μηχανικής τους συμπεριφοράς αποτελεί βασικό αντικείμενο ερευνών τα τελευταία 30 χρόνια. Μόλις την τελευταία δεκαετία, στα πλαίσια της αναζήτησης βιώσιμων και περισσότερο «πράσινων» τεχνικών βελτίωσης του εδάφους, πλήθος ερευνών έχει επικεντρωθεί στην παρουσία των ζωντανών μικροοργανισμών του εδάφους και στις βιο-γεωχημικές διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα σε αυτό (Terzis & Laloui 2019). Συγκεκριμένα, η βιο-ανάπτυξη ή βιο-διέγερση μη-παθογόνων βακτηρίων στο έδαφος έχει αποδειχτεί ότι οδηγεί σε σταθεροποίηση των αμμωδών εδαφών, ως αποτέλεσμα της δημιουργίας φυσικών συγκολλητικών δεσμών τσιμεντοποίησης στην επιφάνεια των εδαφικών κόκκων και στα κενά των εδαφικών πόρων (DeJong et al. 2013).

Η διαδικασία αυτή, γνωστή ως βιο-τσιμεντοποίηση, αποτελεί μία πολλά υποσχόμενη μέθοδο βελτίωσης εδαφών, με πληθώρα εφαρμογών, μεταξύ των οποίων η σταθεροποίηση των εδαφών, ο έλεγχος της διάβρωσης, η αποκατάσταση μολυσμένων εδαφών και η στεγανοποίηση δεξαμενών γεωργικών εκμεταλλεύσεων.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η βιβλιογραφική επισκόπηση της βιο-τσιμεντοποίησης, ως μία πρόσφατα προταθείσα, βιώσιμη τεχνική βελτίωσης της μηχανικής συμπεριφοράς εδαφών. Παρουσιάζεται η μέθοδος της βιο-τσιμεντοποίησης και γίνεται αναφορά στις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες των βιο-τσιμεντοποιημένων εδαφών, καθώς και στα πεδία εφαρμογής της μεθόδου, με γεωπονικό ενδιαφέρον.

2. Η ΒΙΟ-ΤΣΙΜΕΝΤΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ Η ΜΕΘΟΔΟΣ MICP

Ο όρος «βιο-τσιμεντοποίηση» περιγράφει τη διαδικασία δημιουργίας φυσικών συγκολλητικών δεσμών τσιμεντοποίησης στην επιφάνεια των εδαφικών κόκκων και στο εσωτερικό των πόρων του εδάφους, ως αποτέλεσμα της μεταβολικής δραστηριότητας μικροβίων (Terzis & Laloui 2019). Οι δεσμοί αυτοί αποτελούν προϊόντα καθίζησης ανόργανων ορυκτών, όπως οξειδίου του σιδήρου και, συνηθέστερα, ανθρακικού ασβεστίου, CaCO_3 .

Η βιο-τσιμεντοποίηση αποτελεί μία φυσική διαδικασία που μπορεί να συμβεί με αργό ρυθμό στη φύση εξαιτίας της δραστηριότητας μικροβίων *in situ*, εφόσον ικανοποιούνται οι συνθήκες για την πρόκληση καθίζησης ανθρακικού ασβεστίου, με αποτέλεσμα την επιτάχυνση της φυσικής τσιμεντοποίησης του εδάφους στα πλαίσια της εδαφογέννησης (van Paasen 2009; Mujah et al. 2016).

Ως μέθοδος βελτίωσης, η βιο-τσιμεντοποίηση μπορεί να πραγματοποιηθεί τεχνητά μέσω της μεθόδου MICP, γνωστής ως «Microbially Induced Calcite Precipitation», ή «μικροβιακώς επαγόμενη καθίζηση ανθρακικού ασβεστίου», με χρήση ουρεολυτικών βακτηρίων. Η μέθοδος αυτή οδηγεί σε ραγδαία επιτάχυνση της ανωτέρω χρονοβόρας φυσικής διαδικασίας τσιμεντοποίησης. Συγκεκριμένα, η MICP πραγματοποιείται είτε με βιο-ανάπτυξη (bio-augmentation), είτε με βιο-διέγερση (bio-stimulation) κατάλληλων στελεχών βακτηρίων με έντονη ουρεολυτική δράση, για την επίτευξη καθίζησης CaCO_3 στο υπό βελτίωση έδαφος (DeJong et al. 2013). Η βιο-ανάπτυξη περιλαμβάνει την καλλιέργεια μικροβίων *ex-situ*, και στη συνέχεια την τοποθέτηση αυτών στο υπό βελτίωση έδαφος. Με την βιο-διέγερση, προκαλείται αύξηση της δραστηριότητας των ήδη υπαρχόντων ουρεολυτικών βακτηρίων στο έδαφος.

Τα ουρεολυτικά βακτήρια που αξιοποιούνται στη μέθοδο MICP έχουν την ικανότητα κατάλυσης της υδρόλυσης της ουρίας και πρόκλησης καθίζησης CaCO_3 (Σχήμα 1). Συγκεκριμένα, είναι γνωστό ότι η υδρόλυση της ουρίας παρουσία κατιόντων ασβεστίου, Ca,

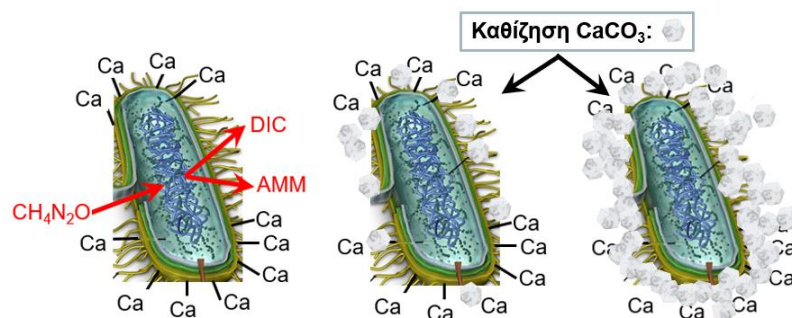
αποτελεί την πιο απλή και ενεργειακά αποδοτική διαδικασία καθίζησης CaCO_3 . Η χημική υδρόλυση της ουρίας είναι μία ιδιαίτερα χρονοβόρα διαδικασία, η οποία όμως μπορεί να επισπευθεί με κατάλυσή της από το υψηλής δραστηριότητας ένζυμο της ουρεάσης (urea amidohydrolase). Το ένζυμο αυτό είναι ένα μεταλλοένζυμο που επιταχύνει τη διαδικασία της υδρόλυσης 10^{14} φορές σε σχέση με τη μη-καταλυόμενη αντίδραση (Estiu & Merz 2004), σύμφωνα με τις ακόλουθες εξισώσεις:



Το βακτήριο *Sporocarcina pasteurii* θεωρείται από τα πλέον κατάλληλα για εφαρμογή στα πλαίσια της βιο-τσιμεντοποίησης (Mitchell & Santamarina 2005). Είναι επίσης γνωστό και με το όνομα *Bacillus pasteurii* (παλαιότερη ονομασία) και βρίσκεται σε αφθονία στα εδάφη. Χαρακτηρίζεται ως μη παθογόνος και μη τροποποιημένος μικροοργανισμός, με υψηλή ουρεολυτική δραστηριότητα (Whiffin 2004).

Η παρουσία του CaCO_3 , ως αποτέλεσμα της MICP, ποικίλλει σε ποσοστά κατά βάρος του ξηρού βελτιωμένου εδάφους, αναλόγως του σκοπού της εφαρμογής. Συνηθέστερα αναφέρονται ποσοστά μεταξύ 0.6 και 25% (Terzis & Laloui 2019).

Η συντριπτική πλειοψηφία των σχετικών μελετών επεδίωξε την εφαρμογή της MICP σε καθαρές άμμους και σε άμμους με παρουσία χαλίκων. Μεταξύ των ελάχιστων προς το παρόν εξαιρέσεων, οι Gomez & DeJong (2017) απέδειξαν την αποτελεσματικότητα της MICP σε άμμους με παρουσία λύος και αργίλου έως και 35%, ενώ οι Chittoori et al. (2020) επιχείρησαν αποτελεσματικά την εφαρμογή της MICP σε διογκούμενες αργίλους.



Σχήμα 1. Διαδικασία καθίζησης ανθρακικού ασβεστίου, CaCO_3 , ως αποτέλεσμα της ουρεολυτικής δράσης βακτηρίων: πρόσληψη ουρίας ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$) από τα βακτηριακά κύτταρα, απελευθέρωση αμμωνίου (AMM) και διαλυμένου ανόργανου άνθρακα (DIC), και καθίζηση CaCO_3 , παρουσία κατιόντων ασβεστίου (Ca) (τροπ. από De Muynck et al. 2010)

3. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΒΙΟ-ΤΣΙΜΕΝΤΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

Σύμφωνα με την υπάρχουσα βιβλιογραφία, τα βιο-τσιμεντοποιημένα εδάφη παρουσιάζουν μεγάλη βελτίωση των μηχανικών τους ιδιοτήτων, μεταξύ των οποίων η αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη, UCS, η συνοχή, c , η γωνία τριβής, ϕ , το μέτρο ελαστικότητας, E και το μέγιστο μέτρο διάτμησης, G_{\max} . Τόσο το πορώδες, όσο και η διαπερατότητα των βιο-τσιμεντοποιημένων εδαφών, παρουσιάζουν εν γένει μείωση σε σύγκριση με τις αρχικές τους τιμές, ωστόσο η μείωση αυτή διαφέρει σημαντικά αναλόγως του επιθυμητού μεγέθους τσιμεντοποίησης (van Paassen 2009). Επιπλέον, έχει παρατηρηθεί αύξηση της θερμικής αγωγιμότητας αμμωδών εδαφών, καθώς και μείωση του δείκτη διόγκωσης αργιλικών διογκούμενων εδαφών, έπειτα από τη βιο-τσιμεντοποίησή τους. Ωστόσο, πολλές έρευνες αναφέρουν προβλήματα έντονης ανισοτροπίας, που

αποδίδεται στην επίτευξη ανομοιομόρφης βελτίωσης των υπό μελέτη εδαφών (Mujah et al. 2016).

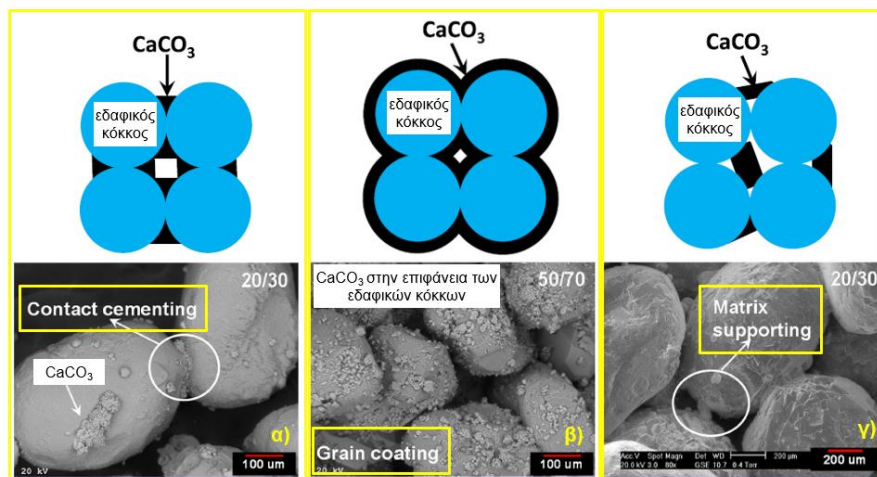
Η παρατήρηση σε μικρο-σκοπικό επίπεδο της δημιουργηθείσας δομής των βιο-τσιμεντοποιημένων εδαφών είναι δυνατόν να εξηγήσει τον τρόπο με τον οποίο η καθίζηση CaCO_3 προκαλεί βελτίωση της μηχανικής συμπεριφοράς των εδαφών σε μακρο-σκοπικό επίπεδο (Terzis & Laloui 2019). Κατά τους Lin et al. (2016), η κατανομή των κρυστάλλων CaCO_3 στο βελτιωμένο αμμώδες έδαφος γίνεται με τρεις διακριτούς τρόπους (Σχήμα 2):

α) με καθίζηση και τσιμεντοποίηση στα σημεία επαφής μεταξύ γειτονικών κόκκων (contact cementing),

β) με κάλυψη των εδαφικών κόκκων και των κενών μεταξύ τους (grain coating), και

γ) με τη δημιουργία «γεφυρών» μεταξύ κόκκων που δεν εφάπτονται μεταξύ τους και ως εκ τούτου την υποστήριξη του εδαφικού σκελετού (matrix supporting).

Οι DeJong et al. (2013) παρατήρησαν ότι οι κρύσταλλοι που καθιζάνουν στην επιφάνεια των κόκκων άμμου λειτουργούν ως ασθενείς συγκολλητικοί δεσμοί, ενώ αντιθέτως οι κρύσταλλοι που καθιζάνουν στα σημεία επαφής μεταξύ γειτονικών κόκκων είναι αυτοί που συνεισφέρουν σημαντικά στην αύξηση της αντοχής των εδαφών. Ομοίως, ο Li (2015) παρατήρησε ότι η προσθήκη κατιόντων Ca κατά την εφαρμογή της MICP σε αργιλικό έδαφος (μπεντονίτη) προκαλεί αναδιάταξη των πλακοειδών τεμαχιδίων μπεντονίτη από ένα τυχαίο σε ένα αυστηρά προσανατολισμένο επίπεδο, επιπλέον προκαλείται μείωση του προσροφημένου νερού από την επιφάνεια των αργιλικών πλακιδίων, καθώς και μείωση του πάχους της διάχυτης ιονικής διπλής στοιβάδας. Κατά συνέπεια, το νερό που απελευθερώνεται ρέει ελεύθερα στους πόρους του εδάφους και ευνοείται η ανάπτυξη συσσωματωμάτων στη δομή της αργίλου.



Σχήμα 2. Απεικόνιση και εικόνες SEM των μηχανισμών κατανομής του CaCO_3 στο σκελετό βιο-τσιμεντοποιημένων εδαφών: α) τσιμεντοποίηση στα σημεία επαφής μεταξύ των κόκκων, β) κάλυψη των κόκκων και μέρους ή του συνόλου του πορώδους και γ) υποστήριξη του εδαφικού σκελετού με δημιουργία «γεφυρών» μεταξύ των κόκκων (τροπ. από Lin et al. 2016)

4. ΠΕΔΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΒΙΟ-ΤΣΙΜΕΝΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

Η βιο-τσιμεντοποίηση βρίσκει εφαρμογές σε ποικίλα προβλήματα σχετιζόμενα με τη συμπεριφορά των εδαφών. Από μηχανικής άποψης, η αύξηση της αντοχής των βιο-τσιμεντοποιημένων εδαφών επιτρέπει την εφαρμογή της μεθόδου ως τεχνική βελτίωσης της μηχανικής συμπεριφοράς προβληματικών εδαφών κατά τον σχεδιασμό και την

κατασκευή τεχνικών έργων (Duraisamy και Airey 2019), κατά την αντιμετώπιση γεωτεχνικών προβλημάτων, μεταξύ των οποίων οι διαφορικές καθιζήσεις, οι κατολισθήσεις και το φαινόμενο της ρευστοποίησης (Βράννα 2016), καθώς και κατά τη συμπύκνωση εδαφών για την αποφυγή διάβρωσης ή για καλλιεργητικούς σκοπούς. Από φυσικής άποψης, τα χαρακτηριστικά διαπερατότητας των βιο-τσιμεντοποιημένων εδαφών μπορούν να αξιοποιηθούν σε μία ευρεία γκάμα εφαρμογών, μεταξύ των οποίων σε προβλήματα περιβαλλοντικής διαχείρισης και αποκατάστασης εδαφών, καθώς και σε γεωργικές εφαρμογές σχετιζόμενες με τη στράγγιση και τη μεταβολή του πορώδους καλλιεργήσιμων εδαφών. Ακολουθεί μία σύντομη παρουσίαση των σημαντικότερων πεδίων εφαρμογής της βιο-τσιμεντοποίησης, με γεωπονικό ενδιαφέρον.

Βελτίωση της αντοχής εδαφών

Η συντριπτική πλειοψηφία των μελετών εφαρμογής της MICP στη διεθνή βιβλιογραφία έχει σκοπό τη βελτίωση της αντοχής των εδαφών, ώστε να είναι δυνατή η παραλαβή μεγαλύτερων φορτίων από υπάρχουσες ή υπό κατασκευή ανωδομές, να αποφευχθεί ο κίνδυνος αστοχίας γεω-κατασκευών και να είναι μικρότερες οι επιπτώσεις της συμπύκνωσης των γεωργικών εδαφών από την κυκλοφορία των καλλιεργητικών οχημάτων. Οι Xiao et al. (2019) αναφέρουν ότι η βιο-τσιμεντοποίηση αμμώδων εδαφών προκαλεί μεγαλύτερη βελτίωση της αντοχής τους, σε σύγκριση με τη συμπύκνωσή τους.

Οι εργαστηριακές δοκιμές που έχουν πραγματοποιηθεί για τους παραπάνω σκοπούς, περιλαμβάνουν πρωτίστως δοκιμές αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη (Gomez & DeJong 2017), καθώς αποτελούν την πλέον γρήγορη, απλή και οικονομική δοκιμή για την εκτίμηση της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής συνεκτικών εδαφών. Οι τιμές αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη, UCS στη βιβλιογραφία ποικίλουν σημαντικά, αναλόγως του τύπου των μελετηθέντων εδαφών, της διαδικασίας εφαρμογής της βιο-τσιμεντοποίησης και της ζητούμενης παραγωγής CaCO_3 . Η Whiffin (2004) αναφέρει χαρακτηριστικά ένα εύρος τιμών UCS μεταξύ 15kPa και 35MPa, το οποίο προκύπτει από διαφορετικές διαδικασίες εφαρμογής της MICP.

Σταθεροποίηση πρανών και προβληματικών εδαφών

Η σταθεροποίηση πρανών αποσκοπεί στην αποτροπή της ολίσθησης ή αποκόλλησης μέρους πρανών, όταν οι δυνάμεις αστάθειας υπερβούν τις δυνάμεις ευστάθειας. Η σταθεροποίηση πρανών εξασφαλίζει την απομείωση του κινδύνου επιφανειακής διάβρωσης. Μία από τις ελάχιστες προς το παρόν προσπάθειες βιο-τσιμεντοποίησης στο πεδίο πραγματοποιήθηκε επιτυχώς από τους DeJong et al. (2013), με σκοπό τη σταθεροποίηση χαλαρής αμμώδους στρώσης για την τοποθέτηση αγωγού αερίου μέσα σ' αυτή.

Εκτός των πρανών, η σταθεροποίηση αναφέρεται και στην περίπτωση εδαφών που υφίστανται μεγάλες παραμορφώσεις εξαιτίας μεταβολών της υγρασίας τους. Σε αυτή την κατηγορία εδαφών ανήκουν τα διογκούμενα εδάφη. Πρόκειται για εδάφη με μεγάλο ποσοστό ιλύος και αργίλου και υψηλές τιμές πλαστικότητας, τα οποία περιέχουν διογκούμενα αργιλικά ορυκτά, όπως μοντομοριλλονίτη. Οι μεταβολές της υγρασίας στα εν λόγω εδάφη προκαλούν σημαντικές μεταβολές του όγκου τους, οδηγώντας συχνά σε γεωτεχνικές αστοχίες, σε διαμερισμό της αργίλου και απώλεια της σταθερότητας της δομής. Οι Chittoori et al. (2020) πρότειναν τη βιο-τσιμεντοποίηση διογκούμενης αργίλου υψηλής πλαστικότητας, με εφαρμογή της MICP. Η συγκεκριμένη έρευνα αποτελεί μία από τις ελάχιστες περιπτώσεις εφαρμογής βιο-τσιμεντοποίησης σε αργίλους, και μάλιστα στο πεδίο. Προέκυψε μείωση του δείκτη διόγκωσης, FSI, της αργίλου, από 114% σε μόλις 29%.

Βιο-αποκατάσταση ρυπασμένων εδαφών

Η βιο-τσιμεντοποίηση μπορεί επίσης να εφαρμοστεί με σκοπό την απομείωση της βιο-διαθεσιμότητας μετάλλων σε ένα ρυπασμένο έδαφος. Η αυξανόμενη παρουσία τοξικών ουσιών (βαρέων μετάλλων και μεταλλοειδών) και ραδιο-νουκλιδίων στο έδαφος αποτελεί ένα διεθνές πρόβλημα, με μεγάλο αντίκτυπο στην καλλιέργεια των εδαφών, την οικονομία και την υγεία των ανθρώπων. Οι Kumari et al. (2016) αναφέρουν ότι η διαδικασία της MICP μπορεί να προκαλέσει ακινητοποίηση των βαρέων μετάλλων που υπάρχουν στο έδαφος, με πρόκληση άμεσης καθίζησής τους σε μία αδιάλυτη μορφή ανθρακικών μετάλλων, ή με αντικατάστασή τους στη θέση του Ca, που χρησιμοποιείται στην τυπική διαδικασία MICP, κατά την καθίζηση CaCO₃. Η αποτελεσματικότητα ορισμένων στελεχών ουρεολυτικών βακτηρίων στη βιο-απομάκρυνση μετάλλων από το έδαφος αγγίζει το 100% (Kumari et al. 2016; Torres-Aravena et al. 2018), Πίνακας 1.

Πίνακας 1. Η αποτελεσματικότητα ορισμένων στελεχών ουρεολυτικών βακτηρίων στην απομάκρυνση βαρέων μετάλλων από υδατικό διάλυμα κατά την εφαρμογή της MICP

Μέταλλο	Στέλεχος βακτηρίων	Αποτελεσματικότητα %
Αρσενικό, As	Sporosarcina pasteurii	99.5
Κάδμιο, Cd	Lysinibacillus sphaericus	99.95
	Sporosarcina koreensis (UR47)	100
Μόλυβδος, Pb	Sporosarcina pasteurii	100
	Sporosarcina globispora (UR53)	100
Νικέλιο, Ni	Sporosarcina pasteurii	90
	Bacillus lentus (UR41)	89.5
Χαλκός, Cu	Sporosarcina pasteurii	90.5
	Kocuria flava	96
Χρώμιο, Cr	Bacillus sp.	>68
	Penicillium chrysogenum CS1	>39.4
Ψευδάργυρος, Zn	Sporosarcina pasteurii	>95.5
	Terrabacter tumescens	97

Περιορισμός εδαφικής διάβρωσης και διάχυσης σκόνης

Η παρατηρηθείσα αυξημένη συνοχή και διατμητική αντοχή των βιο-τσιμεντοποιημένων εδαφών, καθώς και η απομείωση της διαπερατότητάς τους, υποδεικνύουν την αποτελεσματικότητα εφαρμογής της μεθόδου για προστασία από τη διάβρωση και τη διάχυση σκόνης (dust abatement), καθώς και για επανακαλλιέργεια (re-vegetation) εδαφών. Μία από τις πρώτες τέτοιες μελέτες ήταν αυτή των Gomez et al. (2015), στην οποία διερευνήθηκε η αποτελεσματικότητα της βιο-τσιμεντοποίησης στην προστασία χαλαρών επιφανειακών αμμωδών εδαφών από τη διάβρωση και τη διάχυση σκόνης, με σκοπό την επανακαλλιέργειά τους. Η εφαρμογή της δοκιμής πεδίου οδήγησε στη δημιουργία μίας σκληρής επιφανειακής κρούστας πάχους 2.5 cm, η οποία παρουσίαζε αυξημένη αντίσταση στη διάβρωση με νερό. Οι Imran et al. (2019) παρατήρησαν ότι η βιο-τσιμεντοποίηση προσφέρει προστασία από την παράκτια διάβρωση, η οποία αποδίδεται στις αυξημένες τιμές UCS των μελετηθέντων βιο-τσιμεντοποιημένων άμμων. Ομοίως, οι Do et al. (2019) αναφέρουν βελτίωση της αντίστασης σε αιολική διάβρωση με τη βιο-τσιμεντοποίηση άμμων.

Βιο-απόφραξη και στεγανοποίηση

Σύμφωνα με τους Mujah et al. (2016), με την τεχνική MICP είναι δυνατή είτε η διατήρηση της αρχικής διαπερατότητας, ή η απόφραξη των πόρων του εδάφους και η σημαντική απομείωση της διαπερατότητάς του. Στην πρώτη περίπτωση, η καθίζηση του CaCO_3 δεν λαμβάνει χώρα στο σύνολο του εδαφικού πορώδους, παρά μόνον στα σημεία επαφής των εδαφικών κόκκων. Αυτή η ιδιότητα της βιο-τσιμεντοποίησης βρίσκει εφαρμογές στην περίπτωση όπου είναι επιθυμητή η αύξηση της αντοχής του εδάφους, όχι όμως η μεταβολή της διαπερατότητάς του. Χαρακτηριστικά αναφέρεται η περίπτωση της βελτίωσης ρευστοποιήσιμων εδαφών, όπου είναι επιθυμητή η εκτόνωση των υδατικών υπερπιέσεων του νερού των πόρων, και της διαχείρισης προβληματικών αγροτικών εδαφών, για τα οποία ζητείται η αύξηση της σταθερότητάς τους, η επαρκής στράγγιση και ο αερισμός τους.

Η βιο-τσιμεντοποίηση μπορεί να εφαρμοστεί όμως και με τρόπο που να οδηγήσει σε σημαντική μείωση της διαπερατότητας του βελτιωμένου εδάφους. Συγκεκριμένα, εφόσον το έδαφος είναι κορεσμένο, οι κρύσταλλοι CaCO_3 μπορούν να γεμίσουν σχεδόν το σύνολο των εδαφικών πόρων, με αποτέλεσμα την απόφραξή τους και τη μειωμένη διαπερατότητα του εδάφους. Ως εκ τούτου, αναλόγως του επιθυμητού αποτελέσματος, η απομείωση της διαπερατότητας και του πορώδους των βιο-τσιμεντοποιημένων εδαφών ποικίλλει και μπορεί να φτάσει έως και 99% (Ivanov et al. 2010), λειτουργώντας όπως η τεχνική της βιο-απόφραξης. Η ιδιότητα αυτή των βιο-τσιμεντοποιημένων εδαφών βρίσκει εφαρμογές στον περιορισμό της διαρροής υγρών αποβλήτων και επικίνδυνων υδαρών ουσιών, στη στεγανοποίηση εδαφικών στρώσεων για γεωτεχνικούς ή καλλιεργητικούς σκοπούς και την προστασία από την εσωτερική διάβρωση (Ivanov & Chu 2008).

Περιβαλλοντική διαχείριση αγροτικών αποβλήτων

Αντί της αξιοποίησης ουρεολυτικών βακτηρίων στα πλαίσια της MICP, είναι δυνατή η χρήση ορισμένων φυτικών εκχυλισμάτων που είναι πλούσια σε ουρεάση. Η εφαρμογή βιο-τσιμεντοποίησης με χρήση τέτοιων ουρεολυτικών φυτικών εκχυλισμάτων είναι γνωστή ως «Plant Derived Urease-Induced Calcium Carbonate Precipitation», PDUICCP, ή «ουρεολυτική επαγόμενη καθίζηση ανθρακικού ασβεστίου προκαλούμενη από φυτά». Η μέθοδος αυτή μπορεί να αποτελέσει μία ακόμη λύση στη διαχείριση των οργανικών ή και γεωργικών αποβλήτων (Ran et al. 2018). Μελέτη των Roslan et al. (2018) έδειξε ότι η διήθηση στο υπό βελτίωση έδαφος φυτικών εκχυλισμάτων πλούσιων σε ουρεάση οδηγεί σε σημαντική αύξηση της αντοχής του εδάφους. Τα εκχυλίσματα που διερευνήθηκαν προήλθαν από συνήθη οργανικά απόβλητα καλλιεργούμενων βρώσιμων φυτών, όπως σπανάκι, αγγούρι, λάχανο και μακρύ κινέζικο φασολάκι.

5. ΣΥΝΟΨΗ

Η παρατηρηθείσα βελτιωμένη μηχανική συμπεριφορά των βιο-τσιμεντοποιημένων εδαφών, καθώς και η αλλαγή στη δομή τους, αποδίδεται στη δημιουργία φυσικών δεσμών τσιμεντοποίησης στην επιφάνεια των εδαφικών κόκκων και στο εσωτερικό των πόρων του εδάφους, ως αποτέλεσμα βιο-γεωχημικών δραστηριοτήτων που λαμβάνουν χώρα σε αυτό. Η βιο-τσιμεντοποίηση αποτελεί μία πολλά υποσχόμενη «πράσινη» μέθοδο βελτίωσης εδαφών, που μπορεί να αξιοποιηθεί σε μία πληθώρα εφαρμογών μηχανικού και γεωπονικού ενδιαφέροντος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Chittoori, B CS, Pathak, A, Burbank, M, Islam, T. 2020. Application of bio-stimulated calcite precipitation to stabilize expansive soils: field trials, Proc. *Geo-Congress*, ASCE, Minneapolis, Minnesota.
- DeJong, J, Soga, K, Kavazanjian, E. 2013. Biogeochemical processes and geotechnical applications: progress, opportunities, and challenges, *Géotechnique* **63**(4): 287-301.
- Do, J, Montoya, B, Gabr, M. 2019. Debonding of microbially induced carbonate precipitation stabilized sand by shearing and erosion, *Geomechanics and Engineering* **17**(5): 429-438.
- Duraisamy, Y, Airey, D. 2019. Geomechanical Behavior of Bio-Cemented Sand for Foundation Works, Chapter in *Sandy Materials in Civil Engineering - Usage and Management*.
- Estiu, G, Merz, KM. 2004. The hydrolysis of urea and the proficiency of urease, *J. Am. Chem. Soc.* **126**(22): 6932-6944.
- Gomez, MG, Martinez, BC, DeJong, JT, Hunt, CE, deVlaming, LA, Major, DW, Dworatzek, SM. 2015. Field-scale bio-cementation tests to improve sands, *Ground Improvement*: 1300052.
- Gomez, MG, DeJong, JT. 2017. Engineering properties of bio-cementation improved sandy soils, *Grouting ASCE GSP* 288: 23-33.
- Imran, MA, Kimura, S, Nakashima, K, Evelpidou, N, Kawasaki, S. 2019. Feasibility Study of Native Ureolytic Bacteria for Biocementation Towards Coastal Erosion Protection by MICP Method, *Appl. Sci.* **9**: 4462.
- Ivanov, V, Chu, J. 2008. Applications of microorganisms to geotechnical engineering for bioclogging and biocementation of soil in situ, *Rev. Envir. Sc. & Biotechn.* **7**(2): 139-153.
- Ivanov, V, Chu, J, Stabnikov, V, He, J, Naeimi, M. 2010. Iron-based bio-grout for soil improvement and land reclamation. Proc. *2nd IC Sustainable Construction Materials and Technologies*, Italy: 415-420.
- Kumari, D, Qian, X-Y, Pan, X, Achal, V, Li, Q, Gadd, GM. 2016. Microbially-induced Carbonate Precipitation for Immobilization of Toxic Metals, Chapter 2 in *Advances in Applied Microbiology* **94**: 79-108.
- Li, B. 2015. *Geotechnical properties of biocement treated sand and clay*, PhD Dissertation, Nanyang Technological University, Singapore
- Lin, H, Suleiman, M, Brown, D, Kavazanjian, Jr. 2016. Mechanical behavior of sands treated by microbially induced carbonate precipitation, *J. Geot. Geoenv. Eng.* **142**(2): 04015066.
- Mitchell, J, Santamarina, J. 2005. Biological considerations in geotechnical engineering, *J. Geot. Geoenv. Eng.* **131**(10): 1222-1233.
- Mujah, D, Shahin, MA, Cheng, L. 2016. State-of-the-art review of biocementation by microbially induced calcite precipitation (MICP) for soil stabilization, *Geomicrobiology J.* **34**(6): 524-537.
- Ran, D, Nakashima, K, Kawasaki, S. 2018. Soil improvement using plant-derived urease-induced calcium carbonate precipitation, *Soils and Foundations* **58**: 894-910.
- Roslan, R, Tahan, H, Omar, RC, Baharouddin, INC. 2018. Vege-grout: a potential bio-grout material from vegetable waste for bio-cementation, Proc. *The 2018 World Congress on Advances in Civil, Environmental, & Materials Research (ACEM18)*. Songdo Convensia, Incheon, Korea, 27-31 Aug
- Terzis, D, Laloui, L. 2019. A decade of progress and turning points in the understanding of bio-improved soils: A review. *Geomech. Energy & Envir.*
- Torres-Aravena, AE, Duarte-Nass, C, Azocar, L, Mella-Herrera, R, Rivas, M, Jeison, D. 2016. Can microbially induced calcite precipitation (MICP) through a ureolytic pathway be successfully applied for removing heavy metals from wastewaters?, *Crystals* **8**(11): 438.

- van Paassen, L. 2009. *Biogrout-ground improvement by microbially induced carbonate precipitation*, PhD Dissertation, Delft University of Technology, Holland
- Whiffin, VS. 2004. *Microbial CaCO₃ precipitation for the production of biocement*, PhD Dissertation, Murdoch University, Perth, Western Australia
- Xiao, P, Liu, H, Xiao, Y, Stuedlein, AW, Evans, TM. 2019. Liquefaction resistance of bio-cemented calcareous sand, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* **107**: 9-19.
- Βράννα, Α. 2016. *Εργαστηριακή μελέτη της μονοτονικής και ανακυκλικής συμπεριφοράς βελτιωμένων ρευστοποιήσιμων εδαφών*, Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολ. Μηχ. ΑΠΘ.

Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΥΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ ΣΤΟΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ 1:5 ($EC_{1:5}$) ΣΕ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΠΑΣΤΑΣ ΚΟΡΕΣΜΟΥ (EC_e)

Γ. Κάργας, Β. Κακαλή, Φ. Κούνγκουλλι, Σ. Θάνος, Χ. Κατσαούνης, Π. Λόντρα, Κ. Σωτηράκογλου

Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ιερά Οδός 75, 11855, Αθήνα, Ελλάδα, e-mail: kargas@aua.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Για την εκτίμηση της εδαφικής αλατότητας χρησιμοποιείται η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εκχυλίσματος της πάστας κορεσμού (EC_e). Η μέθοδος αυτή είναι χρονοβόρα και επίπονη και γι' αυτό συνήθως χρησιμοποιούνται πιο εύκολες μέθοδοι με διάφορες αναλογίες εδάφους/νερού, όπως η 1:5 ($EC_{1:5}$), από τις οποίες γίνεται εκτίμηση της EC_e . Ο συντελεστής μετατροπής (CF) επηρεάζεται από τα ειδικά χαρακτηριστικά του εδάφους, όπως η μηχανική σύστασή του. Αντικείμενο της εργασίας είναι η διερεύνηση μοντέλων τα οποία επιτρέπουν να ενσωματώνεται η μηχανική σύσταση στον υπολογισμό του CF, ώστε να βελτιώνεται η πρόβλεψη της EC_e . Συλλέχθηκαν 148 εδαφικά δείγματα, τα οποία περιλαμβάνουν διαφορετικούς τύπους εδαφών και στα οποία προσδιορίστηκαν οι EC_e , $EC_{1:5}$ και οι περιεκτικότητες σε άργιλο και άμμο. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η τιμή του CF μπορεί να υπολογιστεί από μια εξίσωση στην οποία ενσωματώνονται οι περιεκτικότητες του εδάφους σε άργιλο και άμμο και μπορεί να δώσει αρκετά καλή πρόβλεψη της EC_e από την $EC_{1:5}$.

Λέξεις Κλειδιά: Αλατότητα, ηλεκτρική αγωγιμότητα, εκχύλισμα πάστας κορεσμού, άργιλος, άμμος

THE EFFECT OF SOIL TEXTURE ON THE CONVERSION FACTOR OF ELECTRICAL CONDUCTIVITY 1:5 ($EC_{1:5}$) TO SATURATED PASTE EXTRACT ELECTRICAL CONDUCTIVITY (EC_e)

G. Kargas, V. Kakali, F. Koungoulli, S. Thanos, Ch. Katsaounis, P. Londra, K. Sotirakoglou, Laboratory of Agricultural Hydraulics, Department of Natural Resources Management & Agricultural Engineering Agricultural, Agricultural University of Athens, Iera Odos 75, 11855, Athens, Greece e-mail: kargas@aua.gr

Abstract

The electrical conductivity of saturated paste extract (EC_e) is used to estimate the soil salinity. This method is time consuming and laborious and therefore easier methods are usually used with different soil/water ratios, such as 1:5 ($EC_{1:5}$), from which the EC_e is estimated. The conversion factor (CF) is influenced mainly by soil texture. The objective of this study is to investigate models that incorporate the soil texture in the CF calculation to improve the EC_e prediction. 148 soil samples with various soil textures were collected and their clay and sand contents, as well as EC_e and $EC_{1:5}$ were determined. The results showed that the CF value can be calculated from an equation which incorporates soil clay and sand contents giving a good prediction of EC_e from $EC_{1:5}$.

Keywords: Salinity, electrical conductivity, saturated paste extract, clay, sand

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αλατότητα των εδαφών, ειδικά στις ξηρές και ημίξηρες περιοχές, αποτελεί πλέον έναν από τους σημαντικότερους περιοριστικούς παράγοντες της παραγωγής τροφίμων. Υπολογίζεται ότι παγκοσμίως περίπου 20% των καλλιεργουμένων και 30% των αρδευομένων εκτάσεων υφίσταται τις αρνητικές επιδράσεις της αλατότητας (Singh, 2015; Nachshon, 2018). Η ένταση του προβλήματος γίνεται ακόμα μεγαλύτερη σήμερα με την αύξηση των αρδευομένων εκτάσεων και την επακόλουθη αύξηση των αντλούμενων ποσοτήτων αρδευτικού νερού, ειδικά στις παραθαλάσσιες περιοχές, το οποίο προοδευτικά γίνεται υποβαθμισμένης ποιότητας νερό λόγω εισόδου της θάλασσας στους υπόγειους υδροφόρους. Επομένως, η παρακολούθηση και η αξιολόγηση του προβλήματος της εδαφικής αλατότητας είναι ζωτικής σημασίας για τη ορθή διαχείριση των υποβαθμισμένων εδαφών και για την βιώσιμη παραγωγή τροφίμων.

Συμβατικά, η εκτίμηση της εδαφικής αλατότητας γίνεται από τη μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εκχυλίσματος της πάστας κορεσμού (EC_e) (USDA, 1954). Αλατούχα θεωρούνται τα εδάφη στα οποία το εκχύλισμα της πάστας κορεσμού εμφανίζει τιμές πάνω από 4 dSm^{-1} . Όπως θα αναφερθεί και παρακάτω εκτενέστερα, η διαμόρφωση της πάστας στην τελική της μορφή, καθώς και η απόκτηση του εκχυλίσματος, είναι χρονοβόρες και επίπονες διαδικασίες, ειδικά όταν υπάρχει μεγάλος αριθμός δειγμάτων, αλλά και όταν τα εδάφη είναι αργιλώδη, καθώς μόνο η απόκτηση του εκχυλίσματος της πάστας μέσω της μύζησης διαρκεί συνήθως περισσότερο από 4 ώρες.

Καθώς αυτή η μέθοδος αποδεικνύεται επίπονη και χρονοβόρα, πολλοί ερευνητές αναζητούν ευκολότερους τρόπους εκτίμησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εκχυλίσματος της πάστας κορεσμού από την ηλεκτρική αγωγιμότητα του εκχυλίσματος της ανάμειξης εδάφους και νερού σε διάφορες αναλογίες κατά βάρος.

Οι πιο συνηθισμένες μέθοδοι είναι η αναλογία εδάφους-νερού 1:1 ($EC_{1:1}$) και η 1:5 ($EC_{1:5}$). Η μέθοδος 1:5 εφαρμόζεται κυρίως στην Αυστραλία και την Κίνα, ενώ η μέθοδος 1:1 στις ΗΠΑ (Rayment and Lyons, 2011; Wang et al., 2011; He et al., 2012). Πολλοί ερευνητές έχουν προτείνει γραμμικές εξισώσεις συσχέτισης της EC των διάφορων αναλογιών με την μέθοδο EC_e (Sonmez et al., 2008; Chi and Wang, 2010; Khorsandi and Yazdi, 2011; He et al., 2012; Aboukila and Abdelaty, 2017; Aboukila and Norton, 2017; Kargas et al., 2018; 2020). Η ύπαρξη διαφορετικών συντελεστών στις προτεινόμενες γραμμικές σχέσεις μεταξύ των μεθόδων EC_e και $EC_{1:5}$ στις διάφορες περιοχές έχει αποδοθεί σε πολλούς παράγοντες. Μεταξύ αυτών συνήθως αναφέρονται η μηχανική σύσταση των εδαφών, η περιεκτικότητα σε γύψο του εδάφους, το είδος των ιόντων του εδαφικού διαλύματος, καθώς και στις μεθόδους μέτρησης της $EC_{1:5}$. Έχει τεκμηριωθεί ότι τα χονδρόκοκα εδάφη παρουσιάζουν μεγαλύτερη τιμή της κλίσης της γραμμικής σχέσης συγκριτικά με τα λεπτόκοκα εδάφη (Sonmez et al., 2008; Kargas et al., 2018). Επίσης, η παρουσία γύψου στο έδαφος επηρεάζει τους συντελεστές της γραμμικής σχέσης, αφού η αυξανόμενη αραίωση με την εφαρμογή της μεθόδου 1:5 από την μία οδηγεί σε μείωση της συγκέντρωσης ορισμένων ιόντων, ενώ από την άλλη οδηγεί σε αύξηση ορισμένων άλλων.

Ένα τόσο ευρύ φάσμα τιμών του συντελεστή μετατροπής (CF) της $EC_{1:5}$ σε τιμές EC_e που έχει δοθεί από τους προαναφερθέντες ερευνητές, υποδηλώνει ότι δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί η τιμή του συντελεστή μετατροπής που προέκυψε από τα δεδομένα μιας περιοχής σε άλλη περιοχή. Είναι σημαντικό να αναπτυχθούν νέες προσεγγίσεις και μοντέλα τα οποία να παρέχουν τη δυνατότητα ποσοτικής ενσωμάτωσης των παραγόντων κάθε συγκεκριμένης περιοχής που επηρεάζουν τον συντελεστή μετατροπής. Ένας τέτοιος παράγοντας, όπως προαναφέρθηκε, είναι και η μηχανική σύσταση των εδαφών.

Οι Slavich and Petterson (1993) και οι Gharaibeh et al. (2021) παρουσίασαν εμπειρικές σχέσεις μεταξύ του συντελεστή μετατροπής και του ποσοστού κορεσμού (SP) (saturation percentage) των εδαφών. Η σχέση μεταξύ των δύο μεγεθών είναι αντιστρόφως ανάλογη και έχει την μορφή

$$CF = m + \frac{k}{SP} \quad (1)$$

όπου οι συντελεστές m και k είναι παράμετροι προσαρμογής.

Οι τιμές των παραμέτρων που παρουσίασαν αντίστοιχα είναι $m=2.46$ και 1.054 και $k=303$ και 283.4 για εδάφη της Αυστραλίας και της Ιορδανίας.

Όμως το ποσοστό κορεσμού SP των εδαφών είναι ένας δείκτης της μηχανικής σύστασης των εδαφών, η οποία όπως προαναφέρθηκε επηρεάζει την τιμή του CF. Έτσι οι Slavich and Petterson (1993) παρουσίασαν μια μέση τιμή του CF για κάθε κατηγορία εδαφών, ενώ οι Gharaibeh et al. (2021) παρουσίασαν μια σχέση μεταξύ του SP και της περιεκτικότητας των εδαφών σε άργιλο και άμμο χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης

$$SP\% = 43.83 + 0.313clay\% - 0.303sand\% \quad (2)$$

Με τον τρόπο αυτό ενσωματώνεται η μηχανική σύσταση των εδαφών στον υπολογισμό του CF με αποτέλεσμα να είναι δυνατόν να βελτιωθεί η ικανότητα πρόβλεψης της EC_e από την $EC_{1:5}$ σε κάθε συγκεκριμένη περίπτωση εδαφών. Έτσι μπορεί να ξεπεραστεί η υπεραπλούστευση, η οποία παρατηρείται όταν παρουσιάζεται ένας γενικός CF για μία περιοχή χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η συγκεκριμένη κατάσταση, με αποτέλεσμα σημαντικά σφάλματα στην πρόβλεψη της EC_e .

Σκοπός της εργασίας είναι η ανάπτυξη μοντέλων πρόβλεψης του συντελεστή μετατροπής CF από την μηχανική σύσταση των εδαφών με σκοπό την πιο αξιόπιστη πρόβλεψη της EC_e από την $EC_{1:5}$ για την περίπτωση των ελληνικών εδαφών. Για τον σκοπό αυτό συλλέχθηκαν 148 εδαφικά δείγματα από 4 περιοχές της χώρας μας και στα οποία μετρήθηκαν η EC_e , $EC_{1:5}$, η μηχανική σύσταση των εδαφών και η περιεκτικότητα σε ανθρακικό ασβέστιο.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Συλλογή και επεξεργασία εδαφικών δειγμάτων

Η συλλογή των δειγμάτων έγινε από τις περιοχές του Δύστου Ευβοίας, των Ιρίων Αργολίδας και της Σκάλας Λακωνίας. Στα Ίρια Αργολίδας πραγματοποιήθηκαν δύο δειγματοληψίες εδαφών, μια στο τέλος της αρδευτικής περιόδου και μία στο τέλος της περιόδου των βροχών. Το βάθος συλλογής των δειγμάτων ήταν από 0-30 cm. Συνολικά συλλέχθηκαν 148 εδαφικά δείγματα.

Με την ολοκλήρωση της δειγματοληψίας, τα δείγματα μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο για αεροξήρανση και κοσκίνισμα με κόσκινο 2 mm.

2.2. Μεθοδολογία απόκτησης εκχυλισμάτων και μετρήσεις

Για τη δημιουργία της πάστας κορεσμού χρησιμοποιήθηκαν 350 g εδάφους. Η πάστα αφέθηκε για 24 ώρες σε ηρεμία. Στη συνέχεια η πάστα τοποθετήθηκε σε χωνί Buchner και με υποπίεση αποκτήθηκε το εκχύλισμα της για τη μέτρηση της EC_e με αγωγιμόμετρο (WTW, Cond 315i) (USDA, 1954).

Για την απόκτηση του εκχυλίσματος στην μέθοδο 1:5 χρησιμοποιήθηκαν 20 g εδάφους και 100 ml απιονισμένου νερού. Το αιώρημα ανακινήθηκε 15 min με μηχανικό αναδευτήρα, στην συνέχεια αφέθηκε σε ηρεμία 1 h και μετά ανακινήθηκε πάλι 5 min (USDA, 1954). Η

απόκτηση του εκχυλίσματος έγινε με εφαρμογή υποπίεσης σε χωνί Buchner και στη συνέχεια μετρήθηκε η $EC_{1:5}$.

2.3. Προσδιορισμός της μηχανικής σύστασης των εδαφών

Η μηχανική σύσταση των εδαφών έγινε με τη μέθοδο Βουγιούκου (Bouyoucos, 1951), ενώ ο προσδιορισμός του ανθρακικού ασβεστίου με την μέθοδο Bernard.

2.4. Στατιστική ανάλυση

Τα δεδομένα των παραμέτρων EC_e , $EC_{1:5}$, SP%, Clay% και Sand% παρουσιάζονται με αριθμητικά περιγραφικά μέτρα (μέση τιμή, τυπική απόκλιση, συντελεστής μεταβλητότητας, τυπικό σφάλμα, ελάχιστη-μέγιστη τιμή, συντελεστές ασυμμετρίας και κύρτωσης). Με το Shapiro-Wilks τεστ, καθώς και με γραφικές μεθόδους (Q-Q plots) φάνηκε ότι οι παράμετροι SP%, Clay% και Sand% ακολουθούν την κανονική κατανομή, ενώ οι EC_e και $EC_{1:5}$ δεν την ακολουθούν.

Επιπλέον, προσδιορίστηκαν οι συντελεστές συσχέτισης κατά Spearman για κάθε ζεύγος των μεταβλητών EC_e , $EC_{1:5}$, SP%, Clay% και Sand%. Οι συντελεστές συσχέτισης κατά Spearman χρησιμοποιούνται όταν οι μεταβλητές δεν ακολουθούν την κανονική κατανομή, παίρνουν τιμές από -1 έως +1 και από την τιμή τους μπορεί να γίνει εκτίμηση για το πόσο ισχυρή είναι η συσχέτιση μεταξύ δύο μεταβλητών.

Στη συνέχεια με την εφαρμογή μοντέλων πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης (MLR) υπολογίστηκε η σχέση μεταξύ της εξαρτημένης μεταβλητής (SP%) και των ανεξάρτητων μεταβλητών (Clay% και Sand%). Για την εκτίμηση της ικανότητας πρόβλεψης του μοντέλου MLR υπολογίστηκε ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 και το μέσο απόλυτο σφάλμα (MAE).

Η στατιστική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με το στατιστικό πακέτο Statgraphics (version 17) και για όλα τα στατιστικά τεστ το επίπεδο σημαντικότητας ορίστηκε στο 5%.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1. Εδαφικές ιδιότητες

Πίνακας 1. Στατιστικά περιγραφικά μέτρα των εδαφικών ιδιοτήτων: ηλεκτρική αγωγιμότητα του εκχυλίσματος της πάστας κορεσμού (EC_e), ηλεκτρική αγωγιμότητα του εκχυλίσματος εδάφους/νερού 1:5 ($EC_{1:5}$), ποσοστό κορεσμού του εδάφους (SP%), περιεκτικότητα του εδάφους σε άργιλο (Clay%) και άμμο (Sand%).

	EC_e	$EC_{1:5}$	SP%	Clay%	Sand%
Μέσος όρος	4.01	0.61	53.98	31.53	36.12
Τυπική απόκλιση	6.01	0.86	9.39	8.79	12.65
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	150.03	141.85	17.41	27.87	35.03
Τυπικό σφάλμα	0.49	0.07	0.77	0.72	1.04
Ελάχιστη τιμή	0.47	0.08	30.0	7.40	3.56
Μέγιστη τιμή	35.80	5.77	76.84	48.50	84.60
Συντελεστής ασυμμετρίας	3.01	3.05	-0.14	-0.11	0.63
Συντελεστής κύρτωσης	10.34	11.19	-0.27	-0.36	1.16

Εκτός από 9 εδαφικά δείγματα τα οποία έχουν τιμές SP% μεταξύ 30-40%, όλα τα υπόλοιπα δείγματα έχουν τιμές SP% μεγαλύτερες από 40% γεγονός το οποίο δείχνει ότι πρόκειται για λεπτόκκοκα εδάφη (Chi and Wang, 2010). Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται τα στατιστικά περιγραφικά μέτρα των εδαφικών ιδιοτήτων των εδαφικών δειγμάτων που

μελετήθηκαν. Από τον Πίνακα 1 φαίνεται ότι ο μέσος όρος των τιμών της EC_e είναι 4.01 dSm^{-1} , ωστόσο τα 115 από τα 148 δείγματα έχουν τιμές EC_e μικρότερες από 4 dSm^{-1} ενώ τα υπόλοιπα πολύ μεγαλύτερες.

3.2. Συντελεστές συσχέτισης κατά Spearman και πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 2, η EC_e συσχετίζεται ισχυρά με την $EC_{1:5}$ αφού ο συντελεστής συσχέτισης κατά Spearman είναι 0.942 ($P < 0.001$). Επίσης, υπάρχει ισχυρή θετική συσχέτιση μεταξύ του SP% και της περιεκτικότητας σε άργιλο% (0.787, $P < 0.001$) και ισχυρή αρνητική συσχέτιση μεταξύ του SP% και της περιεκτικότητας σε άμμο% (-0.782, $P < 0.001$). Αντίθετα, δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική συσχέτιση μεταξύ της EC_e και του SP% (-0.011, $P > 0.05$), καθώς και της $EC_{1:5}$ και του SP% (0.150, $P > 0.005$).

Πίνακας 2. Οι συντελεστές συσχέτισης κατά Spearman για κάθε ζεύγος των παραμέτρων EC_e , $EC_{1:5}$, SP%, Clay% και Sand%.

	EC_e	$EC_{1:5}$	SP%	Clay%
EC_e				
$EC_{1:5}$	0.942***			
SP%	-0.011	0.150		
Clay%	-0.271**	-0.115	0.787***	
Sand%	-0.054	-0.204*	-0.782***	-0.627***

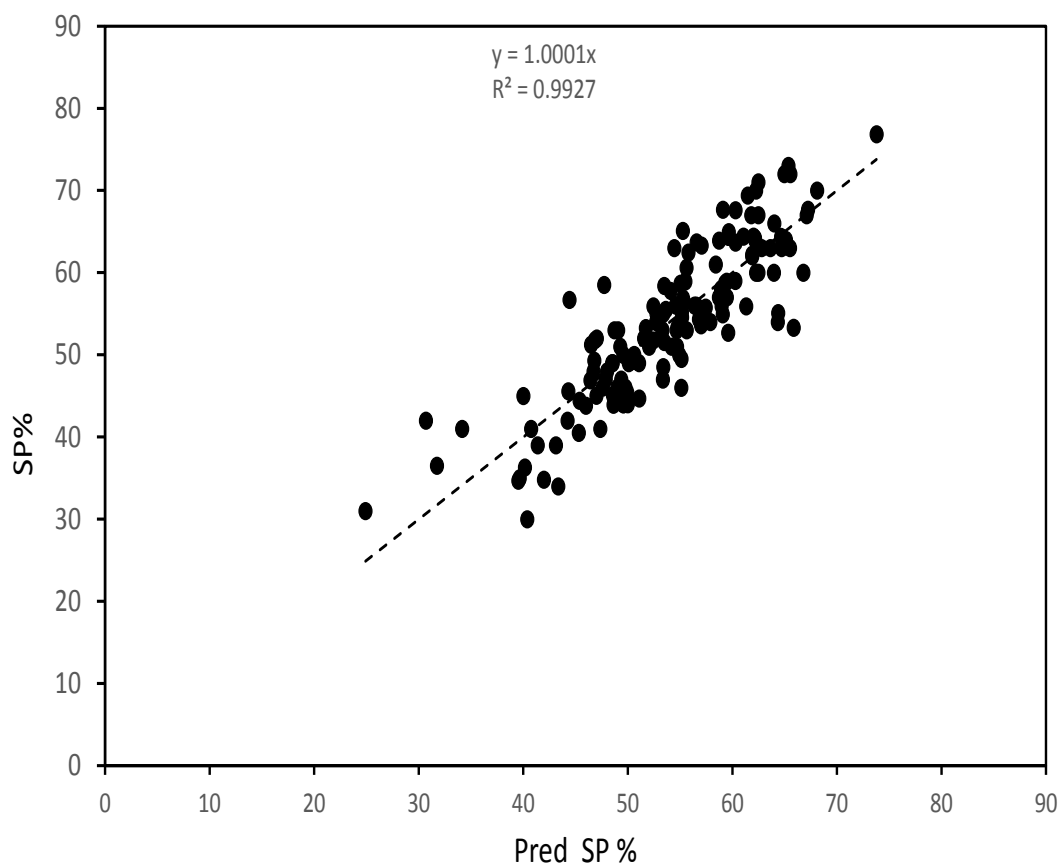
* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$.

Από την εφαρμογή της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης μεταξύ της εξαρτημένης μεταβλητής SP% και των ανεξάρτητων μεταβλητών Clay% και Sand% (περιεκτικότητα σε άργιλο και άμμο) προέκυψε η σχέση:

$$SP\% = 49.699 + 0.524 \text{ Clay}\% - 0.339 \text{ Sand}\% \quad (3)$$

Η τιμή του συντελεστή προσδιορισμού R^2 είναι 0.749, το οποίο σημαίνει ότι η παραλλακτικότητα του SP% εξηγείται από την μηχανική σύσταση κατά 74.9%. Υπάρχει στατιστικά σημαντική σχέση μεταξύ της εξαρτημένης SP% και των δύο ανεξάρτητων μεταβλητών Clay% και Sand% ($P < 0.001$), ενώ το μέσο απόλυτο σφάλμα (MAE) είναι 3.703.

Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται η σχέση μεταξύ του SP% και του προβλεπόμενου SP% από την εξίσωση (3) όπου φαίνεται ότι η εξίσωση προβλέπει πολύ αξιόπιστα την τιμή του SP εφόσον ο συντελεστής της σχέσης είναι 1 και η τιμή του R^2 είναι πολύ υψηλή.



Σχήμα 1. Η σχέση μεταξύ του SP% και του προβλεπόμενου SP% από την εξίσωση (3).

3.3. Πρόβλεψη της EC_e από την $EC_{1:5}$

Από τον συνδυασμό των εξισώσεων (1) και (3), όπου στην εξίσωση (1) χρησιμοποιούνται οι συντελεστές m και k που προτάθηκαν από τους Gharaibeh et al. (2021), δηλ. $m = 1.054$ και $k = 283.4$, μπορεί να γίνει πρόβλεψη της EC_e από τις τιμές της $EC_{1:5}$, εάν το SP% μπορεί να προβλεφθεί από την προσδιορισμένη μηχανική σύσταση των εδαφών. Έτσι η τιμή της EC_e μπορεί να υπολογιστεί από την εξίσωση

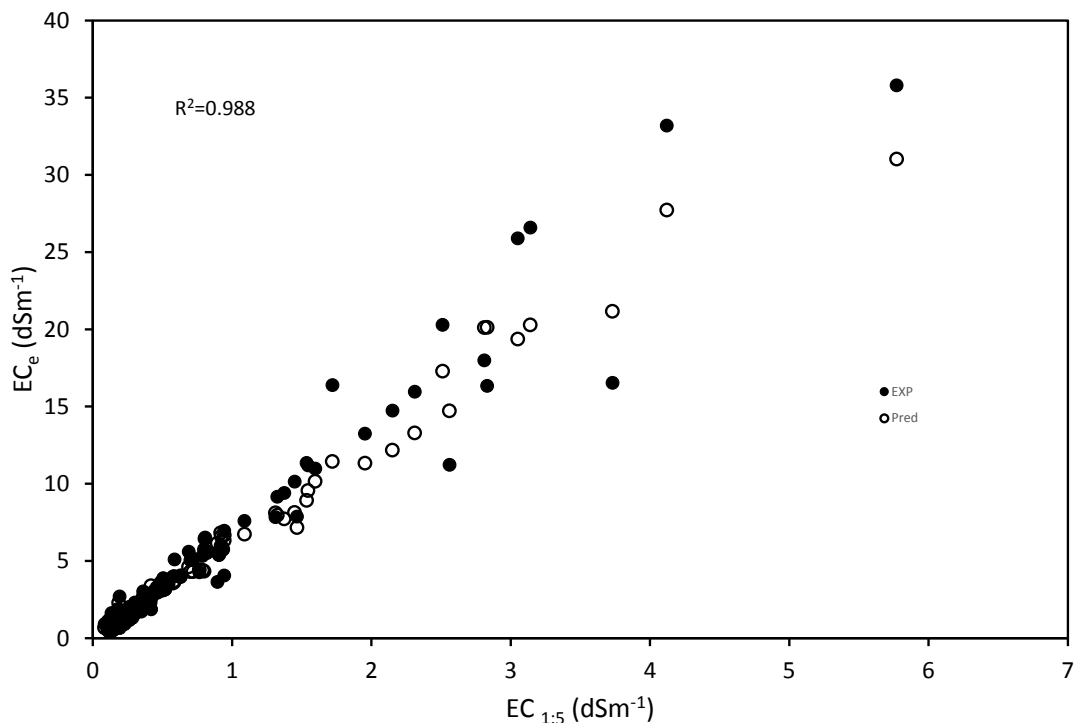
$$EC_e = \left(m + \frac{k}{SP\%} \right) EC_{1:5} = \left(1.054 + \frac{283.4}{49.699 + 0.524 \text{ Clay}\% - 0.339 \text{ Sand}\%} \right) EC_{1:5} \quad (4)$$

Από το Σχήμα 2 φαίνεται ότι από την εξίσωση (4) μπορεί να γίνει αρκετά αξιόπιστη πρόβλεψη της EC_e εάν έχουν μετρηθεί η $EC_{1:5}$ και η μηχανική σύσταση των εδαφών.

Συνεπώς, από τα δεδομένα των εδαφών που εξετάστηκαν φαίνεται ότι η σχέση μεταξύ του CF και του SP που πρότειναν οι Gharaibeh et al. (2021) με την συμπερίληψη της μηχανικής σύστασης και την υποκατάσταση του SP (εξίσωση 3) βελτιώνεται η ικανότητα πρόβλεψης της EC_e για τα εδάφη τα οποία κατατάσσονται στα μέτρια προς λεπτόκκοκα. Για αυτές τις κατηγορίες εδαφών μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ποσοτική σχέση η οποία προέκυψε (εξίσωση 4) μεταξύ του CF και της μηχανικής σύστασης. Συνεπώς, για κάθε τέτοια κατηγορία εδαφών μπορεί να υπολογιστεί η αντίστοιχη τιμή του CF.

Έτσι, μπορεί να ξεπεραστεί η χρήση υπεραπλουστευμένων μοντέλων μετατροπής της $EC_{1:5}$ σε EC_e , τα οποία μπορεί να οδηγήσουν σε σημαντικά σφάλματα πρόβλεψης αν εφαρμοστούν σε άλλη περιοχή με διαφορετική μηχανική σύσταση, διότι η τιμή του CF επηρεάζεται από τη μηχανική σύσταση. Η ανάπτυξη μοντέλων τα οποία χρησιμοποιούν τα ειδικά χαρακτηριστικά ενός εδάφους, όπως τη μηχανική σύσταση, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κάθε περιοχή όταν η μηχανική σύσταση είναι γνωστή. Όμως πρέπει να

επισημανθεί ότι η επίδοση του μοντέλου πιθανότατα να μην είναι τόσο καλή σε ακραίες περιπτώσεις εδαφών, π.χ μεγάλης περιεκτικότητας σε άργιλο, δηλαδή μεγαλύτερης από 50-60% αφού στα εδάφη της συγκεκριμένης εργασίας δεν συμπεριλαμβάνονται τέτοια εδάφη.



Σχήμα 2. Η πειραματική σχέση (EXP) μεταξύ της EC_e και της $EC_{1:5}$ και η προβλεπόμενη (Pred) EC_e από την εξίσωση (4).

Συμπερασματικά, η ακριβέστερη αλλά και γρηγορότερη μέθοδος πρόβλεψης της EC_e μπορεί να βοηθήσει και στην γρηγορότερη βαθμονόμηση μετρήσεων, π.χ. φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας, οι οποίες έχουν ληφθεί από radar ή με ηλεκτρομαγνητική επαγωγή ή διηλεκτρικούς αισθητήρες.

Επίσης, η διαδικασία αυτή μπορεί να διευκολύνει και τη σύνταξη χαρτών αλατούχων εδαφών εφόσον η μέτρηση της μηχανικής σύστασης και της $EC_{1:5}$ γίνεται εύκολα και γρήγορα.

4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Aboukila, E.F. and Abdelaty, E.F. 2018. Assessment of Saturated Soil Paste Salinity from 1:2.5 and 1:5 Soil-Water Extracts for Coarse Textured Soils. *Alex. Sci. Exch. J.*, 38, 722–732.
- Aboukila, E.F. and Norton, J.B. 2017. Estimation of saturated soil paste salinity from soil-water extracts. *Soil Sci.*, 182, 107–113.
- Chi, M.C. and Wang, Z.C. 2010. Characterizing salt affected soils of Songnen Plain using saturated paste and 1:5 soil to water extraction methods. *Arid Land Res. Manag.*, 24, 1–11.
- Gharaibeh, M.A., Albalasmeh, A.A. and Hanandeh, A.E. 2021. Estimation of saturated paste electrical conductivity using three modelling approaches: Traditional dilution extracts; saturation percentage and artificial neural networks. *Catena*, 200, 105141.
- He, Y., DeSutter, T., Prunty, L., Hopkins, D., Jia, X. and Wysocki, D. 2012. Evaluation of 1:5 soil to water extract electrical conductivity methods. *Geoderma*, 185–186, 12–17.

- Kargas, G., Chatzigiakoumis, I., Kollias, A., Spiliotis, D., Massas, I. and Kerkides, P. 2018. Soil salinity assessment using saturated paste and mass soil:water 1:1 and 1:5 ratios extracts. *Water*, 10(11), 1589.
- Kargas, G., Londra, P. and Sgoubopoulou, A. 2020. Comparison of Soil EC Values from Methods Based on 1:1 and 1:5 Soil to Water Ratios and ECe from Saturated Paste Extract Based Method. *Water*, 12, 1010.
- Khorsandi, F. and Yazdi, F.A. 2011. Estimation of saturated paste extracts' electrical conductivity from 1:5 soil/water suspension and gypsum. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 42, 315–321.
- Nachshon, U. 2018. Cropland Soil Salinization and Associated Hydrology: Trends, Processes and Examples. *Water*, 10, 1030.
- Rayment, G.E. and Lyons, D.J. 2011. *Soil Chemical Analysis Methods-Australia*; CSIRO Publishing: Collingwood, VIC, Australia.
- Slavich, P.G. and Petterson, G.H. 1993. Estimating the electrical conductivity of saturated paste extracts from 1:5 soil, water suspensions and texture. *Australian Journal of Soil Research*, 31(1), 73–81.
- Sonmez, J.S., Buyuktas, D., Okturen, F. and Citak, S. 2008. Assessment of different soil to water ratios (1:1, 1:2:5, 1:5) in soil salinity studies. *Geoderma*, 144, 361–369.
- Wang, Y., Wang, Z.X., Lian, X.J., Xiao, H., Wang, L.Y. and He, H.D. 2011. Measurements of soil electrical conductivity in Tianjin coastal area. *Tianjin Agric. Sci.*, 17, 18–21.
- United States Salinity Laboratory. 1954. *Diagnoses and Improvement of Saline and Alkali Soils*; Agriculture Handbook No 60; USDA:Washington, DC, USA.

ΓΕΝΟΤΥΠΟΣ ΚΑΙ ΣΤΑΔΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΦΥΤΩΝ ΚΑΛΑΜΠΟΚΙΟΥ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΛΛΕΙΨΗΣ ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΜΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΤΗ ΜΥΚΟΡΡΙΖΙΚΗ ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

**Μ. Αληφραγκή¹✉, Μ. Ορφανουδάκης¹, Ι. Σιστάνης², Φ. Παπαθανασίου², Ι. Παπαδόπουλος², Μ.
Αγγελικούδη¹, Μ. Φουρνομίτη³, Ι. Βροχίδης³, Ε. Σιναπίδου³, Ι. Τοκατλίδης⁴**

¹Δ.Π.Θ., Τμήμα Δασολογίας & Διαχείρισης Περιβάλλοντος & Φυσικών Πόρων, 68200, Ορεστιάδα

²Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Τμήμα Γεωπονίας, 53100, Φλώρινα

³Δ.Π.Θ., Τμήμα Αγροτικής Ανάπτυξης, 68200, Ορεστιάδα

⁴Δ.Π.Θ., Τμήμα Μοριακής Βιολογίας και Γενετικής, 68100, Αλεξανδρούπολη.

✉mariaalifragki@yahoo.com

Περίληψη

Η ανάπτυξη θυσανωδών μυκορριζών αποτελεί μια συμβίωση μεταξύ μυκήτων του φύλου Glomeromycota (Θυσανώδεις Μυκορριζικοί Μύκητες - ΘΜΜ) και χερσαίων φυτών. Η παρούσα εργασία μελετά την συμβίωση ανάμεσα σε ΘΜΜ και 13 γενοτύπους καλαμποκιού (*Zea mays* L.) που καλλιεργήθηκαν σε κυψελωτή διάταξη, σε δύο στάδια ανάπτυξης (πλήρης άνθηση και γέμισμα σπόρων). Προσδιορίστηκε ο πληθυσμός των σπορίων ΘΜΜ στη ριζόσφαιρα των φυτών και έγινε φαινοτυπική κατηγοριοποίηση αυτών. Η ανάλυση δεδομένων έδειξε διαφορές στον αριθμό των σπορίων ΘΜΜ μεταξύ των γενοτύπων και στα δύο στάδια ανάπτυξης, ενώ μεγαλύτερος ήταν ο αριθμός τους στο στάδιο γεμίματος των σπόρων σε όλους σχεδόν τους γενοτύπους. Απομονώθηκαν 11 διαφορετικοί φαινότυποι σπορίων ΘΜΜ, ωστόσο τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισαν τα μικρά μαύρα σπόρια (>95%). Τέλος, η χωρική κατανομή των δεδομένων ανέδειξε μια τάση ομαδοποίησης των φυτών ανάλογα με τον αριθμό των σπορίων ΘΜΜ στη ριζόσφαιρά τους, μόνο όμως στο στάδιο της πλήρους άνθησης.

Λέξεις κλειδιά: θυσανώδης μυκορριζα, καλαμπόκι, γενοτύπος, στάδιο ανάπτυξης, κυψελωτό σχέδιο

GENOTYPE AND CORN PLANT GROWTH STAGE IN LACK OF COMPETITION HAS SIGNIFICANT EFFECT ON SOIL'S MYCORRHIZAL COMMUNITY

**Μ. Alifragki¹✉, Μ. Orfanoudakis¹, Ι. Sistanis², F. Papathanasiou², Ι. Papadopoulos², Μ. Aggelakoudi¹, Μ.
Fournomiti³, Ι. Vrochidis³, Ε. Sinapidou³, Ι. Tokatlidis⁴**

¹D.U.Th., Department of Forestry and Management of the Environment and Natural Resources, 68200, Orestiada, Greece, ✉mariaalifragki@yahoo.com

²University of Western Macedonia, Department of Agriculture, 53100, Florina, Greece,

³D.U.Th., Department of Agricultural Development, 68200, Orestiada, Greece,

⁴D.U.Th., Department of Molecular Biology & Genetics, 68100, Alexandroupolis, Greece.

Abstract

Arbuscular mycorrhiza is a symbiosis between fungi from the phylum Glomeromycota (Arbuscular Mycorrhizal Fungi-AMF) and terrestrial plant roots. We have studied this symbiosis at two different growth stages (blossom and seed development) in 13 corn genotypes (*Zea mays* L.) evaluated at nil competition conditions (widely spaced individual plants allocated according to the honeycomb model). AMF spore number and phenotype distribution was estimated at the plant rhizosphere. Data analysis revealed differences at the AMF spore number per genotype at both growth stages while the maximum values were recorded at the seed development stage for all but one genotype. Eleven different spore phenotypes were isolated with black small spores displaying the highest frequency (>95%). Spatial data distribution analysis showed a trend of plant grouping based on AMF spore numbers; however, that was only detectable at the blossom stage.

Keywords: Arbuscular mycorrhizal fungi, maize, genotype, growth stage, honeycomb design

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η πλειονότητα των χερσαίων φυτών συμβιώνει με μύκητες του φύλου *Glomeromycota* και δημιουργεί θυσανοειδή μυκόρριζα (Morton & Benny 1990; Newsham et al., 1995). Αν και η συμβίωση αυτή έχει μελετηθεί αρκετά τα τελευταία χρόνια τόσο σε φυσικά οικοσυστήματα, όσο και διάφορα γεωργικά συστήματα, είναι λίγα τα δεδομένα που αφορούν τη διαμόρφωση του πληθυσμού των *Glomeromycota* σε συνθήκες καλλιέργειας.

Τα κυψελωτά σχέδια πειραματισμού επιλέγονται γιατί περιορίζουν τα προβλήματα που προκύπτουν στην αξιολόγηση των φυτών από τους περιβαλλοντικούς παράγοντες, την ετερογένεια του εδάφους και τον ανταγωνισμό μεταξύ των φυτών (Fasoulas 1981; 1988; Fasoulas & Tokatlidis, 2012; Tokatlidis, 2016). Με τον τρόπο αυτό η κυψελωτή διάταξη αυξάνει την αντικειμενικότητα αξιολόγησης των φυτών και έχει χρησιμοποιηθεί στη γενετική βελτίωση των καλλιεργούμενων φυτών (π.χ. Λεμονάκη, 2007; Tokatlidis et al., 2010; Kargiotidou et al., 2014; Κούρα, 2018; Vlachostergios et al., 2018; Mylonas et al., 2020; Sinapidou et al., 2020).

Είναι σημαντικό πέρα από την εκτίμηση των μορφολογικών χαρακτηριστικών ενός φυτού να γίνεται παράλληλα αξιολόγηση της μικροβιακής κοινότητας που αναπτύσσεται στη ριζόσφαιρά του. Δεδομένου ότι η συμβίωση φυτών με ΘΜΜ ευνοεί ποικιλοτρόπως την ανάπτυξή τους (Smith & Smith, 2012), ο προσδιορισμός του πληθυσμού των ΘΜΜ στην ριζόσφαιρα των φυτών μπορεί να συμβάλει στην εκτίμηση της ικανότητας των φυτών να επιτύχουν υψηλές αποδόσεις (Smith & Smith, 2011). Ένας τρόπος αξιολόγησης του πληθυσμού των ΘΜΜ είναι μέσω της εκτίμησης των σπορίων ΘΜΜ που βρίσκονται στην ριζόσφαιρα των φυτών (Shamini & Amutha, 2014; Buade et al., 2021).

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν να μελετηθεί η επίδραση του γενοτύπου και του σταδίου ανάπτυξης του καλαμποκιού που καλλιεργείται σε κυψελωτή διάταξη στη διαμόρφωση της μυκορριζικής κοινότητας στο έδαφος.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Για τον παραπάνω σκοπό 13 γενότυποι καλαμποκιού αξιολογήθηκαν στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας στη Φλώρινα σε πειραματικό αγρό, σύμφωνα με την κυψελωτή διάταξη R-13 (Fasoulas 1981; 1988; Fasoulas & Tokatlidis, 2012). Η σπορά πραγματοποιήθηκε τον Μάιο του 2019 και εγκαταστάθηκαν 58 φυτά από κάθε γενότυπο σε συνθήκες έλλειψης ανταγωνισμού (απόσταση 125 cm φυτό με φυτό). Ο πειραματικός αγρός την τελευταία δεκαετία χρησιμοποιήθηκε σε πειράματα καλαμποκιού με το έδαφος να έχει ομογενοποιηθεί τόσο στις σχετικές φυσικές ιδιότητες όσο και στην κατανομή των θρεπτικών για το βάθος των 30 cm. Πιο συγκεκριμένα, πρόκειται για ένα αμμοαργιλοπηλώδες έδαφος, με pH 6,4, ηλεκτρική αγωγιμότητα: 0,42 mS/cm, CaCO₃: 18%, οργανική ουσία: 1,6%, ολικό N: 0,11%, διαθέσιμο P: 83,1 ppm, K: 218 ppm, Ca: 1.151 ppm, Mg: 147 ppm, Fe: 86,6 ppm, Zn: 3,5 ppm, Mn: 7,0 ppm Cu: 1,9 ppm και B: 0,6 ppm.

Η διάταξη των γενοτύπων ήταν συστηματική, με κάθε γενότυπο να είναι κατανεμημένος ομοιόμορφα στη συνολική πειραματική επιφάνεια όπως δείχνει το Εικόνα 1, ώστε να δειγματίζεται με τον καλύτερο δυνατό τρόπο η ετερογένεια του εδάφους. Ακολούθησαν δύο δειγματοληψίες από την περιοχή της ριζόσφαιρας των φυτών καλαμποκιού (0-30 cm): η πρώτη στο στάδιο της πλήρους άνθισης των φυτών (Ιούλιος 2019) και η δεύτερη στο γέμισμα των σπόρων (Αύγουστος 2019). Σε κάθε μία από τις δειγματοληψίες συλλέχθηκαν δείγματα εδάφους και ριζών με δειγματολήπτη, από τα πιο εύρωστα φυτά ανά γενότυπο. Τα δείγματα αυτά είχαν σημαντικό ποσοστό λεπτών ριζών.

ΓΡΑΜΜΗ	A	B	Γ	Δ	E	Z	H	Θ	I	K	Λ	M	N	Ξ	Ο	Π	P	Σ	T	Υ	Φ	X	Ψ	Ω	ΩΑ	ΩΒ	
29		12	8	5	11	10	7	4	13	9	6	3	12	8	5	1	11	7	4	13	10	6	3	13	13	9	5
28	1	10	7	3	13	9	6	2	12	8	5	1	11	7	4	13	10	6	3	12	9	5	2	11	8	4	
27	13	9	6	2	12	8	5	1	11	7	4	13	10	6	3	12	9	5	2	11	8	4	1	10	7	3	
26	12	8	5	1	11	7	4	13	10	6	3	12	9	5	2	11	8	4	1	10	7	3	13	9	6	2	
25	11	7	4	13	10	6	3	12	9	5	2	11	8	4	1	10	7	3	13	9	6	2	12	8	5	1	
24	10	6	3	12	9	5	2	11	8	4	1	10	7	3	13	9	6	2	12	8	5	1	11	7	4	13	
23	9	5	2	11	8	4	1	10	7	3	13	9	6	2	12	8	5	1	11	7	4	13	10	6	3	12	
22	8	4	1	10	7	3	13	9	6	2	12	8	5	1	11	7	4	13	10	6	3	12	9	5	2	11	
21	7	3	13	9	6	2	12	8	5	1	11	7	4	13	10	6	3	12	9	5	2	11	8	4	1	10	
20	6	2	12	8	5	1	11	7	4	13	10	6	3	12	9	5	2	11	8	4	1	10	7	3	13	9	
19	5	1	11	7	4	13	10	6	3	12	9	5	2	11	8	4	1	10	7	3	13	9	6	2	12	8	
18	4	13	10	6	3	12	9	5	2	11	8	4	1	10	7	3	13	9	6	2	12	8	5	1	11	7	
17	3	12	9	5	2	11	8	4	1	10	7	3	13	9	6	2	12	8	5	1	11	7	4	13	10	6	
16	2	11	8	4	1	10	7	3	13	9	6	2	12	8	5	1	11	7	4	13	10	6	3	12	9	5	
15	1	10	7	3	13	9	6	2	12	8	5	1	11	7	4	13	10	6	3	12	9	5	2	11	8	4	
14	13	9	6	2	12	8	5	1	11	7	4	13	10	6	3	12	9	5	2	11	8	4	1	10	7	3	
13	12	8	5	1	11	7	4	13	10	6	3	12	9	5	2	11	8	4	1	10	7	3	13	9	6	2	
12	11	7	4	13	10	6	3	12	9	5	2	11	8	4	1	10	7	3	13	9	6	2	12	8	5	1	
11	10	6	3	12	9	5	2	11	8	4	1	10	7	3	13	9	6	2	12	8	5	1	11	7	4	13	
10	9	5	2	11	8	4	1	10	7	3	13	9	6	2	12	8	5	1	11	7	4	13	10	6	3	12	
9	8	4	1	10	7	3	13	9	6	2	12	8	5	1	11	7	4	13	10	6	3	12	9	5	2	11	
8	7	3	13	9	6	2	12	8	5	1	11	7	4	13	10	6	3	12	9	5	2	11	8	4	1	10	
7	6	2	12	8	5	1	11	7	4	13	10	6	3	12	9	5	2	11	8	4	1	10	7	3	13	9	
6	5	1	11	7	4	13	10	6	3	12	9	5	2	11	8	4	1	10	7	3	13	9	6	2	12	8	
5	4	13	10	6	3	12	9	5	2	11	8	4	1	10	7	3	13	9	6	2	12	8	5	1	11	7	
4	3	12	9	5	2	11	8	4	1	10	7	3	13	9	6	2	12	8	5	1	11	7	4	13	10	6	
3	2	11	8	4	1	10	7	3	13	9	6	2	12	8	5	1	11	7	4	13	10	6	3	12	9	5	
2	1	10	7	3	13	9	6	2	12	8	5	1	11	7	4	13	10	6	3	12	9	5	2	11	8	4	
1	13		6	12		5		11		4		10		3		9		2		8		1		7			
ΓΡΑΜΜΗ	A	B	Γ	Δ	E	Z	H	Θ	I	K	Λ	M	N	Ξ	Ο	Π	P	Σ	T	Υ	Φ	X	Ψ	Ω	ΩΑ	ΩΒ	

Εικόνα 1. Κάτοψη πειραματικού αγρού με κυψελωτή διάταξη R-13.

Στα δείγματα έγινε απομόνωση σπορίων ΘΜΜ με φυγοκέντρηση (2000 στρ/min, για 5 min) αιωρήματος που περιείχε 10 g λεπτόκοκκου (< 250 μm) εδάφους, γλυκερίνη και νερό (1:3) (Shamini & Amutha, 2014 - προσαρμογή). Η συλλογή των σπορίων ΘΜΜ έγινε στην επιφάνεια αλλαγής φάσης μεταξύ γλυκερίνης και νερού. Στη συνέχεια έγινε καταμέτρηση σπορίων ΘΜΜ σε στερεοσκόπιο και ταυτόχρονη φαινοτυπική κατηγοριοποίησή τους. Στην καταμέτρηση συμπεριλήφθηκαν μόνο τα ακεραία σπόρια και εξαιρέθηκαν θραύσματα και καταστραμμένα σπόρια. Αντιπροσωπευτικοί φαινότυποι εξετάστηκαν στο μικροσκόπιο (x400), σε τη χρήση πολυβινυλολακτογλυκερόλης με ιώδιο (PVLG Melzer's αντιδραστήριο) (Blaszkowski, 2015). Επιπλέον, δειγματοληπτικά έγινε έλεγχος ζωτικότητας σε 10 σπόρια κάθε ριζόσφαιρας, με χρώση διαλύματος χλωριούχου τετραζολίου (NBT) σε νερό (Vierheilig et al., 2005).

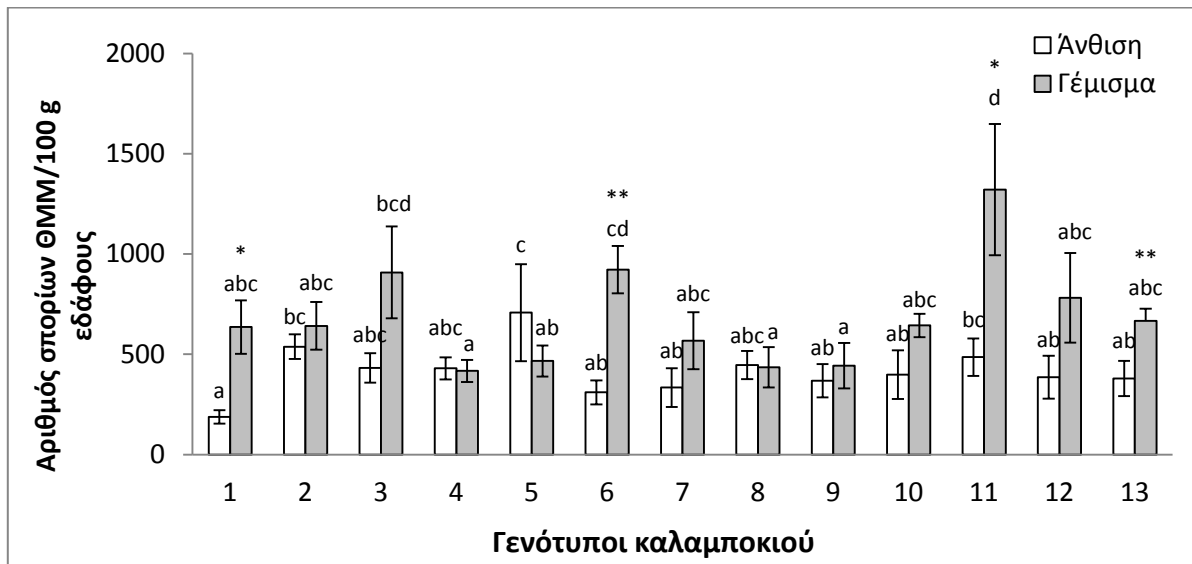
Η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων έγινε με ανάλυση διακύμανσης κατά δύο παράγοντες με αλληλεπίδραση (ANOVA). Έγινε έλεγχος των σημαντικών διαφορών με τη δοκιμασία της ελάχιστης σημαντικής διαφοράς (LSD-test) για επίπεδο σημαντικότητας 95% ($p < 0,05$). Το στατιστικό πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν το Statgraphics Centurion XV.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων προέκυψε ότι και στα δύο στάδια ανάπτυξης του καλαμποκιού υπήρξαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των γενοτύπων (Σχήμα 1). Πιο συγκεκριμένα, κατά το στάδιο της άνθισης ο μέσος όρος των σπορίων ΘΜΜ που εντοπίστηκαν ανά γενότυπο καλαμποκιού κυμάνθηκε από 188 έως 708 στα 100 g εδάφους, με τα λιγότερα σπόρια να παρατηρούνται στο γενότυπο 1 και τα περισσότερα στη ριζόσφαιρα του γενότυπου 5. Κατά το γέμισμα των σπόρων ο αντίστοιχος μέσος όρος σπορίων ΘΜΜ κυμάνθηκε από 417 έως 1322 στα 100 g εδάφους, με τα λιγότερα σπόρια να βρίσκονται στους γενοτύπους 4, 8 και 9 και τα περισσότερα στην ριζόσφαιρα του γενότυπου 11.

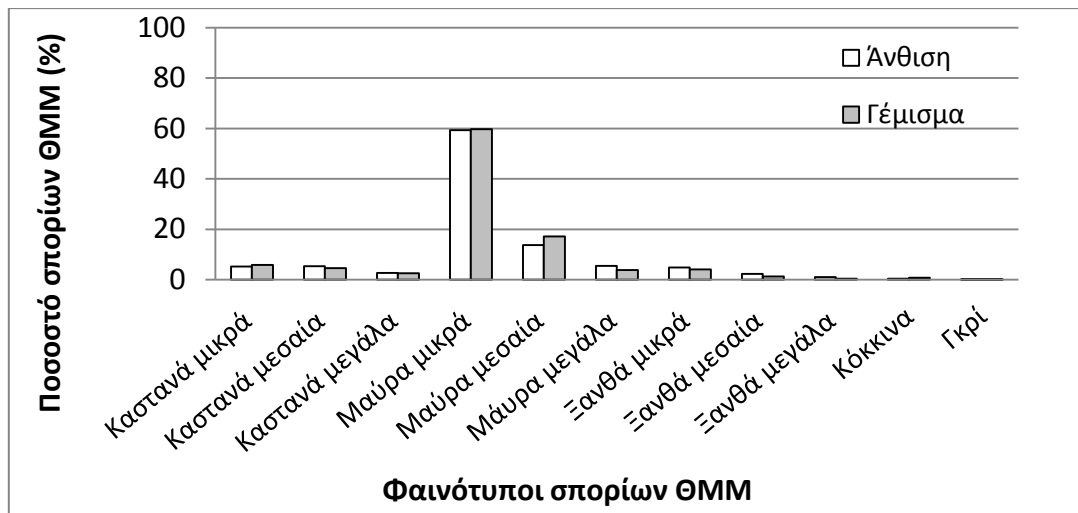
Επίσης, ο αριθμός των σπορίων ΘΜΜ ήταν στατιστικώς σημαντικά μεγαλύτερος στο στάδιο γεμίματος των σπόρων σχεδόν σε όλους τους γενοτύπους (εκτός από τον 5) και

μάλιστα διαπιστώθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των σταδίων στους γενοτύπους 1 ($p<0,05$), 6 ($p<0,01$), 11 ($p<0,05$) και 13 ($p<0,01$). Γενικά, κατά την περίοδο των δειγματοληψιών η ζωτικότητα των σπορίων ΘΜΜ έφτανε το 95% και συνεπώς η πλειοψηφία τους είχε αναπτυχθεί στη διάρκεια της υπό μελέτη καλλιεργητικής περιόδου.



Σχήμα 1. Μέσος όρος (και τυπικό σφάλμα) σπορίων ΘΜΜ σε 100 g εδάφους από τη ριζόσφαιρα 13 γενοτύπων καλαμποκιού, στα στάδια της άνθισης και γεμίματος των σπόρων. Μπάρες στο ίδιο στάδιο που συνοδεύονται από το ίδιο γράμμα, αντιπροσωπεύουν τιμές που δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά, σε επίπεδο σημαντικότητας $p<0,05$. * και ** σημαντικές διαφορές μεταξύ των σταδίων, σε $p<0,05$ και $p<0,01$, αντίστοιχα.

Στον πειραματικό αγρό παρατηρήθηκαν 11 φαινότυποι σπορίων ΘΜΜ. Αναλυτικότερα, καταγράφηκαν σπόρια: καστανά μικρά, μεσαία και μεγάλα, μαύρα μικρά, μεσαία και μεγάλα, ξανθά μικρά, μεσαία και μεγάλα, κόκκινα και γκρι. Αξίζει να σημειωθεί ότι δεν εμφανίζονταν όλοι οι φαινότυποι σε κάθε δείγμα εδάφους. Στο Σχήμα 2 φαίνεται η κατανομή των φαινοτύπων που απομονώθηκαν από τη ριζόσφαιρα όλων των φυτών και των 13 γενοτύπων και στα δύο στάδια ανάπτυξης. Γενικά, διαπιστώθηκε ότι τα ποσοστά εμφάνισης κάθε φαινοτύπου δε διαφοροποιήθηκαν μεταξύ των σταδίων ανάπτυξης και το μεγαλύτερο ποσοστό σπορίων ΘΜΜ τόσο στην άνθιση όσο και στο στάδιο γεμίματος των σπόρων ήταν μαύρα μικρά (59,3% και 59,7%, αντίστοιχα).



Σχήμα 2. Ποσοστό σπορίων ΘΜΜ (%) ανά κατηγορία φαινοτύπου σε δείγματα εδάφους από την ριζόσφαιρα καλαμποκιών (13 γενότυποι), στα στάδια της άνθισης και γεμίσματος των σπόρων.

Από την ανάλυση παραλλακτικότητας (Πίνακας 1) προέκυψε ότι τόσο ο γενότυπος όσο και το στάδιο ανάπτυξης επέδρασαν στατιστικώς σημαντικά ($p < 0,05$ και $p < 0,001$, αντίστοιχα) στη διαμόρφωση του αριθμού των σπορίων ΘΜΜ στη ριζόσφαιρα του καλαμποκιού, αλλά στατιστικώς σημαντική ήταν και η αλληλεπίδραση των δύο αυτών παραγόντων ($p < 0,001$).

Πίνακας 1. Αποτελέσματα ανάλυσης παραλλακτικότητας για τις επιδράσεις του γενότυπου και της εποχής στον συνολικό αριθμό σπορίων ΘΜΜ σε δείγματα εδάφους από τη ριζόσφαιρα φυτών από 13 γενότυπους καλαμποκιού.

Σπόρια ΘΜΜ	
Πηγή παραλλακτικότητας	
Γενότυπος	*
Στάδιο ανάπτυξης	***
Γενότυπος x Στάδιο ανάπτυξης	***

* και *** σημαντικές επιδράσεις σε $p < 0,05$ και $p < 0,001$, αντίστοιχα.

Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται η κάτοψη της πειραματικής επιφάνειας ώστε να αποτυπωθεί η χωρική κατανομή του αριθμού των σπορίων ΘΜΜ που απομονώθηκαν σε κάθε φυτό που επιλέχθηκε να μελετηθεί και στα δύο στάδια ανάπτυξης. Από το σχήμα προκύπτει ότι κατά την άνθιση τα φυτά που στην ριζόσφαιρά τους είχαν περισσότερα από 400 σπόρια ΘΜΜ ανά 100 g εδάφους μπορούν να ομαδοποιηθούν προς την δεξιά και κάτω πλευρά της πειραματικής επιφάνειας. Ωστόσο, η τάση αυτή δε φάνηκε να επαναλαμβάνεται και στο επόμενο στάδιο ανάπτυξης (γέμισμα σπόρων), όπου η χωρική κατανομή του αριθμού των σπορίων ΘΜΜ ήταν τελείως διαφορετική. Ο παράγοντας διαφοροποίησης στην κατανομή των σπορίων στις ριζόσφαιρες των διαφορετικών φυτών φαίνεται να μην προέρχεται από την διαφοροποίηση των εδαφικών συνθηκών. Η εδαφολογική ανάλυση δεν έδειξε σημαντικές διαφορές καθώς κατά τη συλλογή των φυτών οι ιδιότητες του εδάφους ήταν παρόμοιες με τις αρχικές: pH 6,35, ηλεκτρική αγωγιμότητα: 0,51 mS/cm, CaCO₃: 18%, οργανική ουσία: 1,8%, ολικό N: 0,14%, διαθέσιμο P: 82,2 ppm, K: 222 ppm, Ca: 1.155 ppm, Mg: 152 ppm, Fe: 88,1 ppm, Zn: 3,5 ppm, Mn: 6,8 ppm Cu: 1,9 ppm και B: 0,6 ppm.

Στην παρούσα έρευνα φάνηκε ότι η επίδραση του γενοτύπου και του σταδίου ανάπτυξης του καλαμποκιού ήταν σημαντικοί παράγοντες στη διαμόρφωση της μυκορριζικής κοινότητας στη ρίζα των φυτών. Όπως έχει βρεθεί και σε άλλες μελέτες, ο αριθμός των σπορίων ΘΜΜ μεταβάλλεται εποχικά και ανάλογα την μεταβολική πορεία του κάθε ξενιστή (Hayman, 1984; Lugo, 2002). Ο διαχωρισμός των ΘΜΜ σπορίων με φαινοτυπικά κριτήρια, δεν μπορεί να περιγράψει τον πληθυσμό των διαφορετικών ΘΜΜ, όμως είναι ενδεικτικός της δυναμικής του πληθυσμού να αναπτύσσει ποικιλότητα. Οι διαφορετικοί φαινότυποι σε αυτούς τους μύκητες εκφράζουν διαφορετικά είδη, διαφορετικά στάδια ανάπτυξης αλλά και τον παρόν και παρελθόντα πληθυσμό. Αν και διαχωρίστηκαν 11 διαφορετικοί φαινότυποι σπορίων ΘΜΜ στη ριζόσφαιρα των φυτών καλαμποκιού, το μεγαλύτερο ποσοστό ήταν μαύρα μικρά σπόρια σε όλες τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν. Γενικά διαπιστώθηκαν διαφορές στον αριθμό των σπορίων ΘΜΜ μεταξύ των γενοτύπων και στα δύο στάδια ανάπτυξης των φυτών. Ο αριθμός σπορίων ΘΜΜ ήταν μεγαλύτερος στο στάδιο γεμίματος των σπόρων σε όλους σχεδόν τους γενοτύπους. Τέλος, στο στάδιο της πλήρους άνθισης φάνηκε κάποια τάση για ομαδοποίηση των φυτών ανάλογα με τον αριθμό των σπορίων ΘΜΜ στη ριζόσφαιρα με βάση τη χωρική κατανομή των δεδομένων στην κάτοψη του πειραματικού αγρού, η οποία φάνηκε να μην προέρχεται από την διαφοροποίηση των εδαφικών συνθηκών του. Το γενικό συμπέρασμα είναι πως θεωρείται σημαντική η διαφοροποίηση της μυκορριζικής κοινότητας στη ριζόσφαιρα φυτών με τόσο στενή γενετική βάση όπως οι γενοτύποι καλαμποκιού που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία.

5. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η εργασία υλοποιήθηκε στο πλαίσιο της Δράσης ΕΡΕΥΝΩ – ΔΗΜΙΟΥΡΓΩ - ΚΑΙΝΟΤΟΜΩ και συγχρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση και εθνικούς πόρους μέσω του Ε.Π. Ανταγωνιστικότητα, Επιχειρηματικότητα & Καινοτομία (ΕΠΑνΕΚ) (κωδικός έργου:Τ1ΕΔΚ-00739).

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Blaszkowski J., 2015. *Glomeromycota*. Institute of Botany, Krakow Poland.
- Buade, R., Chourasiya, D., Prakash, A., and Sharma, M.P., 2021. *Changes in Arbuscular mycorrhizal fungal community structure in soybean rhizosphere soil assessed at different growth stages of soybean*. *Agricultural Research*, 10(1), 32-43.
- Fasoulas A.C., 1981. *Principles and methods of plant breeding*. Dept. Gen. Plant Breeding. Aristotelian University of Thessaloniki, Greece. Publication 11, 147 pp.
- Fasoulas, A.C., 1988. *The honeycomb methodology of plant breeding*. Published and distributed by the author. Thessaloniki, 167 pp.
- Fasoula, V.A. and Tokatlidis, I.S., 2012. *Development of crop cultivars by honeycomb breeding*. *Agronomy for sustainable development*, 32(1),161-180.
- Hayman, D.S., 1984. *Methods for evaluating and manipulating of vesicular-arbuscular mycorrhiza*. In: J.M. Lynch and J.M. Grainger (Editors), *Microbiological Methods for Environmental Biotechnology*, Academic press. London, United Kingdom, 95-117.
- Kargiotidou, A., Chatzivassiliou, E., Sinapidou, E., Papageorgiou, A., Skaracis, G., and Tokatlidis, I.S., 2014. *Selection at ultra-low density highlights plants escaping virus infection and leads towards high-performing pure-line cultivars in lentil*. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 152,749-758.
- Κούρα, Α., 2018. *Ανάπτυξη συστήματος επιλογής γενοτύπων βίκου για σανό και καρπό*. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

- Λεμονάκης, Ε.Δ., 2007. *Επίδραση της πυκνότητας στη διαφοροποίηση και επιλογή γενετικών υλικών στο σκληρό σιτάρι (Triticum turgidum L. subsp. durum)*. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Γεωπονική Σχολή, Α.Π.Θ.
- Lugo, M. A., and Cabello, M.N., 2002. *Native arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) from mountain grassland (Córdoba, Argentina) I. Seasonal variation of fungal spore diversity*. Mycologia, 94(4),579-586.
- Morton, J.B. and Benny, G.L., 1990. *Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Zygomycetes)*. Mycotaxon, 37,471-491.
- Mylonas, I., Sinapidou, E., Remountakis, E., Sistanis, I., Pankou, C., Ninou, E., Papadopoulos, I., Papathanasiou, F., Lithourgidis, A., Gekas, F., Dordas, C., Tzantarmas, C., Kargiotidou, A., Tokamani, M., Sandaltzopoulos, R. and Tokatlidis, I., 2020. *Improved plant yield efficiency alleviates the erratic optimum density in maize*. Agronomy Journal, 112(3),1690-1701.
- Newsham, K.K., Fitter A.H. and Watkinson, A.R., 1995. *Multifunctionality and biodiversity in arbuscular mycorrhizas*. Trends in Ecology and Evolution, 10,407-411.
- Shamini, S. and Amutha, K., 2014. *Techniques for extraction of arbuscular mycorrhizal fungi spores*. International Journal of Frontiers in Science and Technology, 2,1-6.
- Sinapidou, E., Pankou, C., Gekas, F., Sistanis, I., Tzantarmas, C., Tokamani, M., Mylonas, I., Papadopoulos, I., Kargiotidou, A., Ninou, E., Papathanasiou, F., Sandaltzopoulos, R. and Tokatlidis, I.S., 2020. *Plant Yield Efficiency by Homeostasis as Selection Tool at Ultra-Low Density. A Comparative Study with Common Stability Measures in Maize*. Agronomy, 10(8),1203.
- Smith, S.E. and Smith, F.A., 2011. *Roles of arbuscular mycorrhizas in plant nutrition and growth: new paradigms from cellular to ecosystem scales*. Annual review of plant biology, 62,227-250.
- Smith, S.E. and Smith, F.A., 2012. *Fresh perspectives on the roles of arbuscular mycorrhizal fungi in plant nutrition and growth*. Mycologia, 104,1-13.
- Tokatlidis, I.S., 2016. *Sampling the spatial heterogeneity of the honeycomb model in maize and wheat breeding trials: Analysis of secondary data compared to popular classical designs*. Experimental Agriculture, 53,371-390,
- Tokatlidis, I.S., Papadopoulos, I.I., Baxevanos, D. and Koutita, O., 2010. *GxE effects on single-plant selection at low density for yield and stability in climbing dry bean*. Crop Science, 50,775-783.
- Vlachostergios, D.N., Tzantarmas, C., Kargiotidou, A., Ninou, E., Pankou, C., Gaintatzi, C., Mylonas, I., Papadopoulos, I., Foti, C., Chatzivassiliou, E., Sinapidou, E., Lithourgidis, A. and Tokatlidis, I.S., 2018. *Single-plant selection within lentil landraces at ultra-low density: a short-time tool to breed high yielding and stable varieties across divergent environments*. Euphytica, 214,58.
- Vierheilig, H, Schweiger, P. and Brundrett, M, 2005. *An overview of methods for the detection and observation of arbuscular mycorrhizal fungi in roots*. Physiologia Plantarum, 125(4):393 – 404.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΒΙΟ-ΕΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΟΣ & ΕΝΔΟΜΥΚΟΡΡΙΖΙΚΩΝ ΕΜΒΟΛΙΩΝ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΡΙΤΑΜΟΥ (*Crithmum maritimum* L.) & ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ (*Lactuca sativa*, L.)

Ε. Συργανίδης¹, Ι. Υψηλάντης¹, Δ. Γασπαράτος² & Δ. Καλδέρης³

¹ ΑΠΘ, Τμήμα Γεωπονίας, Εργ. Εδαφολογίας 541 24, Θεσσαλονίκη, email: esyrgani@agro.auth.gr

² ΓΠΑ, Τμήμα ΑΦΠ & ΓΜ, Εργ. Εδαφολογίας & Γεωργ. Χημείας, Αθήνα, email: gasparatos@aua.gr

³ ΕΛΜΕΠΑ, Τμήμα Ηλεκτρονικών Μηχανικών, Χανιά, kalderis@hmu.gr

Περίληψη

Διερευνήθηκε η πιθανή συνέργεια μεταξύ βιοεξανθρακώματος και θυσανωτών μυκορριζικών μυκήτων (Θ.Μ.Μ.) σε αλατούχο έδαφος. Πραγματοποιήθηκαν πλήρως τυχαιοποιημένα πειράματα με κρίταμο (*Crithmum maritimum* L.) και μαρούλι (*Lactuca sativa* L.). Μετρήθηκε η φυτική βιομάζα, ο αποικισμός Θ.Μ.Μ., οι συγκεντρώσεις μακρο-μικροθρεπτικών (εδάφους, φυτικών ιστών), η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων και ο λόγος προσρόφησης νατρίου. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι μεταχειρίσεις με αποστειρωμένο έδαφος είχαν τη χαμηλότερη βιομάζα φύλλων μαρουλιού. Υπήρχε αρνητική αλληλεπίδραση μεταξύ Θ.Μ.Μ. και βιοεξανθρακώματος, για τον εδαφικό φώσφορο (P) και θετική για τη βιομάζα του μαρουλιού, όταν το βιοεξανθράκωμα συνδυάστηκε με Θ.Μ.Μ. Ο επιπλέον εμβολιασμός με εμβόλιο Θ.Μ.Μ. δεν βελτίωσε την ανάπτυξη των φυτών περισσότερο από την γηγενή μυκορριζική κοινότητα. Μια περίοδος 6 μηνών προσαρμογής του βιοεξανθρακώματος στο έδαφος μπορεί να αυξήσει την απόδοση του μαρουλιού. Τέλος παρατηρήθηκε οριακή βελτίωση της αλατότητας με την προσθήκη βιοεξανθρακώματος.

Λέξεις κλειδιά: Βιοεξανθράκωμα, ΘΜΜ (Θυσανοειδείς Μυκορριζικοί Μύκητες), Αλατούχο Έδαφος

EFFECTS OF BIOCHAR & ENDOMYCORRHIZAL INOCULANTS IN SEA FENNEL (*Crithmum maritimum* L.) & LETTUCE (*Lactuca sativa* L.) GROWTH

E. Syrganides¹, I. Ipsilantis¹, D. Gasparatos², D. Kalderis³

¹ A.U.Th., School of Agriculture, Soil Science Laboratory, 54124, Thessaloniki, Greece,

² A.U.A., Dept. of NRD&AE, Lab of Soil Science and Agric. Chemistry, 11855, Athens, Greece,

³ H.M.U., Dept. of Electronic Engineering, Hellenic Mediterranean University, 73133 Chania, Greece,

Abstract

The potential synergy between biochar and arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in a saline soil was investigated. Two completely randomized pot experiments of rock samphire (*Crithmum maritimum* L.) and lettuce (*Lactuca sativa* L.) was conducted. Plant biomass, AMF, macro-micro nutrients S.A.R. and C.E.C. concentrations were measured. The autoclaved soil treatment had the lowest lettuce leaf biomass. There was no interaction between AMF and biochar, except for P, where the interaction was negative and lettuce biomass, where biochar acted positively when AMF was combined. Application of an AMF inoculum did not benefit plant growth more than the native AMF community. A 6-month period of adaptation and "maturation" of biochar in soil is needed for higher lettuce yield. Finally, there was a marginal improvement of salinity with the addition of biochar.

Keywords: Biochar, AMF (Arbuscular Mycorrhizal Fungi), Saline Soil

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το βιοεξανθράκωμα (biochar) είναι ένα στερεό υλικό που αντιστοιχεί περίπου στο 20-30% του αρχικού υλικού (E.B.C. 2012) και λαμβάνεται από την εξανθράκωση της βιομάζας με τη διαδικασία της πυρόλυσης (500-1000 °C). Μέσω αυτής της τεχνικής, ο άνθρακας μπορεί να παγιδευτεί στο βιοεξανθράκωμα σε χρονική διάρκεια μεταξύ των 100 έως 1.000 ετών (Srokas, 2010). Επομένως είναι μία προσέγγιση για τη μείωση της παραγωγής εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, μειώνοντας το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Εφόσον τα χαρακτηριστικά του βιοεξανθρακώματος εξαρτώνται από την πρώτη ύλη και τη διαδικασία της πυρόλυσης, πολλά υλικά έχουν χρησιμοποιηθεί ή προταθεί ως πρώτη ύλη για την παραγωγή του (δέντρα, φυτικά υπολείμματα, λυματολάσπη, υπολείμματα καλλιεργειών και κοπριάς).

Η ενσωμάτωση βιοεξανθρακώματος στο έδαφος μπορεί να μεταβάλει τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους, όπως την υφή, τη δομή, την κατανομή μεγέθους των πόρων και τη φαινομενική πυκνότητα του εδάφους με θετικές επιδράσεις στον αερισμό, την ικανότητα συγκράτησης νερού, και την ανάπτυξη των φυτών (Downie et al., 2009). Η αύξηση του pH του εδάφους (Chintala et al., 2014; Xu et al., 2014) και της ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων (CEC) (Chan et al., 2007; Ducey et al., 2013) μετά την εφαρμογή του βιοεξανθρακώματος, αναφέρεται συχνά.

Η επίδραση του βιοεξανθρακώματος στη μυκορριζική συμβίωση είναι δύσκολο να διαπιστωθεί, καθώς υπάρχει μεγάλη διακύμανση της ποσότητας που χρησιμοποιείται στα ερευνητικά πειράματα καθώς και της πυκνότητας των τεμαχιδίων του που χρησιμοποιούνται στο έδαφος (π.χ. από 0,07 έως 2,2 g cm⁻³). Επίσης, οι περισσότερες μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί σε φυτοδοχεία, και η μεταφορά των αποτελεσμάτων σε συνθήκες αγρού να μην είναι εφικτή (Koide, 2016). Έχουν παρατηρηθεί θετικές αλληλεπιδράσεις του βιοεξανθρακώματος με τους Θ.Μ.Μ. όπως η αύξηση της συγκράτησης νερού με αυξημένη απόδοση των λιναρόφυτων, (πειράματα αγρού) (Bakry. et al., 2014) και η βελτιωμένη πρόσληψη P από τα φυτά όταν υπάρχουν ελάχιστες διαλυτές πηγές φωσφόρου (Vanek και Lehmann 2014). Επίσης έχουν αναφερθεί αρνητικές και ουδέτερες αλληλεπιδράσεις σε πειράματα Λευκαίνας (*Leucaena leucocephala*)(Habte και Antal, 2010) και ντομάτας (Nzanza et al., 2012) αντίστοιχα.

Σκοπός της εργασίας ήταν να διερευνηθεί πώς η συνδυαστική δράση βιοεξανθρακώματος (Biochar) και Θ.Μ.Μ. επηρεάζει την εδαφική γονιμότητα, την ανάπτυξη και θρέψη νεαρών φυτών κρίταμου και μαρουλιού, υπό συνθήκες αλατότητας. Δευτερεύων να διαπιστωθεί αν η εφαρμογή του μυκορριζικού μύκητα *Funneliformis mosseae* (πρώην *Glomus moseae*) στο κρίταμο και το μαρούλι στο συγκεκριμένο έδαφος μπορεί να δώσει καλύτερα αποτελέσματα από τις γηγενείς μυκορριζικές κοινότητες. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε κρίταμο (*Crithmum maritimum* L.) και στη συνέχεια μαρούλι (*Lactuca sativa* L.) τα οποία αναπτύχθηκαν σε αλατούχο έδαφος.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Πειραματικός σχεδιασμός

Διεξήχθησαν 2 πειράματα σε φυτοδοχεία. Το Πείραμα 1 με κρίταμο (*Crithmum maritimum*, L) και στη συνέχεια το Πείραμα 2 με μαρούλι (*Lactuca sativa* L.). Το αμμοπηλώδες έδαφος που χρησιμοποιήθηκε για τα πειράματα συλλέχτηκε από καλλιεργούμενη πολυετή καλλιέργεια κρίταμου (Οικοτεχνία Promythion) στην περιοχή Φοίνικας της νήσου Σύρου (Πίνακας 1) Το βιοεξανθράκωμα προήλθε από λυματολάσπη και η θερμοκρασία πυρόλυσης ήταν 600°C (Bachmann et al., 2016)(Πίνακας 1).

Πίνακας 1. Τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του βιοεξανθρακώματος και του εδάφους που χρησιμοποιήθηκε ως υπόστρωμα στα φυτοδοχεία

Αρχικό έδαφος	p.H.	Ηλεκτρική αγωγιμότητα E.C.(mS/cm)	S.A.R	P (mg/kg - ¹ dw)	K (meq/L)	Na (meq/L)	Ca (meq/L)	Mg (meq/L)	C οργανικός (%)	Άμμος (%)	Ίλος (%)	Αργίλος (%)	Οργανική Ουσία (%)
	8,58	2.32	7.97	84	2.59	7.83	6.86	4.63	1,84	44,2	29	27	3,69

Βιοεξανθ ράκωμα	p.H.	Ηλεκτρική αγωγιμότητα E.C.(mS/cm)	Ειδική επιφάνεια (m ² g ⁻¹)	C (%)	N (%)	P (%)	K (%)	S (%)	Περιεκτικότητα τέφρας (%)

Τα πειράματα 1 και 2 έλαβαν χώρα στο εργαστήριο εδαφολογίας του Α.Π.Θ. Το πειραματικό σχέδιο ήταν πλήρως τυχαίο με δύο παράγοντες: (1) τις μεταχειρίσεις μυκορριζικών εμβολίων με 3 επίπεδα, (εμβολιασμός με *Funneliformis mosseae*, μη εμβολιασμός (γηνγενής πληθυσμός) και αποστειρωμένο έδαφος), (2) τις μεταχειρίσεις του βιοεξανθρακώματος με 2 επίπεδα (με ή χωρίς την προσθήκη βιοεξανθρακώματος). Κάθε μεταχείριση του πειράματος 1 είχε πέντε επαναλήψεις δίνοντας ένα συνολικό αριθμό 30 φυτοδοχείων, ενώ κάθε μεταχείριση του πειράματος 2 είχε τέσσερις επαναλήψεις δίνοντας ένα συνολικό αριθμό 24 φυτοδοχείων.

Στο Πείραμα 1, φυτά κριτάμου 2 μηνών, μεταφυτεύτηκαν (ένα φυτό σε κάθε φυτοδοχείο) στις τελικές θέσεις σε δοχεία που περιείχαν 650g ξηρού εδάφους (Πίνακας 1). Στις μεταχειρίσεις με βιοεξανθράκωμα η ποσότητα του βιοεξανθρακώματος που προστέθηκε και ενσωματώθηκε με ανάδευση με το έδαφος μέσα σε πλαστικές σακούλες ήταν 13 g ανά φυτοδοχείο, ώστε η αναλογία να είναι 2%. Στις μεταχειρίσεις με Θ.Μ.Μ., παράλληλα με την μεταφύτευση των φυταρίων του κριτάμου εμβολιάστηκε και ο μύκητας *Funneliformis mosseae* (πρώην *Glomus moseae*) με την προσθήκη στις θέσεις φύτευσης ποσότητας 30 g εμβολίου, το οποίο αποτελούνταν από μείγμα άμμου - βερμικουλίτη (1:1), που περιείχε σπόρια, μυκήλιο και τμήματα αποικισμένων ριζών καλαμποκιού. Για τις μεταχειρίσεις με αποστειρωμένο έδαφος μια ποσότητα του αρχικού εδάφους τοποθετήθηκε σε αυτόκαυστο κλίβανο για 2 ώρες στους 120°C και στη συνέχεια μοιράστηκε στα φυτοδοχεία σε ίσες ποσότητες των 650 g όπως παραπάνω.

Τα φυτοδοχεία του πειράματος 1 τοποθετήθηκαν σε εξωτερικό χώρο του Εργαστηρίου Εδαφολογίας, όπου αναπτύχθηκαν για 4 μήνες,

Για το Πείραμα 2, τα υποστρώματα όλων των επαναλήψεων από κάθε μεταχείριση του Πειράματος 1 ενώθηκαν, αναμείχθηκαν και μοιράστηκαν από 500g υποστρώματος σε 24 φυτοδοχεία μεγέθους 1L. Διατηρώντας την αναλογία βιοεξανθρακώματος στο 2%, πραγματοποιήθηκαν εκ νέου οι μεταχειρίσεις του εμβολιασμού με το μύκητα *Funneliformis mosseae* όπως και οι μεταχειρίσεις της αποστείρωσης με την ίδια μεθοδολογία που περιγράφεται στο Πείραμα 1. Τα φυτοδοχεία του πειράματος 2 τοποθετήθηκαν σε εσωτερικό χώρο, όπου αναπτύχθηκαν για 2 μήνες.

Κατά τη συγκομιδή και των δύο πειραμάτων τα φυτά κόπηκαν στο λαιμό και καταγράφηκε το νωπό βάρος των φύλλων, το υπέργειο μέρος αποξηράθηκε στους 60°C μέχρι σταθερού βάρους και μετρήθηκε το βάρος του αποξηραμένου υπέργειου μέρους. Ένα τμήμα των ριζών καθαρίστηκε για να μετρηθεί ο μυκορριζικός αποικισμός (Sylvia, 1994). Το υπόλοιπο εδαφικό δείγμα ξηράθηκε και κοσκινίστηκε ώστε να μετρηθεί η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) (Rhoades 1996) η οποία προσδιορίστηκε με αγωγιμόμετρο στο εκχύλισμα κορεσμού. Το εκχύλισμα κορεσμού χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό και των

υδατοδιαλυτών κατιόντων K^+ , Na^+ τα οποία μετρήθηκαν σε φλογοφωτόμετρο, ενώ τα στοιχεία Ca^{+2} και Mg^{+2} με φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης. Προσδιορίστηκαν επίσης τα ανταλλάξιμα κατιόντα K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} με τη μέθοδο του οξικού αμμωνίου, ο διαθέσιμος εδαφικός P (Olsen et al., 1954), και τα ανόργανα θρεπτικά στοιχεία P, K, Na, Ca και Mg στους φυτικούς ιστούς με τη μέθοδο της ξηρής καύσης.

2.2 Στατιστική ανάλυση

Η στατιστική ανάλυση πραγματοποιήθηκε και στα 2 πειράματα με το στατιστικό πακέτο SAS χρησιμοποιώντας τη διαδικασία γενικών γραμμικών μοντέλων (GLM), για κάθε πείραμα ξεχωριστά σε επίπεδο σημαντικότητας $P < 0,05$, με κύριους παράγοντες τον εμβολιασμό με τρία επίπεδα και το βιοεξανθράκωμα με δύο επίπεδα. Πραγματοποιήθηκαν πολλαπλές συγκρίσεις μέσω των όρων με το κριτήριο Tukey-Kramer, σε επίπεδο σημαντικότητας $p = 0,05$.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1 Επίδραση του βιοεξανθράκωματος στο έδαφος

Με την προσθήκη βιοεξανθράκωματος στο Πείραμα 1 παρατηρήθηκε αύξηση στο ανταλλάξιμο Mg (Πίνακας 2,3). Αντίστοιχο αποτέλεσμα αύξησης της συγκέντρωσης του Mg λόγω της προσθήκης βιοεξανθράκωματος, έχει παρατηρηθεί και από άλλους ερευνητές (Gaskin et al., 2010 ; Wu et al., 2020. Η συνολική περίοδος από την αρχική ανάμειξη του εδάφους με βιοεξανθράκωμα μέχρι το πέρας του δεύτερου πειράματος ήταν 6 μήνες (Ιούνιος με Δεκέμβριος 2018). Η παρατεταμένη περίοδος παραμονής του βιοεξανθράκωματος στο έδαφος έχει παρατηρηθεί ότι συμβάλει στη συσσώματωση του εδάφους αυξάνοντας ταυτόχρονα την I.A.K. (Brodowski et al 2006), ενώ μια περίοδο προσαρμογής και ισορροπίας εδάφους – βιοεξανθράκωματος του ενός μήνα μπορεί είναι ευεργετική ώστε να απομακρυνθούν κάποια άλατα η άλλες εν δυνάμει τοξικές συγκεντρώσεις με αποτέλεσμα την υψηλότερη παραγωγή βιομάζας (Artiola et al 2012). Στο Πείραμα 2 η τιμή του ανταλλάξιμου Mg σταθεροποιήθηκε (Πίνακας 5).

Πίνακας 2. Επίπεδα πιθανοτήτων ANOVA test για τα αποτελέσματα του Πειράματος 1

Πείραμα 1 Κρίταμο (<i>Crithmum maritimum</i>)	Μήκος βλαστού	Na^{+2}	Ca^{+2}	Mg^{+2}	SAR	Θ.Μ.Μ.	Na^+	Mg^{+2}
		Υδατοδιαλυτά					Ανταλλάξιμα	
Μοντέλο	0,02	0,06	0,002	0,01	0,06	0,002	0,54	0,07
Εμβολιασμός.	0,001	0,32	0,26	0,60	0,12	0,001	0,26	0,06
Βιοεξανθράκωμα	0,29	0,43	0,0001	0,001	0,43	0,29	0,72	0,04
Εμβολιασμός+ Βιοεξανθράκωμα	0,70	0,02	0,19	0,07	0,05	0,70	0,58	0,63

Πίνακας 3. Αποτελέσματα μέσω των όρων των κύριων παραγόντων του Πειράματος 1

Πείραμα 1 Κρίταμο (<i>Crithmum maritimum</i>)		Ca^{+2} meq/L	Mg^{+2} meq/L	Mg^{+2} meq/ 100g
		Υδατοδιαλυτά	Υδατοδιαλυτά	Ανταλλάξιμα
Βιοεξανθράκωμα	Χωρίς	8,16b	5,93b	5,35b
	Με	10,4a	7,26a	5,62a

Πίνακας 4. Επίπεδα πιθανοτήτων ANOVA test για τα αποτελέσματα του Πειράματος 2

Πείραμα 2 Μαρούλι (<i>Lactuca sativa</i>)	Νωπό Βάρος	Ξηρό Βάρος	P Εδάφους	K ⁺ Υδατοδιαλυτό	SAR	Θ.Μ.Μ	K ⁺ Ανταλλάξιμο	Na ⁺ Φυτικοί Ιστοί
Μοντέλο	0,061	0,005	<0,0001	0,004	0,03	<0,0001	0,058	0.07
Εμβόλιο Θ.Μ.Μ.	0,022	0,004	0,0079	0,003	0,63	<0,0001	0,073	0.04
Βιοεξανθράκωμα	0,12	0,024	<0,0001	0,012	0,001	0,46	0,014	0.15
Εμβόλιο Θ.Μ.Μ. & Βιοεξανθράκωμα	0,7	0,26	0,0012	0,22	0,61	0,087	0,87	0.35

3.3 Αύξηση της βιομάζας με βιοεξανθράκωμα

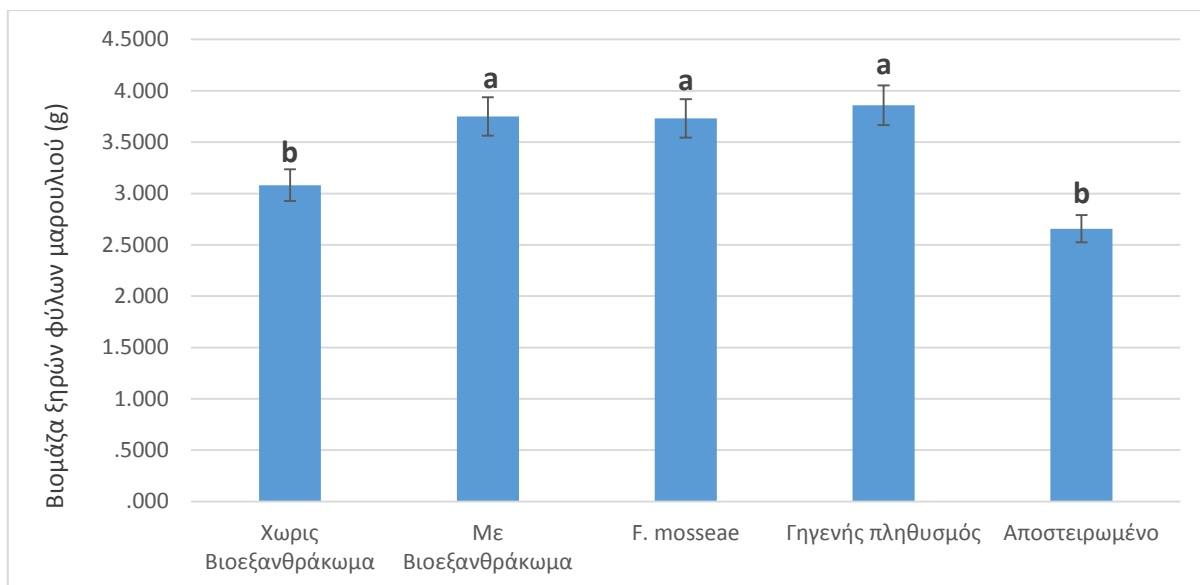
Οι τιμές τόσο στην βιομάζα (Σχήμα 2) όσο και στον εδαφικό P (Σχήμα 3), είναι μεγαλύτερες με προσθήκη βιοεξανθρακώματος, ανεξάρτητα από τον εμβολιασμό με Θ.Μ.Μ. Ωστόσο δεν υπήρξε καμία αύξηση βιομάζας με το βιοεξανθράκωμα όταν δεν υπήρχαν Θ.Μ.Μ. γεγονός που μπορεί να τεκμηριωθεί από τις μεταχειρίσεις της αποστείρωσης όπου η βιομάζα του μαρουλιού είχε τις χαμηλότερες τιμές τουλάχιστον 1,5 g κάτω από της μεταχειρίσεις με Θ.Μ.Μ. (*F. mosseae* και γηγενής πληθυσμός) (Σχήμα 2). Όσον αφορά το P η τιμή του στο αρχικό έδαφος είναι αυξημένη στα 84 ppm (Olsen). Η σημαντικά χαμηλή τιμή του υδατοδιαλυτού K⁺ στις μεταχειρίσεις με βιοεξανθράκωμα σε σύγκριση με τις μεταχειρίσεις χωρίς (Πίνακας 5), σε συνδυασμό με τα αποτελέσματά της αυξημένης βιομάζας των φυτών αυτών των μεταχειρίσεων, υπολογίζοντας την ολική πρόσληψη θρεπτικών φαίνεται ότι η πρόσληψη του K⁺ είναι η βέλτιστη στις μεταχειρίσεις του βιοεξανθρακώματος και του εμβολιασμού με Θ.Μ.Μ.

Πίνακας 5. Αποτελέσματα μέσω των όρων των κύριων παραγόντων του Πειράματος 2

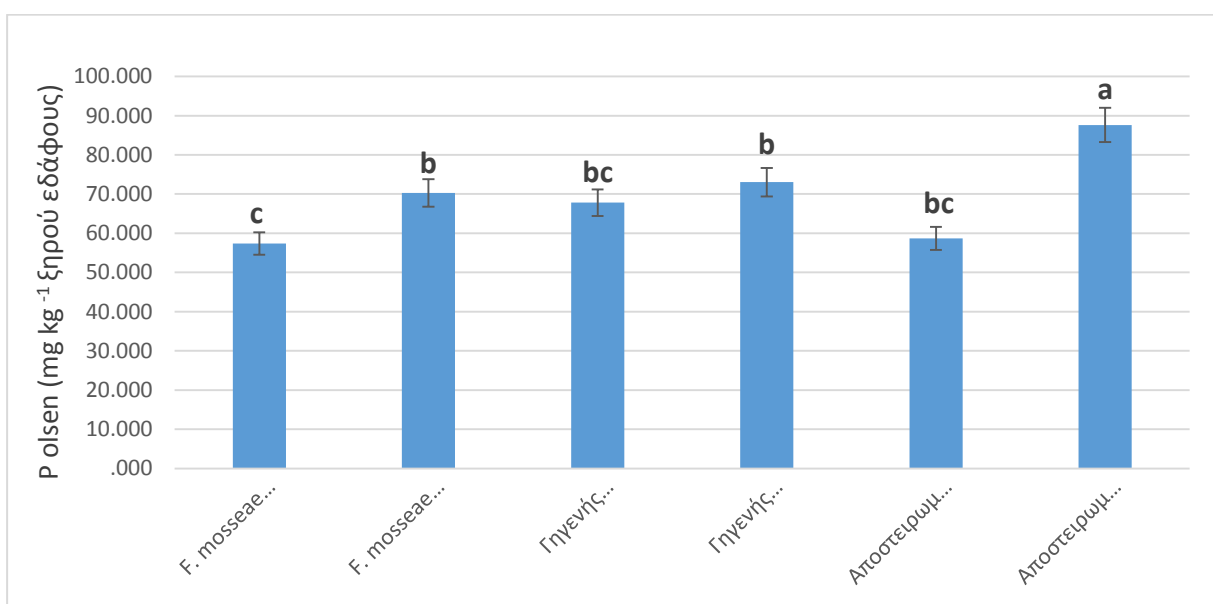
Πείραμα 2 Μαρούλι (<i>Lactuca sativa</i>)	P mg/kg ξηρού Εδάφους	K ⁺ meq/L Υδατοδιαλυτό	SAR	Αποικισμός Θ.Μ.Μ. %	K ⁺	Na ⁺	Mg ⁺²
					meq/ 100g	meq/ 100g	meq/ 100g
Χωρίς Βιοεξανθράκωμα	61,31b	0,92a	4,14a	37,1a	1,17a	1,48a	0,41a
Με Βιοεξανθράκωμα	76,97a	0,71b	3,55b	35,3a	1,02b	1,35b	0,42a
<i>F. mosseae</i>	63,83b	0,85a	3,95a	44,1a	1,02b	1,40a	0,43a
Γηγενής πληθυσμός	70,42a	0,62b	3,80a	54,0a	1,09ab	1,42a	0,43a
Αποστειρωμένο	73,16a	0,99a	3,78a	10,4b	1,1a	1,43a	0,40a

Πίνακας 6. Αποτελέσματα μέσω των όρων των κύριων παραγόντων για τις συγκεντρώσεις των μακροθρεπτικών στους φυτικούς ιστούς του Πειράματος 2

Πείραμα 2 Μαρούλι (<i>Lactuca sativa</i>)	P	K ⁺ /g	Na ⁺ /g	Ca ⁺² /g	Mg ⁺² /g
Χωρίς Βιοεξανθράκωμα	0,3a	16a	5,58a	1,6a	1,34a
Με Βιοεξανθράκωμα	0,4a	16,9a	4,80a	3,2a	1,24a
<i>F. mosseae</i>	0,4a	18,3a	6,20a	4,1a	1,62a
Γηγενής πληθυσμός	0,3a	16a	4,80b	1,9a	1,16a
Αποστειρωμένο	0,4a	16,9a	4,58b	1,3a	1,09a



Σχήμα 3. Το βάρος (g) ξηρών φύλλων μαρουλιού. Συγκρίσεις αποτελεσμάτων ξηρής βιομάζας μαρουλιού για κάθε κύριο παράγοντα ξεχωριστά. Στήλες που δεν ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.



Σχήμα 4. Η συγκέντρωση του εδαφικού P-Olsen (mg kg⁻¹ soil d.w.) για την καλλιέργεια του μαρουλιού. Στις μεταχειρίσεις συνδυασμού. Στήλες που ακολουθούνται από τα ίδια γράμματα δεν διαφέρουν μεταξύ τους.

3.4 Ποσοστό αποικισμού Θ.Μ.Μ.

Το βιοεξανθράκωμα μπορεί και να μειώσει τη συμβολή των μυκορριζικών μυκήτων καθώς οι μυκορριζικοί μύκητες βελτιώνουν την ανάπτυξη των φυτών κυρίως υπό συνθήκες στρες, είτε λόγω ανεπάρκειας θρεπτικών ουσιών (Koide, 1990) ενώ το βιοεξανθράκωμα αυξάνει τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 1 η περιεκτικότητα του βιοεξανθρακώματος σε P είναι υψηλή (6,15 %) γεγονός που οφείλεται στην πρώτη ύλη (λυματολάσπη) που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή του (Πίνακας 1). Πιθανότατα αυτός ήταν ένας από τους λόγους που δεν υπήρξε καμία επίδραση στον

διαθέσιμο P από τον συνδυασμό του εμβολίου με *F. mosseae* και του βιοεξανθρακώματος σε σύγκριση με τους γηγενείς Θ.Μ.Μ παρουσία βιοεξανθρακώματος.

4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα των πειραμάτων 1 και 2 έδειξαν ότι ο συνδυασμός του βιοεξανθρακώματος μαζί με μυκορριζικούς μύκητες λειτουργεί ευεργετικά για την αύξηση του μαρουλιού. Παράλληλα διαπιστώθηκε ότι μια περίοδο εξισορρόπησης 6 μηνών του εδάφους στο βιοεξανθράκωμα είναι απαραίτητη για την σταθεροποίηση του εδαφικού υποστρώματος. Όπως παρατηρήθηκε με τις αρχικά αυξημένες συγκεντρώσεις του Mg^{+} και του Ca^{+} στο πείραμα 1 κατά την προσθήκη του βιοεξανθρακώματος και την μετέπειτα σταθεροποίηση τους στο πείραμα 2. Το βιοεξανθράκωμα αύξησε την βιομάζα των φυτών του μαρουλιού. Επίσης παρατηρήθηκε σημαντική συνεισφορά του βιοεξανθρακώματος στην πρόσληψη του K^{+} (ανταλλάξιμο και υδατοδιαλυτό) στο πείραμα 2. Το βιοεξανθράκωμα δεν επηρέασε σε σημαντικό βαθμό τον αποικισμό των Θ.Μ.Μ. πιθανόν λόγω του υψηλού ποσοστού P στις επιφάνειες του βιοεξανθρακώματος. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτά, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η σωστή επιλογή του κατάλληλου βιοεξανθρακώματος, σύμφωνα με την πρώτη ύλη παρασκευής και τα φυσικοχημικά του χαρακτηριστικά για να επιτευχθεί η βέλτιστη συνεργασία με τους Θ.Μ.Μ. ερευνητικό πεδίο που απαιτεί εκτεταμένη έρευνα για τη διεξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων. Στη συγκεκριμένη έρευνα ο εμβολιασμός με Θ.Μ.Μ. δεν είχε καμία διαφορά με τον μη εμβολιασμό (γγενης κοινότητα μυκορριζικών μυκήτων) γεγονός που υποδεικνύει ότι ο εμβολιασμός με Θ.Μ.Μ. δεν λειτουργεί υποχρεωτικά ευεργετικά ως προς την ανάπτυξη των φυτών και μπορεί να αποτελέσει περιττή προσθήκη.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Chintala, R., Schumacher, T.E., Kumar, S., Malo, D.D., Rice, J.A., Bleakley, B., Chilom, G., Clay, D.E., Julson, J.L., Papiernik, S.K., Gu, Z.R., 2014. *Molecular characterization of biochars and their influence on microbiological properties of soil*. J. Hazard. Mater. 279, 244–256
- Downie, A., Crosky, A., Munroe, P., 2009. *Physical properties of biochar*. In: *Biochar for Environmental Management: Science and Technology* (Eds. Lehmann, J. & Joseph, S.), Earthscan.
- Ducey, T.M., Ippolito, J.A., Cantrell, K.B., Novak, J.M., Lentz, R.D., 2013. *Addition of activated switchgrass biochar to an aridic subsoil increases microbial nitrogen cycling gene abundances*. Applied Soil Ecology 65, 65–72
- EBC 2012. European Biochar Certificate - Guidelines for a Sustainable Production of Biochar. European Biochar Foundation (EBC), Arbaz, Switzerland. <http://www.europeanbiochar.org/en/download>. Version 8.2E of 1st September 2019.
- Gaskin, J.W., Speir, R.A., Harris, K., Das, K.C., Lee, R.D., Morris, L.A., Fisher, D.S., 2010. *Effect of peanut hull and pine chip biochar on soil nutrients, corn nutrient status, and yield*. Agronomy Journal 102:623–633
- Habte, M., Antal, M.J.,(2010. *Reaction of mycorrhizal and nonmycorrhizal Leucaena leucocephala to charcoal amendment of man sand and soil*. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 41: 540-552
- Koide, R. T., 2016. *Biochar-Arbuscular Mycorrhiza Interaction in Temperate Soils*. Mycorrhizal
- Koide, R., Li, M., 1990. *On host regulation of the vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis*. New Phytologist 114, 59–64.

- Nzanza, B., Marais, D., Soundy, P., 2012. *Effect of arbuscular mycorrhizal fungal inoculation and biochar amendment on growth and yield of tomato*. International Journal of Agriculture and Biology 14, 965–969.
- Olsen, S., Cole, C., Watanabe, F., Dean, L., 1954. *Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate*. USDA Circular Nr 939, US Gov.Print. Office, Washington, D.C.
- Rhoades, J.D., 1996. Salinity: Electrical Conductivity and Total Dissolved Solids. In: Sparks, R.L., Ed., *Methods for Soil Analysis, Part 3: Chemical Methods*, Soil Science Society of America, Madison, 417-435.
- Spokas, K., 2010. *Review of the stability of biochar in soils: Predictability of O:C molar ratios*. Carbon Management. 1. 10.4155/cmt.10.32.
- Sylvia, D.M., 1994. Vesicular-arbuscular mycorrhizal (VAM) fungi. In: Weaver, R.W., Angle, J.S., Bottomley, P.J., Bezdicek, D., Smith, S., Tabatabai, A., Wollum, A.G. (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 2. Microbiological and Biochemical Properties*. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, pp. 351-378.
- Vanek, S.J., Lehmann, J., 2015. *Phosphorus availability to beans via interactions between mycorrhizas and biochar*. Plant and Soil 395, 105–123.
- Wu, C., Hou, Y., Bie, Y., Chen, X., Dong, Y., Lin, L., 2020. *Effects of Biochar on Soil Water-Soluble Sodium, Calcium, Magnesium and Soil Enzyme Activity of Peach Seedlings*. IOP Conf. Ser.: Earth and Environmental Science 446 032007.
- Xu, G., Sun, J.-N., Shao, H.-B., Chang, S.X., 2014. *Biochar had effects on phosphorus sorption and desorption in three soils with differing acidity*. Ecological engineering. 62, 54–60.

ΕΚΧΥΛΙΣΗ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ Ν, Ρ, Κ, Β ΑΠΟ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΚΑΦΕ ΣΕ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΤΑΚΛΥΣΗΣ ΜΕ ΣΤΟΧΟ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΟΡΥΖΩΝΕΣ

Π. Κέκελης^{1,2}, Α. Παυλάτου-Βε², Γ. Στρουθόπουλος¹, Ν. Μονοκρούσος³, Β. Ασχονίτης^{1,*}

¹Ινστιτούτο Εδαφοϋδατικών Πόρων, Ελληνικός Γεωργικός Οργανισμός - ΔΗΜΗΤΡΑ, Θέρμη, 57001, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα

²Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Εδαφολογίας, Τμήμα Γεωπονίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 54124, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα

³Σχολή Ανθρωπιστικών, Κοινωνικών και Οικονομικών Σπουδών, Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος, Θέρμη 57001, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα

*e-mail: v.aschonitis@swri.gr

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση της χρήσης των αποβλήτων καφέ ως πρόσθετο υλικό της επιφανειακής λίπανσης για την περίπτωση εδαφών των ορυζώνων Θεσσαλονίκης με έμφαση στα στοιχεία Ν,Ρ,Κ,Β, τα οποία χρησιμοποιούνται σε συνθετικά λιπάσματα. Από 683 αρχικά εδάφη ορυζώνων δημιουργήθηκαν με ανάμιξη 5 μικτά «τεχνικά» εδάφη όπου εφαρμόστηκαν πέντε διαφορετικές συγκεντρώσεις αποβλήτου καφέ (0, 1, 2, 5, 10 επί τοις εκατό κ.β.). Η εφαρμογή έγινε προσομοιώνοντας συνθήκες κατάκλυσης για 8 εβδομάδες. Τα εδάφη ανακινούνταν 1 φορά την εβδομάδα και οι μετρήσεις έγιναν στο νερό της κατάκλυσης μετά από διήθηση. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων έδειξαν ότι οι συγκεντρώσεις των στοιχείων Ρ, Κ και Β, αυξήθηκαν ακόμα και στις εφαρμογές μικρών συγκεντρώσεων αποβλήτου καφέ (η επίδραση στο άζωτο ήταν αμελητέα). Το γεγονός αυτό, αποδεικνύει ότι το απόβλητο καφέ δύναται να χρησιμοποιηθεί ως συμπλήρωμα κατά την επιφανειακή λίπανση, ενώ κρίνεται αναγκαίος ο περαιτέρω πειραματισμός και με τη χρήση φυτού.

Λέξεις κλειδιά: απόβλητο καφέ, συνθήκες κατάκλυσης, εδάφη ορυζώνων, λίπανση

EXTRACTION OF N, P, K, B NUTRIENTS FROM COFFEE WASTE UNDER LABORATORY FLOODING CONDITIONS AIMING AT FUTURE APPLICATION IN RICE FIELDS

P. Kekelis^{1,2}, A. Pavlatou-Ve², G. Strouthopoulos¹, N. Monokrousos³, V. Aschonitis^{1,*}

¹Soil and Water Resources Institute, Hellenic Agricultural Organization - DIMITRA, Thermi, 57001, Thessaloniki, Greece *e-mail: v.aschonitis@swri.gr

²Laboratory of Applied Soil Science, Department of Agriculture, Aristotle University of Thessaloniki, 54124, Thessaloniki, Greece

³School of Humanities, Social Sciences and Economics, International Hellenic University, Thermi 57001, Thessaloniki, Greece

Abstract

The aim of this study is to investigate the use of coffee waste as an additive material for surface fertilization in the case of Thessaloniki rice-fields with emphasis on the elements N,P,K,B, which are used in synthetic fertilizers. Five 'technical' soils were created from 683 original paddy soils, which were further treated under five different concentrations of coffee waste (0, 1, 2, 5, 10 per cent w/w). The application was performed by simulating flooding conditions for 8 weeks. The soils were shaken once a week and measurements were made in the water after filtration. The results of the measurements showed that the concentrations of P, K and B increased even in applications of low concentrations of coffee grounds (the effect on nitrogen was negligible). This fact proves that coffee waste can be used as a supplement during surface fertilization, and further experimentation with the use of plant fertilization is necessary.

Key words: coffee waste, flooding conditions, rice soils, fertilization

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εξοικονόμηση πόρων σε κάθε τομέα της γεωργικής παραγωγικής διαδικασίας είναι πλέον επιτακτική ανάγκη, ειδικότερα όταν αυτή μπορεί να επιτευχθεί εύκολα μέσω της χρήσης αποβλήτων, τα οποία αποτελούν εν δυνάμει πηγές θρεπτικών. Οι έρευνες που πραγματοποιούνται επί τούτου, έχουν σαν απώτερο σκοπό την εφαρμογή ενός συστήματος διαχείρισης που ονομάζεται κυκλική οικονομία. Στο πλαίσιο αυτό, βασική προϋπόθεση αποτελεί η μείωση των αποβλήτων μέσω της αξιοποίησής τους σε άλλες παραγωγικές διαδικασίες (Ricciardi et al., 2020; Schmidt Rivera et al., 2020). Έχοντας υπόψιν αυτήν την αρχή, τα τελευταία χρόνια γίνεται μια προσπάθεια για χρήση των αποβλήτων του καφέ στη γεωργική διαδικασία. Σε πειράματα που έχουν διεξαχθεί, διαπιστώθηκε ότι η χρήση αποβλήτων καφέ σε γεωργικά εδάφη, αυξάνει την παραγωγικότητά τους μέσω της αύξησης της διαθεσιμότητας θρεπτικών στοιχείων και των φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους (Kasongo et al., 2011; Pujol et al., 2013).

Τα εδάφη των ορυζώνων Θεσσαλονίκης, αποτελούν μία πολύ ιδιαίτερη περίπτωση εδαφών, καθώς έχουν διαπιστωθεί εκτεταμένες ελλείψεις σε διάφορα στοιχεία, οι οποίες βασίζονται κυρίως, στην εξάντληση των εδαφών από την πολυετή και πλήρως εντατικοποιημένη καλλιέργεια ρυζιού υψηλών αποδόσεων, στη μονοκαλλιέργεια αυτού και στην αλκαλική φύση των εδαφών (Aschonitis et al., 2019).

Κρίθηκε σκόπιμη, λόγω αυτών, η διερεύνηση της χρήσης των αποβλήτων καφέ ως πρόσθετο υλικό της επιφανειακής λίπανσης για την περίπτωση των αλκαλικών εδαφών των ορυζώνων Θεσσαλονίκης με έμφαση στα στοιχεία N,P,K,B, τα οποία χρησιμοποιούνται σε χημικά λιπάσματα. Εφόσον αυτό αποδειχθεί, με περαιτέρω έρευνα και μελέτη, γίνεται ένα σημαντικό βήμα προς την εδραίωση ενός μοντέλου κυκλικής οικονομίας, όσον αφορά τον καφέ, και προς τη βελτίωση των συγκεκριμένων εδαφών, τα οποία αποτελούν πολύτιμο πόρο για την περιοχή της Θεσσαλονίκης.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Στοιχεία των εδαφικών δειγμάτων

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν 683 δείγματα εδαφών από ορυζώνες της πεδιάδας Θεσσαλονίκης. Τα συγκεκριμένα δείγματα προέρχονται από το αρχείο εδαφών του Ινστιτούτου Εδαφοϋδατικών Πόρων (ΙΕΥΠ) του ΕΛΓΟ-ΔΗΜΗΤΡΑ. Τα συγκεκριμένα δείγματα πάρθηκαν με δειγματοληψίες που περατώθηκαν πριν τη εφαρμογή βασικής λίπανσης (Φεβρουάριος-Μάρτιος) των ετών 2018 και 2019 στα πλαίσια έργου γεωργίας ακριβείας του ΙΕΥΠ. Η κατανομή των δειγμάτων με βάση τις 12 κατηγορίες εδαφικής υφής του USDA δίνεται στο Σχήμα 1 και οι μετρήσεις των παραμέτρων τους στον Πίνακα 1.

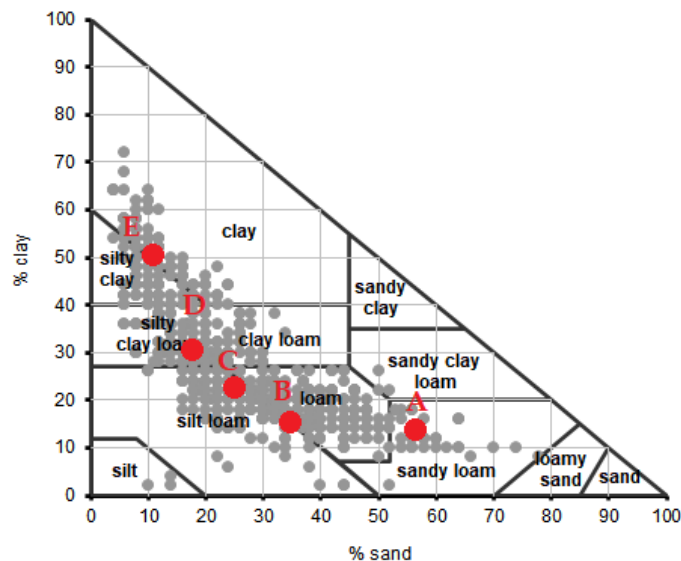
2.2 Περιοχή μελέτης

Η περιοχή μελέτης είναι τα γεωργικά εδάφη εκατέρωθεν του ποταμού Αξιού μεταξύ του φράγματος και του Δέλτα. Η μέση ετήσια βροχόπτωση και θερμοκρασία στην περιοχή μελέτης είναι 440 mm και 15,8 °C, αντίστοιχα, σύμφωνα με τη βάση δεδομένων Worldclim (Hijmans et al., 2005; Fick et al., 2017), ενώ η μέση ετήσια εξατμισοδιαπνοή αναφοράς, σύμφωνα με την ASCE-standardized μέθοδο (Allen et al., 2005) για κοντό γρασίδι είναι 1040 mm (Aschonitis et al., 2017). Το κλίμα της περιοχής μελέτης ταξινομείται ως Cfa/BSk που συνορεύει με το Csa, σύμφωνα με το αναθεωρημένο σύστημα ταξινόμησης Köppen Geiger (Peel et al., 2007).

Πίνακας 1. Στατιστικά στοιχεία των παραμέτρων που προέκυψαν από τις 683 θέσεις δειγματοληψίας.

Παράμετρος	Μέσος όρος	Διάμεσος	Τυπική απόκλιση	Ελάχιστο	Μέγιστο
Άμμος (%)	25,12	22	13,94	4,00	84,00
Άργιλος (%)	28,95	26	14,56	2,00	90,00
Ιλύς (%)	45,93	46	9,99	2,00	88,00
pH	7,93	7,96	0,20	6,30	8,52
EC (mS/cm)	1,42	1,104	0,94	0,37	9,04
Οργ.Ουσία (%) ¹	2,27	2,14	0,71	0,78	7,73
CaCO ₃ (%)	8,10	8	2,51	1,30	17,30
NO ₃ -N (ppm)	6,75	5,72	5,14	0,18	69,57
P-Olsen (ppm)	26,44	14,31	33,59	1,69	166,96
K (ppm)	306,88	239	206,08	51,00	1762,00
Ca (ppm)	>3000	>3000	-	1645,00	>3000
Mg (ppm)	567,31	488	269,55	83,00	1613,00
Fe (ppm)	74,10	67,77	31,48	17,88	211,73
Zn (ppm)	1,25	1,03	0,80	0,21	8,10
Mn (ppm)	16,96	14,69	8,93	3,88	60,65
Cu (ppm)	7,32	7,03	2,55	1,14	19,81
B (ppm)	0,59	0,46	1,91	0,10	50,00

¹Οργανική ουσία εδάφους (%) = 2 × οργανικός άνθρακας εδάφους (%) (Van Reeuwijk, 2002).



Σχήμα 1. Κατανομή της μηχανικής σύστασης με βάση τις 12 κατηγορίες εδαφικής υφής κατά USDA των 683 αρχικών δειγμάτων και των 5 μικτών αντιπροσωπευτικών δειγμάτων μετά την ανάμειξή τους σε σχέση με την αντίστοιχη διασπορά των αρχικών.

Η συγκεκριμένη περιοχή αρδεύεται από το φράγμα του ποταμού Αξιού. Το νερό παρέχεται στους αγρούς μέσω ενός ανοικτού και εκτεταμένου συλλογικού αρδευτικού δικτύου, ενώ η αποστράγγιση επιτυγχάνεται μέσω ενός αποστραγγιστικού δικτύου που διοχετεύει το νερό στη θάλασσα του Θερμαϊκού κόλπου με τη χρήση αντλιοστασίων.

Η κύρια καλλιεργούμενη καλλιέργεια είναι το ρύζι, όπου στις περισσότερες περιπτώσεις εφαρμόζεται τριετές πρόγραμμα αμειψισποράς (αραβόσιτος, βαμβάκι, ζωοτροφές), ενώ σε

περιπτώσεις εδαφών υψηλής αλατότητας γίνεται συνήθως μονοκαλλιέργεια. Τα χωράφια ρυζιού καλλιεργούνται συμβατικά με όργωμα σε πλάκες τον Νοέμβριο, ισοπέδωση του εδάφους στα τέλη Απριλίου και σβάρνισμα για τη σποροκλίση. Το πρόγραμμα άρδευσης στην περιοχή για το ρύζι συνίσταται σε συνεχή κατάκλυση με βραχυπρόθεσμες διακοπές (Litskas et al., 2010; 2014).

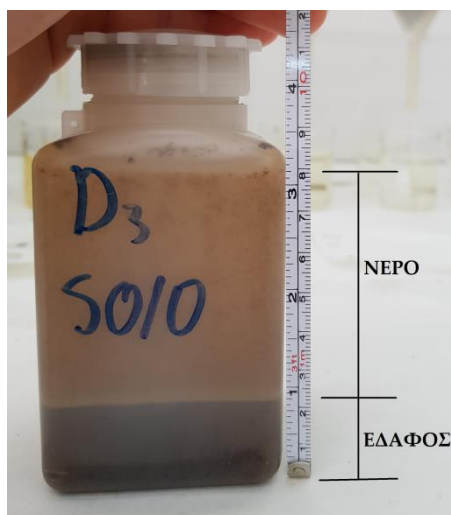
Η γενική πρακτική αζωτούχου λίπανσης σε αυτά τα χωράφια ρυζιού αποτελείται από α) μια βασική δόση 160 kg N ha^{-1} με τη μορφή ουρίας, η οποία παρέχεται με τη διασπορά 500 kg ha^{-1} ενός χημικού λιπάσματος 32-5-5, και β) μια δόση 110 kg N ha^{-1} ως ουρία κατά τη συμπληρωματική λίπανση. Η πρακτική αυτή υιοθετήθηκε από τους γεωργούς επειδή οι νέες ποικιλίες νάνοι που χρησιμοποιούνται στην περιοχή αυτή είναι περισσότερο απαιτητικές σε άζωτο και ιδιαίτερα παραγωγικές, επιτυγχάνοντας αποδόσεις $\sim 9,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ κατά μέσο όρο (που κυμαίνονται μεταξύ 8 και 12 Mg ha^{-1}) και καλύπτοντας έκταση $\sim 20.000 \text{ ha}$ με βάση τα αρχεία της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής. Η συγκεκριμένη περιοχή αποτελεί αντιπροσωπευτικό παράδειγμα αγρο-οικοσυστήματος ρυζιού, όπου η καλλιέργεια ρυζιού εφαρμόζεται για περισσότερα από 60 χρόνια {οι πρώτοι πειραματικοί ορυζώνες εμφανίστηκαν στην περιοχή το 1949 σύμφωνα με τον Παπαδόπουλο (1968)}.

2.2 Πειραματική εφαρμογή του αποβλήτου καφέ στα εδαφικά δείγματα ορυζώνων

Τα 683 δείγματα εδάφους που συλλέχθηκαν, ομαδοποιήθηκαν βάσει της κοκκομετρικής τους σύστασης, προκειμένου να δημιουργηθούν πέντε μικτά αντιπροσωπευτικά δείγματα εδάφους. Η ομαδοποίηση έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε η τελική μηχανική σύσταση των πέντε μικτών δειγμάτων στο τρίγωνο μηχανικής σύστασης μετά την ανάμειξη να παρουσιάζει διασπορά κατά μήκος του βασικού τόξου διασποράς τους (Σχήμα 1). Τα πέντε μικτά δείγματα χρησιμοποιήθηκαν στον πειραματισμό της συγκεκριμένης εργασίας προκειμένου να εξεταστεί ο παράγοντας εδάφους.

Το απόβλητο καφέ που χρησιμοποιήθηκε στον πειραματισμό, προήλθε από διάφορες καφετέριες της Θεσσαλονίκης, όπου ζητήθηκε το απολεσθέν τμήμα κατά την προετοιμασία καφέδων τύπου espresso και γαλλικού (φίλτρου), τα οποία ομογενοποιήθηκαν σε ένα τελικό μίγμα, το οποίο τοποθετήθηκε στους 35°C προς ξήρανση για 10 ημέρες.

Τα πέντε μικτά αντιπροσωπευτικά εδάφη (A, B, C, D, E) (Σχήμα 1) αναμίχθηκαν με καφέ σε πέντε αναλογίες 0%, 1%, 2%, 5% και 10% κατά βάρος (w/w). Απιονισμένο νερό 200 ml και 50 g μίγματος από κάθε μεταχείριση (5 εδάφη \times 5 ποσοστά καφέ = 25 μεταχειρίσεις) τοποθετήθηκαν σε παραλληλεπίπεδα πλαστικά φιαλίδια των 250 ml με 6 επαναλήψεις. Η επιλογή της συγκεκριμένης αναλογίας εδάφους νερού έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε η στήλη νερού-εδάφους σε ηρεμία να προσομοιώνει τα πρώτα $\sim 2,5 \text{ cm}$ εδάφους ανάμειξης (δηλ. επιφανειακή εφαρμογή καφέ) με $\sim 5,5 \text{ cm}$ ύψους νερού (Σχήμα 2), το οποίο εκφράζει το μέσο όρο ύψους νερού κατάκλυσης των ορυζώνων κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου (Ασχονίτης, 2012). Έχοντας ως σκοπό τη διερεύνηση των θρεπτικών στοιχείων που το απόβλητο καφέ δύναται να προσφέρει στο διάλυμα, πραγματοποιούνταν ανακινήσεις των φιαλιδίων, 1 φορά την εβδομάδα, για το διάστημα των 8 εβδομάδων που αυτά έμειναν σε αυτήν την κατάσταση. Μετά το πέρας των 8 εβδομάδων, πραγματοποιήθηκε διπλή διήθηση όλων των δειγμάτων με χρήση διηθητικού χαρτιού 110 mm. Στο καθαρό προϊόν που παραλήφθηκε μετά τη διαδικασία της διήθησης, πραγματοποιήθηκαν όλες οι ακόλουθες αναλύσεις α) Ανόργανο άζωτο ως άθροισμα του νιτρικού και αμμωνιακού αζώτου (Clesceri et al., 1998) στο φασματοφωτόμετρο, β) ο διαθέσιμος φώσφορος σύμφωνα με τη μέθοδο Olsen (Watanabe and Olsen, 1965), γ) το K στο ICP, και δ) το βόριο με τη μέθοδο αζωμεθίνης-H (Bingham, 1982).



Σχήμα 2. Παραλληλεπίπεδα πλαστικά φιαλίδια των 250 ml για την προσομοίωση των συνθηκών κατάκλυσης.

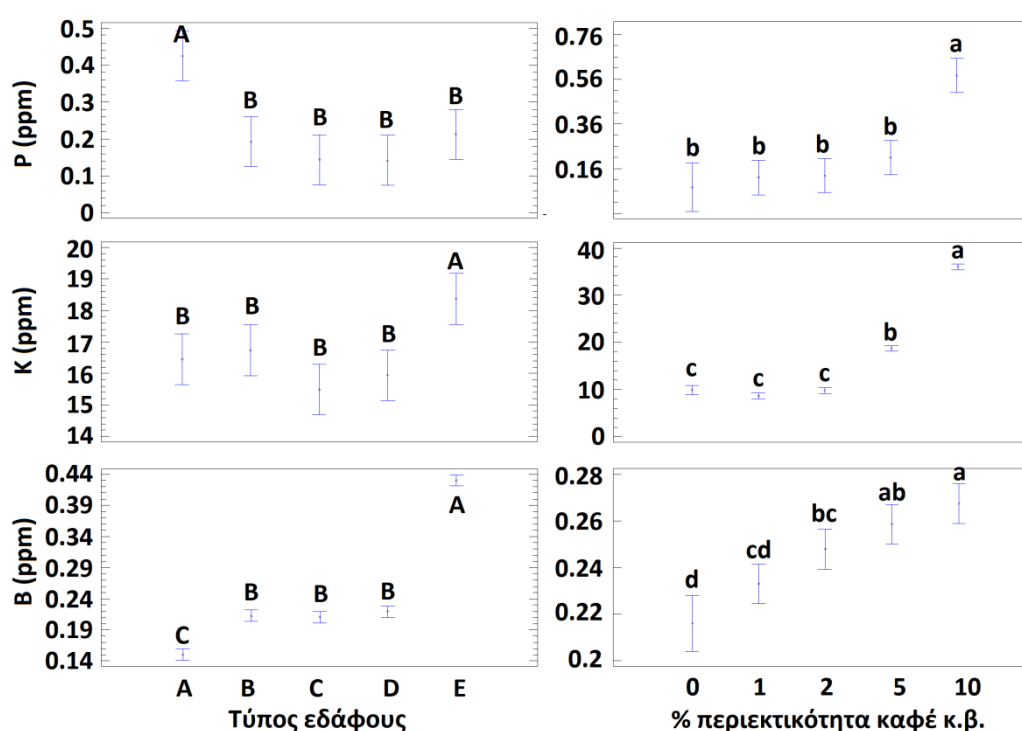
Στα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων έγινε στατιστική επεξεργασία με τη χρήση του λογισμικού STAGRAPHS Centurion 18 version 18.1.12. Η ανάλυση που χρησιμοποιήθηκε είναι ANOVA Type III Sums of Squares κατά δύο παράγοντες (τύπος εδάφους, περιεκτικότητα σε καφέ και η αλληλεπίδραση μεταξύ τους) για την εύρεση στατιστικών διαφορών μεταξύ των μέσων όρων των επαναλήψεων για επίπεδο εμπιστοσύνης 0,05 ενώ έγινε και έλεγχος πολλαπλής κύμανσης (multiple range tests) με χρήση της μεθόδου ελάχιστης σημαντικής διαφοράς (LSD) επίσης για επίπεδο εμπιστοσύνης 0,05 προκειμένου να εξεταστούν οι επιμέρους διαφοροποιήσεις μεταξύ των μεταχειρίσεων. Η περίπτωση του ανόργανου αζώτου δεν έδωσε στατιστικώς σημαντικές διαφορές (λόγω πολύ χαμηλών τιμών) και για το λόγο αυτό παραλήφθηκε από τα αποτελέσματα.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η ανάλυση ANOVA για την περίπτωση του φωσφόρου, του καλίου και του βορίου, για επίπεδο εμπιστοσύνης $p < 0,05$, εντόπισε στατιστικώς σημαντικές επιδράσεις τόσο για την περίπτωση του παράγοντα έδαφος όσο και για την περίπτωση επίδρασης της περιεκτικότητας καφέ. Η αλληλεπίδραση των δύο παραγόντων (έδαφος, % καφέ) βρέθηκε στατιστικώς σημαντική για την περίπτωση του P και K ($p < 0,05$) αλλά όχι για του B ($p = 0,102$) Στον Πίνακα 2α,β,γ δίνονται οι μέσες τιμές και οι τυπικές αποκλίσεις των συγκεντρώσεων P, K, B, αντίστοιχα, ανά συνδυασμό μεταχείρισης τύπου εδάφους και περιεκτικότητας σε καφέ ενώ οι αντίστοιχες ενδείξεις των επιμέρους διαφορών των συγκεντρώσεων για κάθε στοιχείο με βάση την επίδραση του εδάφους και της % περιεκτικότητας κ.β. καφέ, ξεχωριστά, σύμφωνα με τα αποτελέσματα των ελέγχων πολλαπλής κύμανσης κατά LSD για επίπεδο εμπιστοσύνης 0,05 δίνεται στο Σχήμα 3.

Πίνακας 2. Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις συγκεντρώσεων P,K,B (ppm) διαλύματος με βάση τον τύπο εδάφους και την % περιεκτικότητα κ.β. σε καφέ.

Έδαφος	Μεταχείριση καφέ (% κ.β.)				
	0	1%	2%	5%	10%
α) P					
A	0,061±0,01	0,103±0,04	0,153±0,04	0,306±0,15	1,499±1,09
B	0,081±0,01	0,106±0,02	0,12±0,02	0,187±0,05	0,469±0,11
C	0,068±0,03	0,088±0,03	0,125±0,04	0,16±0,05	0,28±0,07
D	0,061±0,01	0,1±0,04	0,11±0,02	0,161±0,03	0,28±0,05
E	0,115±0,05	0,21±0,1	0,14±0,03	0,242±0,03	0,356±0,11
β) Κ					
A	6,147±1,01	7,016±0,75	9,784±1,46	20,487±2,44	36,972±2,26
B	10,137±1,19	6,911±0,34	8,653±0,47	18,598±0,58	39,438±3,16
C	9,124±3,46	7,262±0,68	9,255±1,19	17,235±1,24	34,693±1,24
D	8,703±4,75	11,336±1,70	8,292±1,08	16,08±0,48	35,015±3,79
E	15,423±2,38	10,547±1,74	12,65±2,58	21,087±3,70	33,985±7,05
γ) Β					
A	0,145±0,03	0,138±0,02	0,149±0,02	0,163±0,03	0,168±0,01
B	0,205±0,03	0,192±0,01	0,206±0,01	0,227±0,02	0,244±0,02
C	0,176±0,08	0,211±0,02	0,22±0,02	0,216±0,02	0,227±0,02
D	0,209±0,07	0,19±0,02	0,21±0,03	0,252±0,01	0,245±0,03
E	0,345±0,14	0,435±0,04	0,454±0,04	0,435±0,02	0,453±0,03



Σχήμα 3. Ανάλυση πολλαπλής κύμανσης των συγκεντρώσεων P,K,B, στο διάλυμα διήθησης με βάση τον παράγοντα έδαφος (γραφήματα από αριστερά, διαφορετικά κεφαλαία γράμματα υποδηλώνουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές για $p < 0,05$) και με βάση τον παράγοντα της % περιεκτικότητας κ.β. καφέ (γραφήματα από δεξιά, διαφορετικά μικρά γράμματα υποδηλώνουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές για $p < 0,05$).

Λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα για την περίπτωση του φωσφόρου διαπιστώθηκαν τα εξής (Πίνακας 2α, Σχήμα 3):

- Σε όλες τις περιπτώσεις των εδαφών η αύξηση της % περιεκτικότητας σε καφέ οδήγησε σε αύξηση του φωσφόρου στο εδαφικό διάλυμα. Στατιστικώς σημαντική αύξηση όμως παρατηρήθηκε για περιεκτικότητα καφέ >5%.
- Για την περίπτωση του παράγοντα εδάφους, παρατηρήθηκε ότι ο τύπος εδάφους A, με το μεγαλύτερο ποσοστό σε άμμο και το μικρότερο ποσοστό σε άργιλο, έδειξε τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις φωσφόρου.

Λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα για την περίπτωση του καλίου διαπιστώθηκαν τα εξής (Πίνακας 2β, Σχήμα 3):

- Σε όλες τις περιπτώσεις των εδαφών η % αύξηση της περιεκτικότητας σε καφέ οδήγησε σε αύξηση του καλίου στο εδαφικό διάλυμα. Στατιστικώς σημαντική αύξηση όμως παρατηρήθηκε για περιεκτικότητα καφέ >2%.
- Για την περίπτωση του παράγοντα εδάφους, παρατηρήθηκε ότι ο τύπος εδάφους E, με το μεγαλύτερο ποσοστό σε άργιλο και το μικρότερο ποσοστό σε άμμο, έδειξε τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις καλίου.

Λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα για την περίπτωση του βορίου διαπιστώθηκαν τα εξής (Πίνακας 2γ, Σχήμα 3):

- Σε όλες τις περιπτώσεις των εδαφών η αύξηση της % περιεκτικότητας σε καφέ οδήγησε σε αύξηση του βορίου στο εδαφικό διάλυμα. Στατιστικώς σημαντική αύξηση παρατηρήθηκε για περιεκτικότητα καφέ >1%.
- Για την περίπτωση του παράγοντα εδάφους, παρατηρήθηκε ότι ο τύπος εδάφους E, με το μεγαλύτερο ποσοστό σε άργιλο και το μικρότερο ποσοστό σε άμμο, έδειξε τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις βορίου.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων, εξάχθηκε το συμπέρασμα ότι η εφαρμογή του καφέ αυξάνει σημαντικά τη διαθεσιμότητα του φωσφόρου, του καλίου και του βορίου και λόγω αυτού, δύναται να χρησιμοποιηθεί ως συμπλήρωμα κατά την επιφανειακή λίπανση, με σκοπό τη μείωση του κόστους αγοράς των λιπασμάτων. Ασφαλώς, κρίνεται αναγκαία περαιτέρω έρευνα επ' αυτού, με τη χρήση φυτού επί του εδάφους, για ασφαλέστερα συμπεράσματα.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Allen, R.G.; Walter, I.A.; Elliott, R.; Howell, T.; Itenfisu, D.; Jensen, M. The ASCE Standardized Reference Evapotranspiration Equation; Final Report (ASCE-EWRI); Environmental and Water Resources Institute (EWRI); American Society of Civil Engineers (ASCE): Reston, VA, USA, 2005.

Aschonitis, B, 2012. *Μαθηματική διερεύνηση εξατμισοδιαπνοής, φυσικών ιδιοτήτων εδάφους και ισοζυγίου νερού, αζώτου και φωσφόρου στο περιβάλλον αρδευομένων ορυζώνων*. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Γεωπονική Σχολή Α.Π.Θ., 19-20 σελ.

Aschonitis, V., Karydas, C. G., Iatrou, M., Mourelatos, S., Metaxa, I., Tziachris, P., and Iatrou, G., 2019. *An Integrated Approach to Assessing the Soil Quality and Nutritional Status of Large and Long-Term Cultivated Rice Agro-Ecosystems*. Agriculture, 9(4), 80.

Aschonitis, V.G., Papamichail, D., Demertzi, K., Colombani, N., Mastrocicco, M., Ghirardini, A., Castaldelli, G. and Fano, E.-A, 2017. *High-resolution global grids of revised Priestley-*

- Taylor and Hargreaves-Samani coefficients for assessing ASCE-standardized reference crop evapotranspiration and solar radiation.* Earth Syst. Sci. Data 2017, 9, 615–638.
- Bingham, F.T. Boron. In *Methods of Soil Analysis Part-2 Chemical and Mineralogical Properties*; Page, A.L., Ed.; ASA and SSSA: Madison, WI, USA, 1982; pp. 431–448.
- Clesceri, L.S., Greenbert, A.E., Eaton, A.D. and Franson, M.A.H., 1998. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20th ed., American Public Health Association: Washington, DC, USA.
- Fick, S.E., Hijmans, R.J. and WorldClim 2, 2017. *New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas.* Int. J. Climatol, 37, 4302–4315, doi:10.1002/joc.5086.
- Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G. and Jarvis, A., 2005. *Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas.* Int. J. Climatol, 25, 1965–1978.
- Kasongo, R.K., Verdoodt, A., Kanyankagote, P., Baert, G. and Ranst, E.V., 2011. *Coffee waste as an alternative fertilizer with soil improving properties for sandy soils in humid tropical environments.* Soil Use and Management, 27 (1), pp. 94-102.
- Litskas, V.D., Aschonitis, V.G. and Antonopoulos, V.Z., 2010. *Water quality in irrigation and drainage networks of Thessaloniki plain in Greece related to land use, water management, and agroecosystem protection.* Environ. Monit. Assess. 163, 347–359.
- Litskas, V.D., Aschonitis, V.G., Lekakis, E.H. and Antonopoulos, V.Z., 2014. *Effects of land use and irrigation practices on Ca, Mg, K, Na loads in rice-based agricultural systems.* Agric. Water Manag. 132, 30–36.
- Papadopoulos, G.A., 1968. *Contribution in Studies for Exploiting the Saline Soils of Macedonia; General Organization of Land Reclamation Lagada*. Ministry of Agriculture: Thessaloniki, Greece. (In Greek)
- Peel, M.C., Finlayson, B.L. and McMahon, T.A., 2007. *Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification.* Hydrol. Earth Syst. Sci. 11, 1633–1644.
- Pujol, D., Liu, C., Gominho, J., Olivella, M.À., Fiol, N., Villaescusa, I. and Pereira, H., 2013. *The chemical composition of exhausted coffee waste.* Industrial Crops and Products, 50, pp. 423-429.
- Ricciardi, P., Cillari, G., Carnevale Miino, M. and Collivignarelli, M.C., 2020. *Valorization of agro-industry residues in the building and environmental sector: A review.* Waste Management and Research, 38 (5), pp. 487-513.
- Schmidt Rivera, X.C., Gallego-Schmid, A., Najdanovic-Visak, V. and Azapagic, A., 2020. *Life cycle environmental sustainability of valorisation routes for spent coffee grounds: From waste to resources.* Resources, Conservation and Recycling, 157, art. no. 104751.
- Van Reeuwijk, L.P., 2002. *Procedures for Soil Analysis*. Tech. Paper 9, International Soil Reference and Information Centre: Wageningen, The Netherlands.
- Watanabe, F.S. and Olsen, S.R., 1965. *Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO₃ extracts from soil.* Soil Sci. Soc. Am. J. 29, 677–678.

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΒΙΟΔΙΕΓΕΡΤΗ ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΟΣ ΦΥΚΙΩΝ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΛΗΨΗ ΣΕΛΗΝΙΟΥ ΑΠΟ ΦΥΤΑ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ (*LACTUCA SATIVA*) ΠΟΥ ΑΝΑΠΤΥΧΘΗΚΑΝ ΣΕ ΑΣΒΕΣΤΟΥΧΟ ΕΔΑΦΟΣ

Ι. Ζαφειρίου^{1*}, Ε. Τρικόγλου Καρύκα¹, Κ. Κουνάνη¹, Δ. Γασπαράτος¹, Ι. Μάσσας¹

¹Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ιερά Οδός 75, 11855

* j.zafeiriou@gmail.com

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Με στόχο να διερευνηθεί ο εμπλουτισμός καλλιέργειας μαρουλιού (*Lactuca sativa*) με σελήνιο (Se), όταν αυτό προστίθεται στο εδαφικό περιβάλλον με την μορφή σεληνιακού νατρίου και η πιθανή επίδραση ενός βιοδιεγέρτη εκχυλίσματος φυκιών στην παραπάνω διαδικασία, σχεδιάστηκε και εκτελέστηκε ένα διπαραγοντικό πείραμα θερμοκηπίου σε φυτοδοχεία. Ο πρώτος από τους παράγοντες ήταν η παρουσία ή όχι βιοδιεγέρτη κατά την ανάπτυξη των φυτών και ο δεύτερος η δόση εφαρμογής του σεληνίου (5 και 10 mg Se kg⁻¹ εδάφους). Τα φυτά αναπτύχθηκαν στο θερμοκήπιο για 10 εβδομάδες και έπειτα ακολούθησε κοπή και προσδιορισμός βιομετρικών χαρακτηριστικών και συγκεντρώσεων των στοιχείων Se, P, S. Πριν την κοπή πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις SPAD, NDVI και NDRE. Οι χαμηλές δόσεις σεληνίου είχαν θετική επίδραση στην ανάπτυξη των φυτών, ενώ οι μεγάλες οδήγησαν σε τοξικότητα. Η συγκέντρωση του σεληνίου στους φυτικούς ιστούς εμφάνισε αρνητική συσχέτιση με την συγκέντρωση του φωσφόρου και θετική με αυτή του θείου. Οι τιμές SPAD, NDVI και NDRE είχαν θετική συσχέτιση με χαρακτηριστικά ανάπτυξης των φυτών.

Λέξεις κλειδιά: Σελήνιο, ασβεστούχο έδαφος, μαρούλι, βιοδιεγέρτης

EFFECT OF BIOSTIMULANT (SEAWEED EXTRACT) ON Se UPTAKE BY *LACTUCA SATIVA* CULTIVATED IN A CALCAREOUS SOIL

I. Zafeiriou¹, E.T. Karyka¹, K. Kounani¹, D. Gasparatos¹, I. Massas¹

¹Agricultural University of Athens, Iera Odos 75, 11855, Athens, Greece

*email: j.zafeiriou@gmail.com

ABSTRACT

In order to study the uptake of selenium (Se) in lettuce (*Lactuca sativa*) when added to the soil in the form of sodium selenate, and to investigate the possible effect of a seaweed extract as a biostimulant, a greenhouse experiment was designed and carried out with two factors in pots. The first factor was the presence or absence of the biostimulant during plant growth and the second factor was the application rate of selenium (5 and 10 mg Se kg⁻¹ soil). Plants were grown in the greenhouse for 10 weeks, then they were cut and the biometric characteristics and the concentrations of Se, P and S were determined. Before cutting, SPAD, NDVI, and NDRE measurements were made. Low doses of selenium had a positive effect on plant growth, while high doses resulted in toxicity. Selenium concentration in plant tissues showed a negative correlation with phosphorus concentration and a positive correlation with sulfur concentration. SPAD, NDVI and NDRE values showed positive correlation with plant growth characteristics.

Keywords: Selenium, calcareous soil, lettuce, biostimulant

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Έχει αποδειχθεί ότι το Σελήνιο (Se), όταν βρίσκεται σε μικρές συγκεντρώσεις, αποτελεί ένα πολύ σημαντικό ιχνοστοιχείο για τη φυσιολογική ανάπτυξη των ζωντανών οργανισμών, λόγω της κρίσιμης συμβολής του σε πολλές βιοχημικές αντιδράσεις. Για τον άνθρωπο και τα ζώα, είναι ένα απαραίτητο στοιχείο για την αντιοξειδωτική δραστηριότητα, την καλή λειτουργία του θυρεοειδούς αδένος και την πρόληψη της καρκινογένεσης (Gupta and Gupta, 2017; Natasha et al, 2018; Hasanuzzaman et al, 2020). Για τα φυτά, έχει αναφερθεί πως ενισχύει την αντιοξειδωτική δραστηριότητα, την ανοχή στα βαρέα μέταλλα και τους παθογόνους μικροοργανισμούς, ενώ παράλληλα αυξάνει την απόδοση της παραγωγή (Gupta and Gupta, 2017; Natasha et al, 2018; Hasanuzzaman et al, 2020). Το βέλτιστο επίπεδο σεληνίου στους ζωντανούς οργανισμούς είναι αρκετά στενό σε εύρος (Rayman et al, 2012) και έτσι η έλλειψη του στοιχείου μπορεί να μετατραπεί ραγδαία σε τοξικότητα (Sharma et al, 2017). Η βέλτιστη ημερήσια δόση για τον άνθρωπο σύμφωνα με την οδηγία του ΠΟΥ θεωρείται ότι είναι 55 μg (FAO, 2009), ενώ τα προβλήματα τοξικότητας αρχίζουν να εμφανίζονται όταν αυτή υπερβαίνει τα 400 μg ημερησίως.

Η συνολική συγκέντρωση σεληνίου στα εδάφη παγκοσμίως κυμαίνεται από 0,01 - 2,0 mg kg^{-1} . Τα εδάφη που περιέχουν Se περισσότερο πάνω από 2 mg kg^{-1} χαρακτηρίζονται ως σεληνιούχα (Natasha et al, 2018) και έχουν καταγραφεί σε πολλές χώρες όπως η Κίνα, η Ινδία, οι ΗΠΑ και η Ιρλανδία. Τα εδάφη που απαντώνται στην Ευρώπη έχουν μικρές συγκεντρώσεις σε Se, ιδίως στη Γερμανία, τη Φινλανδία, τη Σκωτία και τις Βαλκανικές χώρες, και σύμφωνα με τους Gupta και Gupta (2017), η Ελλάδα είναι μία από αυτές.

Εκτός από τη συνολική συγκέντρωση Se στα εδάφη, η κλασμάτωση και η χημική μορφή του επηρεάζουν επίσης την βιοδιαθεσιμότητα του στοιχείου (Wang et al., 2018). Ως εκ τούτου, η χημική συμπεριφορά του Se σε συνδυασμό με τις φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους, όπως το pH και το Eh, η περιεκτικότητα σε άργιλο, τα οξείδια σιδήρου και μαγγανίου, η οργανική ουσία και η μικροβιακή δραστηριότητα, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Η ικανότητα πρόβλεψης της βιοδιαθεσιμότητας του Se στο περιβάλλον απαιτεί την κατανόηση των φαινομένων προσρόφησης-εκρόφησης, των αντιδράσεων οξείδωσης-αναγωγής, της συμπλοκοποίησης και της καθίζησης. Τα σεληνιώδη ιόντα (SeO_2^{2-}) φαίνεται να σχηματίζουν ενδοσφαιρικά σύμπλοκα με συστατικά του εδάφους και παρουσιάζουν υψηλότερα επίπεδα προσρόφησης σε σχέση με τα σεληνιακά ιόντα (SeO_4^{2-}) που τείνουν να σχηματίζουν σύμπλοκα εξωτερικής σφαίρας.

Η ικανότητα των φυτών να προσλαμβάνουν Se είναι άμεσα συνδεδεμένη με τα βοτανικά τους χαρακτηριστικά με συνέπεια να διαφέρει μεταξύ των ειδών (De Temmerman et al., 2014). Τα φυτά που συσσωρεύουν περισσότερα από 1 g Se kg^{-1} ξηρού βάρους ταξινομούνται ως υπερσυσσωρευτές, ενώ στους δευτερογενείς συσσωρευτές, κατατάσσονται φυτικά είδη που συσσωρεύουν 100-1000 mg kg^{-1} ξηρού βάρους (Elis and Salt, 2003). Δεδομένου ότι το σελήνιο εμφανίζεται κυρίως στο πρωτεϊνικό κλάσμα, τα φρούτα, και τα λαχανικά που συνήθως περιέχουν μια μικρή ποσότητα πρωτεΐνης, αποτελούν φτωχή πηγή σεληνίου (Navarro-Alarcón and Cabrera-Vique, 2008).

Λαμβάνοντας υπόψη πως τα φυτά αποτελούν τον πρώτο κρίκο της τροφικής αλυσίδας, η ικανότητά τους να συσσωρεύουν σελήνιο είναι ζωτικής σημασίας για τη διατροφή και την υγεία του ανθρώπου. Ο αγρονομικός εμπλουτισμός (εφαρμογή λιπασμάτων) είναι μια κοινή πρακτική για τον εμπλουτισμό με Se σε καλλιέργειες που παράγονται σε εδάφη με ανεπάρκεια Se (Natasha et al, 2018; Hasanuzzaman et al, 2020). Ο εμπλουτισμός των καλλιεργειών μέσω λίπανσης είναι μια ασφαλής μέθοδος για τον εμπλουτισμό των τροφίμων των ανθρώπων και των ζώων με Se, καθώς οι πιθανότητες υπερδοσολογίας που

καταναλώνεται μέσω φυτικών τροφίμων είναι χαμηλές (Natasha et al, 2018). Παρόλο αυτά, η εφαρμογή των βιοδιεγερτών ως καινοτόμα προϊόντα θρέψης των φυτών, στην διαθεσιμότητα του Se και στην πρόσληψή του από τα φυτά αποτελεί ένα ερευνητικό αντικείμενο που δεν έχει μελετηθεί επαρκώς.

Δεδομένου ότι το μαρούλι (*Lactuca sativa*) είναι η πιο διαδεδομένη καλλιέργεια λαχανικού σε παγκόσμιο επίπεδο, η επιλογή του ως στόχου πειραματικής μελέτης και η προσπάθεια εμπλουτισμού της διατροφικής του αξίας με ιχνοστοιχεία είναι αναμενόμενη και παράλληλα αυτό που επιχειρήθηκε και στην παρούσα μελέτη. Συγκεκριμένα, στόχοι της εργασίας ήταν η μελέτη: α) της πρόσληψης Se το οποίο προστέθηκε στο έδαφος με τη μορφή του σεληνιώδους νατρίου από φυτά μαρουλιού, β) της επίδρασης ενός βιοδιεγέρτη στην πρόσληψη των Se, S και P, γ) της επίδρασης της προσθήκης Se στην πρόσληψη των θείου και φωσφόρου από τα φυτά και δ) η αξιολόγηση των μετρήσεων SPAD (εκτίμηση χλωροφύλλης), NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) και NDRE (red-edge index).

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Επιλογή εδάφους και χαρακτηρισμός φυσικοχημικών του ιδιοτήτων

Ένα ασβεστούχο πηλώδες έδαφος (Loam), τυπικό για καλλιέργεια λαχανικών, συλλέχθηκε από την αγροτική περιοχή του Μαρκόπουλου, Ανατολικής Αττικής και μεταφέρθηκε μέσα σε αποστειρωμένες πλαστικές σακούλες των 20 L στο εργαστήριο Εδαφολογίας και Γεωργικής Χημείας του ΓΠΑ, όπου αεροξηράνθηκε, λειοτριβήθηκε και αφού πέρασε από κόσκινο 2 mm στη συνέχεια αποθηκεύτηκε για περαιτέρω αναλύσεις.

Στο ομογενοποιημένο πλέον έδαφος πραγματοποιήθηκε πλήρες σετ εδαφολογικών αναλύσεων σε τρεις επαναλήψεις και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ως μέσες τιμές στον Πίνακα 1.

Το pH του εδάφους και η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) μετρήθηκαν σε πάστα κορεσμού που δημιουργήθηκε σε αναλογία 1:1 w/w (έδαφος/νερό) (Page et al, 1982). Η κοκκομετρική σύσταση του εδάφους προσδιορίστηκε με χρήση της μεθόδου υδρόμετρου του Βουγιούκου, ενώ το ποσοστό οργανικής ουσίας στα εδαφικά δείγματα προσδιορίστηκε με την μέθοδο των Walkley-Black's (Βουγουκος, 1951; Nelson and Sommers, 1982). Το ποσοστό ισοδύναμου ανθρακικού ασβεστίου προσδιορίστηκε με χρήση ασβεστομέτρου Bernard (NF ISO 10693), ενώ το ποσοστό ενεργού ασβεστόλιθου προσδιορίστηκε με χρήση της μεθόδου του οξαλικού αμμωνίου, όπως αυτή τροποποιήθηκε από τους Loerppert and Suarez (1982). Η συγκέντρωση του διαθέσιμου φωσφόρου (Olsen-P) προσδιορίστηκε σε μήκος κύματος 882 nm σε ένα φασματοφωτόμετρο Shimadzu UV-1700, αφού πρώτα είχε επιτευχθεί ανάπτυξη χρώματος με προσθήκη αντιδραστηρίου Murphry-Rily (Olsen et al, 1954). Το ποσοστό άμορφων οξειδίων του σιδήρου (Feo), του μαγγανίου (Mno) και του αργιλίου (Alo) υπολογίστηκε με χρήση της μεθόδου του οξαλικού αμμωνίου (Schwertmann and Taylor, 1989), ενώ τα ελεύθερα οξείδια του σιδήρου (Fed), του μαγγανίου (Mnd) και του αργιλίου (Ald) προσδιορίστηκαν με τη μέθοδο του διθειονικού νατρίου (CDB) όπως αυτή προτάθηκε από τους Mehra και Jackson (2013). Για τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων του σιδήρου (Fe), του μαγγανίου (Mn) και του αργιλίου (Al) χρησιμοποιήθηκε φασματοφωτομετρία ατομικής απορρόφησης Varian—spectraAA-300. Η ολική συγκέντρωση σεληνίου εκχυλίστηκε με aqua regia (Gasparatos and Haidouti, 2001) και για τον προσδιορισμό του χρησιμοποιήθηκε γεννήτρια υδριδίων Varian model VGA77.

Πίνακας 5: Φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους.

<i>Εδαφική Ιδιότητα</i>	<i>Τιμή</i>
Άργιλος (%)	18,00
Ιλύς (%)	42,00
Άμμος (%)	40,00
pH (1:1)	7,40
EC (μS/cm)	575,00
CaCO ₃ (%)	18,40
Act. CaCO ₃ (%)	4,75
Οργανική ουσία (%)	1,30
P -Olsen (mg/kg)	15,40
IAK (cmol _c /kg)	22,40
Fed ¹ (mg/kg)	1,16
Feo ² (%)	0,14
Ald ¹ (%)	0,04
AlO ² (%)	0,07
Mnd ¹ (%)	0,05
Mno ² (%)	0,06
Ολικό Se (μg/kg)	156

1: εκχυλιζόμενο με διθειονικό νάτριο 2: εκχυλιζόμενο με οξαλικό αμμώνιο

2.2 Πειραματικός σχεδιασμός

Μετά τον προσδιορισμό των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του εδάφους που επιλέχθηκε για να χρησιμοποιηθεί στην παρούσα μελέτη, εφαρμόστηκε ένα διπαραγοντικό πείραμα καλλιέργειας μαρουλιού σε θερμοκήπιο με πέντε επαναλήψεις. Ο πρώτος παράγοντας ήταν η παρουσία ή όχι βιοδιεγέρτη, ενώ ο δεύτερος ήταν η δόση του σεληνίου που προστέθηκε στα φυτά. Πιο συγκεκριμένα, στην πρώτη μεταχείριση-μάρτυρα T1 δεν πραγματοποιήθηκε προσθήκη βιοδιεγέρτη ή σεληνίου, στην μεταχείριση T2 πραγματοποιήθηκε προσθήκη σεληνίου σε δόση 5 mg kg⁻¹ χωρίς προσθήκη βιοδιεγέρτη, στην μεταχείριση T3 πραγματοποιήθηκε προσθήκη σεληνίου σε δόση 10 mg kg⁻¹ χωρίς προσθήκη βιοδιεγέρτη, στην μεταχείριση T4 πραγματοποιήθηκε προσθήκη βιοδιεγέρτη χωρίς προσθήκη σεληνίου, στην μεταχείριση T5 πραγματοποιήθηκε προσθήκη σεληνίου σε δόση 5 mg kg⁻¹ με προσθήκη βιοδιεγέρτη και τέλος, στην μεταχείριση T6 πραγματοποιήθηκε προσθήκη σεληνίου σε δόση 10 mg kg⁻¹ με παράλληλη προσθήκη βιοδιεγέρτη. Τόσο η προσθήκη των δόσεων του σεληνίου (Se) όσο και η προσθήκη του βιοδιεγέρτη έγινε μέσω του νερού άρδευσης, σε δύο διαδοχικές αρδεύσεις. Η τελική ποσότητα βιοδιεγέρτη ανά φυτοδοχείο ήταν 1,5 ml προϊόντος (Actiwave). Η σύσταση του Actiwave είναι 3% ολικό N (38,7g/l), 1,096%, οργανικό N (12,9g/l), 2% N ουρίας (25,5g/l), 7% υδατοδιαλυτό K₂O (90,3g/l), 20,6% ολική οργανική ουσία, 0,5% υδατοδιαλυτός Fe (6,45g/l), 0,5% χηλικός Fe (6,45g/l), 0,08% υδατοδιαλυτός Zn (1,03g/l) και 0,08% χηλικός Zn (1,03g/l). Το σελήνιο προέκυψε από την διάλυση του άλατος σεληνιώδους νατρίου (Na₂SeO₄) και βρίσκεται στο εδαφικό περιβάλλον με τις συγκεκριμένες πειραματικές συνθήκες ως Se⁺⁶ (selenate, SeO₄⁻²). Μετά την εφαρμογή των μεταχειρίσεων τα φυτά τυχαιοποιήθηκαν χωρικά μέσα στο θερμοκήπιο και γινόταν αλλαγή της θέσης τους τουλάχιστον μία φορά την εβδομάδα.

Το πείραμα διήρκησε 10 εβδομάδες, από τον Σεπτέμβριο του 2020 έως τον Νοέμβριο του ίδιου έτους. Για το πείραμα επιλέχθηκαν 50 σπορόφυτα μαρουλιού ηλικίας 8-10 ημερών και μεταφυτευθήκαν σε πλαστικά φυτοδοχεία (ένα φυτό ανά φυτοδοχείο), οι οποίες συμπληρώθηκαν με 1kg εδάφους, το οποίο είχε περαστεί από κόσκινο 1 cm για απομάκρυνση χαλικιών και λίθων. Την μεταφύτευση ακολούθησε δεκαήμερη περίοδος παρακολούθησης επιτυχούς εγκατάστασης των φυτών κατά την οποία οι καλλιεργητικές τεχνικές που ακολούθηθηκαν ήταν κοινές για όλα τα φυτά. Οι αρδεύσεις πραγματοποιούνταν ημερησίως ή κάθε δεύτερη μέρα με στόχο να διατηρείται η εδαφική υγρασία στο 60% της υδατοϊκανότητας καθ' όλη την διάρκεια της ανάπτυξης των φυτών. Η συνιστώμενη βασική λίπανση N-P-K εφαρμόστηκε σε όλα τα φυτά με υδρολίπανση. Με την ολοκλήρωση του δεκαημέρου επιλέχθηκαν τα 30 υγιέστερα φυτά που τελικά συμμετείχαν στο πείραμα θερμοκηπίου. Η επιλογή έγινε με οπτική παρατήρηση/ αξιολόγηση των φυτών και η πλήρης ομοιογένεια μεταξύ των 30 φυτών που επιλέχθηκαν επιβεβαιώθηκε με χρήση μετρήσεων NDVI (normalized difference vegetation index) και NDRE (normalized difference red edge).

Έπειτα από 10 εβδομάδες, τα φυτά μαρουλιού μεταφέρθηκαν στο εσωτερικό του εργαστηρίου όπου πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις NDVI, NDRE και SPAD και ακολούθησε η κοπή τους. Τα φυτά αφού πλύθηκαν με απιονισμένο νερό για απομάκρυνση τυχόν υπολειμμάτων και σκόνης χωρίστηκαν σε υπέργειο και υπόγειο μέρος (φύλλα/ ρίζες) και προσδιορίστηκε άμεσα η νωπή βιομάζα κάθε μέρους με ζυγό ακριβείας τριών δεκαδικών ψηφίων, καθώς και το ύψος του υπέργειου μέρους. Οι μετρήσεις του NDVI και του NDRE πραγματοποιήθηκαν με χρήση της συσκευής RapidSCAN CS-45 sensor της Holland Scientific, ο οποίος παρέχει μετρήσεις σε τρία κανάλια/φάσματα (ερυθρό, στα άκρα του ερυθρού και στο υπέρυθρο του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος). Έπειτα υπολογίζει αυτόματα τους δείκτες όπως αυτοί αναλύονται στις εξισώσεις 1 και 2 (Bonfil and Gitelson, 2014).

$$NDVI=(R_NIR-R_RED)/(R_NIR+R_RED) \quad (1)$$

$$NDRE=(R_NIR-R_ (RED EDGE))/(R_NIR+R_ (RED EDGE)) \quad (2)$$

Τα δεδομένα αντανάκλασης από το RapidSCAN CS-45 συλλέχθηκαν ακριβώς πριν την κοπή, με μέτρηση φυτό-φυτό όπου η συσκευή απέχει 20 cm κάθετα πάνω από το κέντρο του ψηλότερου σημείου των φύλλων του εκάστοτε φυτού. Οι μετρήσεις του SPAD έγιναν με χρήση της συσκευής KONICA MINOLTA SPAD-502Plus portable chlorophyll-meter, η οποία παρέχει μια μη καταστροφική και ταχεία εκτίμηση της περιεκτικότητας χλωροφύλλης στα φύλλα.

2.3 Ανάλυση φυτικών ιστών

Τα δείγματα φυτικών ιστών ξηράθηκαν σε φούρνο στην θερμοκρασία των 60 °C μέχρι και την στιγμή όπου απέκτησαν σταθερό βάρος (πλήρης αφυδάτωση) και έπειτα λειοτριβήθηκαν σε μύλο (Retsch, ZM 1000) σε διάμετρο τεμαχιδίων < 0.5 mm. Τα στοιχεία σελήνιο (Se), φώσφορος (P) και θείο (S) προσδιορίστηκαν με την τεχνική της υγρής καύσης. Αναλυτικότερα 1 g φυτικού ιστού του κάθε δείγματος διαλυτοποιήθηκε σε πυκνό νιτρικό οξύ (HNO₃) με παράλληλη προσθήκη της απαιτούμενης ποσότητας 30 % (v/w) H₂O₂ για τον πλήρη αποχρωματισμό του διαλύματος (Jones and Case, 1990). Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε σε θερμοαντική πλάκα στους 80°C. Ακολούθησε διήθηση και συμπλήρωση του όγκου στα 25 ml με απιονισμένο νερό και ανάλυση για προσδιορισμό της συγκέντρωσης των τριών στοιχείων. Ο προσδιορισμός των στοιχείων έγινε σε

φασματοφωτόμετρο ατομικής μάζας με επαγωγικά συζευγμένο πλάσμα (ICP-MS) (μοντέλο: Thermo iCAPQc, της Thermofisher SCIENTIFIC).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Φυτικοί Ιστοί

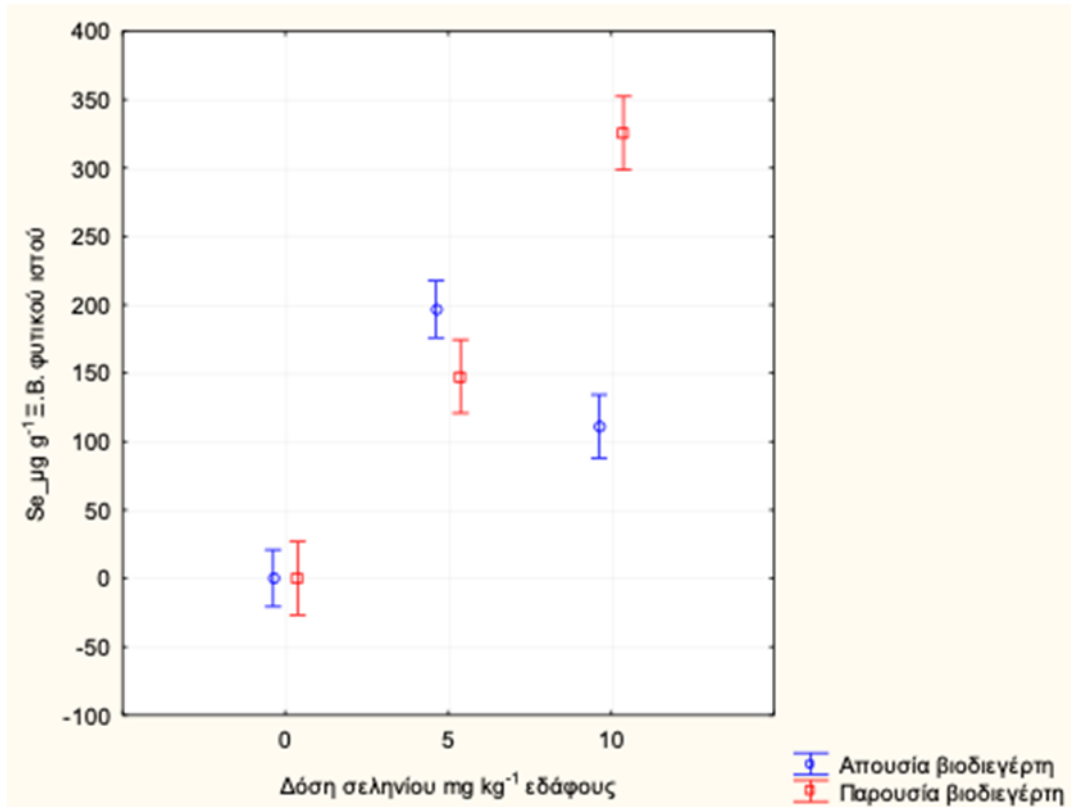
Τα αποτελέσματα των φυτικών αναλύσεων (μέσες τιμές), και οι συσχετίσεις που προέκυψαν συνοψίζονται στους Πίνακες 2 και 3, αντίστοιχα. Οι νωπές βιομάζες των φυτών κυμάνθηκαν μεταξύ 2,43 και 23,83 g. Τη σημαντικά μεγαλύτερη μέση τιμή νωπής βιομάζας εμφάνισαν τα φυτά που έλαβαν την δόση 5 mg Se kg⁻¹ εδάφους με παρουσία βιοδιεγέρτη, ενώ τη σημαντικά μικρότερη μέση τιμή ξηρής βιομάζας εμφάνισαν τα φυτά που έλαβαν την δόση 10 mg Se kg⁻¹ εδάφους παρουσία βιοδιεγέρτη. Αναφορικά με τα φυτά των μεταχειρίσεων που αναπτύχθηκαν απουσία βιοδιεγέρτη εμφανίστηκε τάση αύξησης των νωπών βιομαζών για την δόση εφαρμογής 5 mg Se kg⁻¹ εδάφους σε σύγκριση με τα φυτά της μεταχείρισης T1 και επακόλουθη μείωση των βιομαζών για τα φυτά της μεταχείρισης T3, χωρίς ωστόσο να προκύπτουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των τριών μεταχειρίσεων. Αντίστοιχο μοτίβο παρατηρήθηκε και στην περίπτωση των μεταχειρίσεων όπου τα φυτά καλλιεργήθηκαν παρουσία βιοδιεγέρτη, με την διαφορά ότι σε αυτή την περίπτωση προέκυψε σημαντική αύξηση των νωπών βιομαζών της μεταχείρισης T5 συγκριτικά με τα φυτά της μεταχείρισης T4, όσο και σημαντική μείωση των βιομαζών της μεταχείρισης T6 συγκριτικά με τις νωπές βιομάζες των μεταχειρίσεων T5 και T4.

Οι ξηρές βιομάζες των φυτών κυμάνθηκαν μεταξύ 0,65 και 1,99 g. Την μεγαλύτερη μέση τιμή ξηρής βιομάζας είχαν τα φυτά που δέχθηκαν 5 mg Se kg⁻¹ εδάφους με παρουσία βιοδιεγέρτη, ενώ την μικρότερη μέση τιμή ξηρής βιομάζας με στατιστικά σημαντική διαφορά από όλες τις μεταχειρίσεις είχαν τα φυτά που δέχθηκαν 10 mg Se kg⁻¹ εδάφους παρουσία βιοδιεγέρτη. Αναφορικά με τις μεταχειρίσεις που δεν πραγματοποιήθηκε προσθήκη σεληνίου δεν προέκυψε στατιστικά σημαντική διαφορά στις ξηρές βιομάζες των φυτικών ιστών, με τα φυτά ωστόσο που αναπτύχθηκαν παρουσία βιοδιεγέρτη να εμφανίζουν τάση αύξησης της ξηρής τους βιομάζας συγκριτικά με τα φυτά τα οποία αναπτύχθηκαν απουσία βιοδιεγέρτη. Η εφαρμογή 10 mg Se kg⁻¹ εδάφους οδήγησε και στην περίπτωση της απουσίας βιοδιεγέρτη σε στατιστικά σημαντική μείωση της ξηρής βιομάζας των φυτών συγκριτικά με τα φυτά που δέχθηκαν 5 mg Se kg⁻¹ εδάφους και τα φυτά στα οποία δεν πραγματοποιήθηκε προσθήκη σεληνίου.

Πίνακας 6: Μέσες τιμές των υπό εξέταση παραμέτρων. Η παρουσία ίδιου γράμματος σημαίνει μη σημαντική διαφορά. Οι συγκρίσεις μέσων αφορούν τιμές της ίδιας γραμμής (N=5)

	ΑΠΟΥΣΙΑ ΒΙΟΔΙΕΓΕΡΤΗ			ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΒΙΟΔΙΕΓΕΡΤΗ		
	Δόση (mg Se kg ⁻¹ εδάφους)					
	0 (T1)	5 (T2)	10 (T3)	0 (T4)	5 (T5)	10 (T6)
Se (μg/g)	0,14a	196,74c	110,9b	0,15a	147,6bc	325,42d
P (mg/g)	2,41c	1,5a	1,27a	2,48c	1,8a	2,04ab
S (mg/g)	1,47a	2,58b	1,24a	1,66a	3,77c	2,5b
N.B. (g)	12,28b	13,32b	7,55ab	14,6b	21,16c	2,43a
Ξ.B. (g)	1,38c	1,31c	1,12b	1,57c	1,81cd	0,65a
SPAD	24,36bc	20,04ab	15,26a	26,3b	36,16d	16a
NDVI	0,9118b	0,8218b	0,791b	0,899b	0,92b	0,561a
NDRE	0,342b	0,253ab	0,329b	0,351b	0,324b	0,188a

Η συγκέντρωση του σεληνίου στους φυτικούς ιστούς κυμάνθηκε μεταξύ $0,14 \text{ mg g}^{-1}$ ξηρής βιομάζας και $325,42 \text{ mg g}^{-1}$, με το ελάχιστο να σημειώνεται για την μεταχείριση T1, στην οποία δεν πραγματοποιήθηκε προσθήκη σεληνίου, και το μέγιστο για την μεταχείριση T6 στην οποία εφαρμόστηκε δόση 10 mg Se kg^{-1} εδάφους (Σχήμα 1).



Σχήμα 1: Συγκέντρωση Se στους φυτικούς ιστούς παρουσία και απουσία βιοδιεγέρτη (N=5).

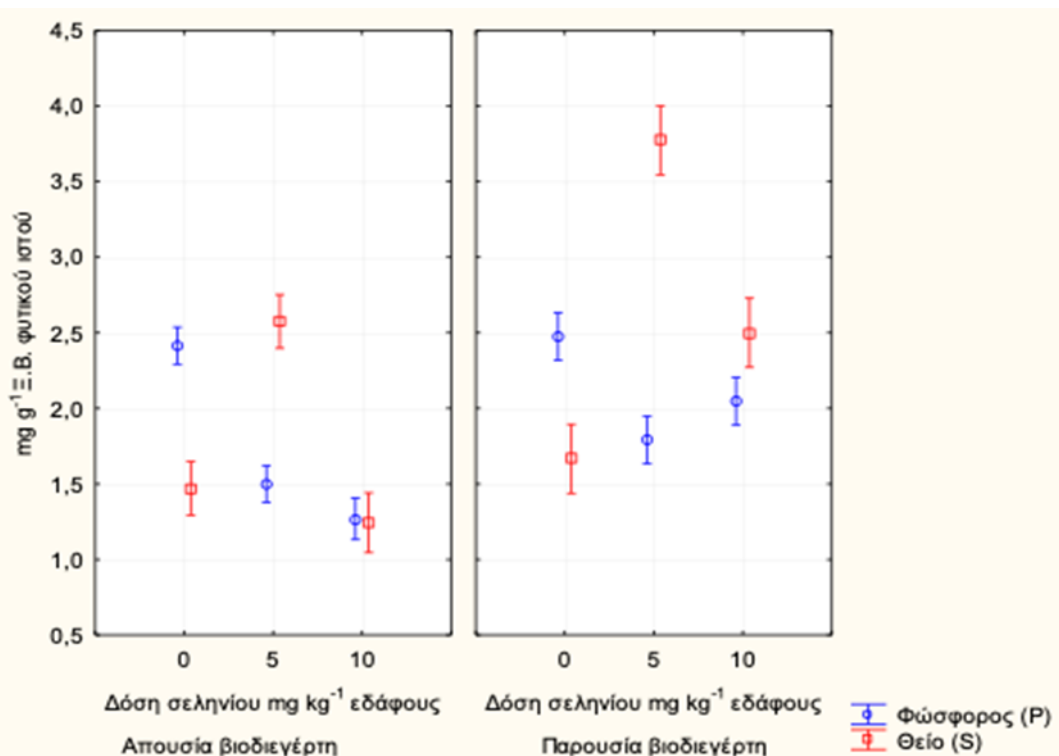
Η μεταχείριση T1 δεν εμφάνισε στατιστικά σημαντική διαφορά μόνο με την μεταχείριση T4, ενώ σε σχέση με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις παρουσίασε στατιστικά σημαντική μειωμένη συγκέντρωση του Se στους φυτικούς ιστούς. Στην περίπτωση των μεταχειρίσεων T2 και T3, όπου τα φυτά καλλιεργήθηκαν απουσία βιοδιεγέρτη η συγκέντρωση του Se στους φυτικούς ιστούς ήταν σημαντικά αυξημένη για τα φυτά που έλαβαν δόση 5 mg Se kg^{-1} εδάφους σε σχέση με τα φυτά που δέχθηκαν την δόση των 10 mg Se kg^{-1} εδάφους, ενώ το ακριβώς αντίστροφο μοτίβο παρατηρήθηκε για τα φυτά τα οποία καλλιεργήθηκαν παρουσία βιοδιεγέρτη, με τα φυτά της μεταχείρισης T6 να εμφανίζουν στατιστικά σημαντική αυξημένη συγκέντρωση Se στους φυτικούς ιστούς συγκριτικά με τα φυτά της μεταχείρισης T5.

Η συγκέντρωση του θείου (S) κυμάνθηκε μεταξύ $1,24 \text{ mg g}^{-1}$ ξηρής βιομάζας φυτικού ιστού και $3,78 \text{ mg g}^{-1}$, με την μέγιστη τιμή να εμφανίζουν τα φυτά της μεταχείρισης που έλαβαν την δόση των 5 mg Se kg^{-1} εδάφους παρουσία βιοδιεγέρτη και την ελάχιστη τα φυτά της μεταχείρισης στην οποία πραγματοποιήθηκε εφαρμογή 10 mg Se kg^{-1} απουσία βιοδιεγέρτη. Όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 2, αναφορικά με τα φυτά τα οποία καλλιεργήθηκαν απουσία βιοδιεγέρτη η συγκέντρωση του θείου ήταν στατιστικά σημαντικά αυξημένη για την μεταχείριση T2, ενώ για τις μεταχειρίσεις T1 και T3 δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Διαφορετική ήταν η εικόνα για τα φυτά των μεταχειρίσεων που αναπτύχθηκαν παρουσία βιοδιεγέρτη, με την συγκέντρωση του S να είναι στατιστικά σημαντικά αυξημένη στους φυτικούς ιστούς για τις μεταχειρίσεις T5 και T6

συγκριτικά με την συγκέντρωση του στοιχείου που καταγράφηκε για τα φυτά της μεταχείρισης T4.

Η συγκέντρωση του φωσφόρου (P) κυμάνθηκε μεταξύ $1,5 \text{ mg g}^{-1}$ ξηρής βιομάζας φυτικού ιστού και $2,48 \text{ mg g}^{-1}$ ξηρής βιομάζας φυτικού ιστού. Πιο συγκεκριμένα, οι σημαντικά υψηλότερες τιμές συγκέντρωσης του P καταγράφηκαν για τα φυτά των δύο μεταχειρίσεων που αναπτύχθηκαν χωρίς προσθήκη σεληνίου, δηλαδή τις μεταχειρίσεις T1 και T4. Τόσο στην περίπτωση των φυτών που αναπτύχθηκαν παρουσία βιοδιεγέρτη όσο και στην περίπτωση των φυτών που αναπτύχθηκαν απουσία βιοδιεγέρτη η συγκέντρωση του P δεν εμφάνισε στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των δόσεων εφαρμογής 5 και 10 mg Se kg^{-1} εδάφους.

Οι τιμές του SPAD κυμάνθηκαν μεταξύ 15,25 και 36,83, με την ελάχιστη μέση τιμή να αντιστοιχεί στα φυτά που έλαβαν 10 mg Se kg^{-1} εδάφους απουσία βιοδιεγέρτη και την μέγιστη στα φυτά που έλαβαν 5 mg Se kg^{-1} εδάφους παρουσία βιοδιεγέρτη. Αναφορικά με τα φυτά που καλλιεργήθηκαν απουσία βιοδιεγέρτη οι τιμές του SPAD εμφάνισαν φθίνουσα τάση από την μικρότερη προς την μεγαλύτερη δόση εφαρμογής σεληνίου, η οποία οδήγησε και σε στατιστικά σημαντική διαφορά των τιμών μεταξύ των μεταχειρίσεων T1 και T3. Αντιθέτως στην περίπτωση των φυτών που καλλιεργήθηκαν παρουσία βιοδιεγέρτη η μέση τιμή του SPAD ήταν στατιστικά σημαντικά αυξημένη συγκριτικά με τα φυτά της μεταχείρισης T4, ενώ πάλι οι σημαντικά χαμηλότερες τιμές καταγράφηκαν για τα φυτά της μεταχείρισης που εφαρμόστηκε η υψηλή δόση σεληνίου. Οι τιμές του NDVI κυμάνθηκαν μεταξύ 0,561 και 0,912, ενώ του NDRE μεταξύ 0,188 και 0,351 με την στατιστική να ανάλυση να μην αναδεικνύει ιδιαίτερες στατιστικά σημαντικές διαφορές των τιμών μεταξύ των μεταχειρίσεων, αλλά κυρίως τάσεις, με μόνη εξαίρεση τις τιμές της μεταχείρισης T6 η οποία και για τους δύο δείκτες ήταν οι χαμηλότερες.



Σχήμα 2: Συγκεντρώσεις P και S στους φυτικούς ιστούς χωρίς βιοδιεγέρτη (αριστερά) και παρουσία βιοδιεγέρτη (δεξιά) (N=5)

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Όπως ήταν αναμενόμενο η προσθήκη Se με την μορφή σεληνιακού νατρίου (Na_2SeO_4) αύξησε την συγκέντρωση του στοιχείου στα φυτά, ασχέτως της παρουσίας ή όχι βιοδιεγέρτη, καθώς σχηματίστηκαν σεληνιακά ιόντα (SeO^{-2}_4) τα οποία είναι η πλέον διαθέσιμη μορφή εξαιτίας της αυξημένης κινητικότητάς τους στο εδαφικό διάλυμα. Σε συνθήκες παρόμοιες με αυτές του πειράματος της παρούσας μελέτης, δηλαδή αερόβιες με ουδέτερο-αλκαλικό περιβάλλον, το σελήνιο βρίσκεται με την μορφή Se^{+6} (selenate), χωρίς να ευνοείται η αναγωγή του σε Se^{+4} (selenite), μορφή η οποία είναι σημαντικά λιγότερη διαθέσιμη στο εδαφικό περιβάλλον λόγω του υψηλού βαθμού προσρόφησης από τα εδαφικά κolloειδή (Natasha et al, 2018; Zafeiriou et al, 2020). Η προσθήκη των χαμηλών δόσεων Se οδήγησε είτε σε αύξηση της νωπής/ξηρής βιομάζας όταν συνοδεύτηκε με παράλληλη εφαρμογή βιοδιεγέρτη, ενώ δεν επηρέασε τη νωπή/ξηρή βιομάζα στην περίπτωση που δεν πραγματοποιήθηκε εφαρμογή βιοδιεγέρτη. Παρόμοια αποτελέσματα θετικής επίδρασης εφαρμογής χαμηλής δόσης Se στα βιομετρικά χαρακτηριστικά των φυτών έχουν αναφερθεί συχνά στην βιβλιογραφία (Cartes et al., 2010; Hasanuzzaman and Fujita, 2011; Pandey and Gupta, 2015), με την εξήγηση να αποδίδεται σε πολλούς μηχανισμούς στους οποίους το Se παίζει ουσιαστικό ρόλο, όπως είναι η μείωση της τοξικότητας των μετάλλων, η βελτίωση της φωτοσυνθετικής ικανότητας και η συντήρηση της κυτταρικής δομής και λειτουργείας (Pedrero et al, 2008; Gupta and Gupta, 2017). Παρόλα αυτά η αναγκαιότητα του Se για τα φυτά αποτελεί ακόμη ένα αμφιλεγόμενο ζήτημα για την επιστημονική κοινότητα, παρά το γεγονός ότι η παρουσία του βελτιώνει τα βιομετρικά χαρακτηριστικά των φυτών είτε αυτά βρίσκονται σε βιοτικό ή αβιοτικό στρες είτε όχι (Gupta and Gupta, 2017). Αντίθετα, η προσθήκη Se σε μεγάλες δόσεις δύναται να προκαλέσει τοξικότητα στα φυτά (Gupta and Gupta, 2017; Natasha et al, 2018; Hasanuzzaman et al, 2020), κάτι το οποίο παρατηρήθηκε στην παρούσα μελέτη με την ξηρή/νωπή βιομάζα να μειώνεται σημαντικά στις μεταχειρίσεις όπου εφαρμόστηκαν 10 mg Se kg^{-1} εδάφους, ενώ αντίστοιχα σημαντική ήταν και η μείωση των δεικτών NDVI/NDRE και των τιμών του SPAD.

Σημαντική επίδραση φαίνεται να είχε ο βιοδιεγέρτης στο παραπάνω φαινόμενο, καθώς τα φυτά τα οποία δέχτηκαν την μεγάλη δόση με παράλληλη εφαρμογή βιοδιεγέρτη συνέχισαν να αυξάνουν τα επίπεδα συγκέντρωσης του Se στον ιστό τους, με αποτέλεσμα την περαιτέρω υποβάθμιση των βιομετρικών τους χαρακτηριστικών (**Σχήμα 1**). Βασικά συστατικά του βιοδιεγέρτη Actiwave, πέρα των ανόργανων στοιχείων, είναι παράγωγα της βιταμίνης K1, βεταΐνες και πολυσακχαρίτες τα οποία ενισχύουν την πρόσληψη των θρεπτικών στοιχείων από τα φυτά με άμεσους και έμμεσους μηχανισμούς (Spinelli et al., 2010; Kararouloutidou and Gasparatos, 2019). Η αυξημένη πρόσληψη λόγω εφαρμογής του βιοδιεγέρτη παρουσιάστηκε και στην περίπτωση των μακροστοιχείων φωσφόρου και θείου με παρατηρούμενη αυξητική τάση των συγκεντρώσεών τους στα φυτά των μεταχειρίσεων T4, T5 και T6 (**Σχήμα 2**). Αναφορικά με τα δύο μακροστοιχεία πέραν της επίδρασης του βιοδιεγέρτη στην πρόσληψή τους, παρατηρείται και επίδραση της εφαρμογής Se στην αυξομείωση των συγκεντρώσεών τους στους φυτικούς ιστούς. Πιο συγκεκριμένα η εφαρμογή του Se στα φυτά μείωσε την περιεκτικότητα σε P, ενώ αύξησε την περιεκτικότητα σε S όπως δείχνουν η σημαντικά αρνητική και η σημαντικά θετική συσχέτιση αντίστοιχα (**Πίνακας 3**). Παρόμοια αποτελέσματα αναφέρονται στην βιβλιογραφία (Gupta and Gupta, 2017; Natasha et al, 2018; Hasanuzzaman et al, 2020), με την ερμηνεία να δίνεται πρώτον από το γεγονός ότι το Se^{+6} , ως στοιχείο παρόμοιας χημικής συμπεριφοράς με το S, προσλαμβάνεται και μετακινείται στο φυτό χρησιμοποιώντας του μεταφορείς του S (sulfate

transporters) και δεύτερον ανταγωνίζεται τα φωσφορικά και θειικά ανιόντα στο εδαφικό περιβάλλον επηρεάζοντας έτσι την διαθεσιμότητά τους (Natasha et al, 2018; Zafeiriou et al, 2020).

Πίνακας 7: Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των εξεταζόμενων παραμέτρων. Με κόκκινο παρουσιάζονται οι στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις σε επίπεδο σημαντικότητας $p < 0,05$. (N=30)

	Se (μg/g)	P (mg/g)	S (mg/g)	N.B. (g)	Ξ.B. (g)	SPAD	NDVI	NDRE
Se (μg/g)	1,00	0,45	0,54	-0,33	-0,49	-0,36	-0,79	-0,72
P (mg/g)	0,45	1,00	0,15	0,10	0,13	0,32	0,21	0,22
S (mg/g)	0,54	0,15	1,00	0,52	0,36	0,49	-0,05	-0,33
N.B. (g)	0,33	0,10	0,52	1,00	0,94	0,83	0,69	0,36
Ξ.B. (g)	0,49	0,13	0,36	0,94	1,00	0,85	0,78	0,48
SPAD	0,36	0,32	0,50	0,83	0,85	1,00	0,67	0,37
NDVI	0,80	0,21	0,05	0,69	0,78	0,67	1,00	0,57
NDRE	0,72	0,22	0,33	0,36	0,48	0,37	0,57	1,00

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις που προέκυψαν μεταξύ των δεικτών NDVI/NDRE και των μετρήσεων του SPAD με τις μετρήσεις των βιομετρικών χαρακτηριστικών (Πίνακας 3). Σε πολλές μελέτες γίνεται αναφορά παρόμοιων συσχετίσεων μεταξύ μετρήσεων οργάνων γεωργίας ακριβείας και βιομετρικών χαρακτηριστικών (Xue and Su, 2017), ενώ παράλληλα τονίζεται η σημασία της βαθμονόμησης των εν λόγω μετρήσεων οργάνων μη καταστροφικών μεθόδων με τα εργαστηριακά αποτελέσματα της θρεπτικής κατάστασης των φυτών, με στόχο την χρήση τέτοιων τεχνικών/οργάνων σε σύγχρονα μοντέλα αειφορικής γεωργίας.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η πρόσληψη του Se, το οποίο προστέθηκε υπό μορφή άλατος σεληνιώδους νατρίου σε δύο δόσεις με και χωρίς παρουσία βιοδιεγέρτη, από φυτά μαρουλιού (*Lactuca Sativa*) που καλλιεργήθηκαν σε ένα πηλώδες ασβεστούχο έδαφος. Τα κυριότερα συμπεράσματα που προέκυψαν είναι τα ακόλουθα:

- Η προσθήκη Se στο εδαφικό περιβάλλον αύξησε σημαντικά την συγκέντρωση του στοιχείου στους φυτικούς ιστούς, με την μικρή δόση να εμφανίζει θετική επίδραση στα βιομετρικά χαρακτηριστικά των φυτών, ενώ η μεγάλη να οδηγεί σε τοξικότητα.
- Η παρουσία του βιοδιεγέρτη είχε σημαντική επίδραση, αυξάνοντας την πρόσληψη τόσο του Se όσο και των μακροστοιχείων P και S.
- Η παρουσία του Se επηρέασε την περιεκτικότητα S και P στους φυτικούς ιστούς, εμφανίζοντας θετική συσχέτιση στην περίπτωση του S και αρνητική στην περίπτωση του P.
- Οι τιμές του SPAD καθώς και οι τιμές των δεικτών NDVI και NDRE εμφανίζουν σημαντική συσχέτιση με τα βιομετρικά χαρακτηριστικά των φυτών, γεγονός το οποίο είναι αρκετά ενθαρρυντικό για τον ουσιώδη ρόλο που δύναται να έχει η χρήση τέτοιων δεικτών στην σύγχρονη γεωργία.

Η διεξαγωγή πειραμάτων με περισσότερα φυτά και δόσεις Se κρίνεται απαραίτητη ώστε να οδηγήσουν στις βέλτιστες συγκεντρώσεις/πρακτικές εφαρμογής του στοιχείου στο εδαφικό περιβάλλον.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Bouyoucos, G.J. A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soils. *Agron. J.* 1951, 43, 434–438
- Cartes, P., Jara, A. A., Pinilla, L., Rosas, A., and Mora, M. L. (2010). Selenium improves the antioxidant ability against aluminium-induced oxidative stress in ryegrass roots. *Ann. Appl. Biol.* 156, 297–307. doi: 10.1111/j.1744-7348.2010.00387.x
- De Temmerman, L., Waegeneers, N., Thiry, C., Du Laing, G., Tack, F., & Ruttens, A. (2014). Selenium content of Belgian cultivated soils and its uptake by field crops and vegetables. *Science of the Total Environment*, 468, 77–82. doi:10.1016/j.scitotenv.2013.08.016
- DeFries, R., Fanzo, J., Remans, R., Palm, C., W
- Ellis, D.R.; Salt, D.E. Plants, selenium and human health. *Curr. Opin. Plant Biol.* **2003**, 6, 273–279.
- Gasparatos, D., & Haidouti, C. (2001). A comparison of wet oxidation methods for determination of total phosphorus in soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 164, 435–439.
- Gupta, M. and Gupta, S., 2017. An Overview of Selenium Uptake, Metabolism, and Toxicity in Plants. *Frontiers in Plant Science*, 7.
- Hasanuzzaman, M.; Bhuyan, M.H.M.B.; Raza, A.; Hawrylak-Nowak, B.; Matraszek-Gawron, R.; Nahar, K.; Fujita, M. Selenium Toxicity in Plants and Environment: Biogeochemistry and Remediation Possibilities. *Plants* 2020, 9, 1711. <https://doi.org/10.3390/plants9121711>
- Hasanuzzaman, M., and Fujita, M. (2011). Selenium pretreatment upregulates the antioxidant defense and methylglyoxal detoxification system and confers enhanced tolerance to drought stress in rapeseed seedlings. *Biol. Trace Elem. Res.* 143, 1758–1776. doi: 10.1007/s12011-011-8998-9 PubMed Abstract | CrossRef Full Text | Google Scholar
- Karapouloutidou and Gasparatos, 2019. Effects of Biostimulant and Organic Amendment on Soil Properties and Nutrient Status of *Lactuca sativa* in a Calcareous Saline-Sodic Soil. *Agriculture*, 9(8), p.164.
- Jones, J.B., Jr.; Case, V.W. Sampling, handling and analyzing plant tissue samples. In *Soil Testing and Plant Analysis*; Westerman, R.L., Ed.; SSSA, Inc.: Madison, WI, USA, 1990; pp. 389–427. [Google Scholar]
- Loeppert, R.H.; Suarez, D.L. Carbonate and gypsum. In *Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods*; Bigham, J.M., Bartels, J.M., Eds.; ASA-SSSA: Madison, WI, USA, 1982; pp. 437–474
- Mehra, O.P.; Jackson, M.L. Iron oxide removal from soils and clay by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays Clay Miner.* 2013, 7, 317–327.
- Navarro-Alarcon, M.; Cabrera-Vique, C. Selenium in food and the human body: A review. *Sci. Total Environ.* **2008**, 400, 115–141.
- Natasha Shahid, M.; Niazi, N.K.; Khalid, S.; Murtaza, B.; Bibi, I.; Rashid, M.I. A critical review of selenium biogeochemical behavior in soil-plant system with an inference to human health. *Environ. Pollut.* 2018, 234, 915–934.
- Nelson, D.W.; Sommers, L.E. Total carbon, organic carbon and organic matter. In *Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties*; Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R., Eds.; ASA-SSSA: Madison, WI, USA, 1982
- NF ISO 10693. Détermination de la Teneuren Carbonate—Méthode Volumétrique; Qualité des Sols AFNOR: Paris, France, 1995; pp. 177–186
- Olsen, S.R.; Cole, C.V.; Watanabe, F.S.; Dean, L.A. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *US Dept. Agric. Circ.* 1954, 939, 1–19. 27.

- Pandey, C., and Gupta, M. (2015). Selenium and auxin mitigate arsenic stress in rice (*Oryza sativa* L.) by combining the role of stress indicators, modulators and genotoxicity assays. *J. Hazard. Mater.* 287, 384–391. doi: 10.1016/j.jhazmat.2015.01.044
- Pedrero, Z., Madrid, Y., Hartikainen, H., and Cámara, C. (2008). Protective effect of selenium in broccoli (*Brassica oleracea*) plants subjected to cadmium exposure. *J. Agric. Food Chem.* 56, 266–271. doi: 10.1021/jf072266w
- Rayman M.P. (2002): The argument for increasing selenium intake. *Proceedings of the Nutrition Society*, 61: 203–215.
- Rhoades, J.D. Cation exchange capacity. In *Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties*, 2nd ed.; Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R., Eds.; ASA-SSSA: Madison, WI, USA, 1982; pp. 149–157.
- Schwertmann, U.; Taylor, R.M. Iron oxides. *Minerals in Soil Environments*. Dixon, J.B., Weed, S.B., Eds.; 2nd ed. 1989, pp. 379–438. Available online: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000101&pid=S0103-8478201300060000900024&lng=pt (accessed on 17 August 2019).
- Sharma, P., Ofner, J., & Kappler, A. (2010). Formation of binary and ternary colloids and dissolved complexes of organic matter, Fe and As. *Environmental Science & Technology*, 44(12), 4479–4485.
- Spinelli F, Fiori G, Noferini M, Sprocatti M, Costa G (2010) A novel type of seaweed extract as a natural alternative to the use of iron chelates in strawberry production. *Sci Hortic* 125:263–269
- Wang, C., Ji, J. F., & Zhu, F. H. (2017). Characterizing Se transfer in the soil-crop systems under field condition. *Plant and Soil*, 415(1-2), 535–548. doi:10.1007/s11104-017-3185-1
- Xue, J. and Su, B., 2017. Significant Remote Sensing Vegetation Indices: A Review of Developments and Applications. *Journal of Sensors*, 2017, pp.1-17.
- Zafeiriou, I.; Gasparatos, D.; Massas, I. Adsorption/Desorption Patterns of Selenium for Acid and Alkaline Soils of Xerothermic Environments. *Environments* 2020, 7, 72. <https://doi.org/10.3390/environments7100072>.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΦΩΣΦΟΡΙΚΗΣ ΛΙΠΑΝΣΗΣ ΣΤΑ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΓΕΝΟΤΥΠΩΝ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΟΥ ΜΠΙΖΕΛΙΟΥ (*Pisum sativum*), ΒΙΚΟΥ (*Vicia sativa*) ΚΑΙ ΚΟΥΚΙΟΥ (*Vicia faba*) ΣΕ ΤΕΣΣΕΡΑ ΣΤΑΔΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΟΥΣ

Παπακαλούδης Π.¹, Λάσκαρη Μ.¹, Δόρδας Χ.¹

¹Τμήμα Γεωπονίας, Εργαστήριο Γεωργίας, Α.Π.Θ, 54124 Θεσσαλονίκη, e-mail: chdordas@agro.auth.gr

Περίληψη

Η καλλιέργεια κτηνοτροφικών ψυχανθών στη χώρα μας γνωρίζει τα τελευταία χρόνια σημαντική άνοδο με τις συνολικές καλλιεργούμενες εκτάσεις να φτάνουν τα 857.524 στρέμματα το 2019 και τις συνολικές αποδόσεις να ξεπερνούν τους 155.000 τόνους/έτος. Το κτηνοτροφικό μπιζέλι, το κτηνοτροφικό κουκί και ο βίκος είναι τα πιο διαδεδομένα φυτά που χρησιμοποιούνται τόσο σε συστήματα μονοκαλλιέργειας όσο και σε συγκαλλιέργεια. Σκοπός της εργασίας ήταν να μελετηθεί η αξιοποίηση της φωσφορικής λίπανσης από διαφορετικές ποικιλίες χειμερινών ψυχανθών, εφαρμόζοντας δύο επίπεδα λίπανσης, με 0 P/στρ. και 6 μονάδες P/στρ.. Οι παρατηρήσεις λήφθηκαν σε τέσσερα στάδια ανάπτυξης των φυτών: «πριν από την άνθιση», με την «έναρξη της άνθισης», στην «πλήρη άνθιση» και τέλος «πριν από την φυσιολογική ωρίμανση των σπόρων». Προσδιορίστηκε το ύψος των φυτών, ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας, η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη και η απόδοση σε βιομάζα και σε σπόρο. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα όλα τα υπό μελέτη χαρακτηριστικά εμφάνισαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των γενοτύπων αλλά και μεταξύ των σταδίων ανάπτυξης στα οποία πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις. Η φωσφορική λίπανση αύξησε το ύψος των φυτών κατά 6%, το δείκτη φυλλικής επιφάνειας κατά 15%, τη περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη κατά 5% και την απόδοση σε βιομάζα και σπόρο κατά 16% και 25% αντίστοιχα σε σύγκριση με τους μάρτυρες. Συμπερασματικά, η επιλογή της εκάστοτε ποικιλίας μπορεί να γίνει με βάση τις διαθέσιμες εισροές, όπως η φωσφορική λίπανση και επομένως να μεγιστοποιηθούν οι αποδόσεις της καλλιέργειας.

Λέξεις κλειδιά: φωσφόρος, ψυχανθή, φυλλική επιφάνεια, απόδοση, βιομάζα

EFFECT OF PHOSPHORUS FERTILIZATION ON THE PHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS AND YIELD OF GENOTYPES OF FIELD PEA (*Pisum sativum*), COMMON VETCH (*Vicia sativa*) AND FABA BEAN (*Vicia faba*) AT FOUR GROWTH STAGES

Papakaloudis P.¹, Laskari M.¹, Dordas C.¹

Faculty of Agriculture, Lab of Agronomy, Aristotle University of Thessaloniki, 54124 Thessaloniki e-mail: chdordas@agro.auth.gr

Abstract

The cultivation of winter legumes in our country has experienced a significant increase the last few years with the total areas reaching 85.752 hectares in 2019 and the total yield exceeding 155.000 tons. Among them field pea, faba bean and common vetch are the most common species used not only in monoculture, but also in intercropping systems. The aim of this study was to determine how the different genotypes of winter legumes can utilize phosphorus fertilization, applying two levels of fertilization, with 0 kg of P₂O₅/acre and 6 kg of P₂O₅/acre. Observations were made at four stages of plant growth: "before flowering", at the "beginning of the flowering", at "full bloom" and "before the physiological maturity". Plant height, leaf area index (LAI), chlorophyll content, biomass, and seed yield were determined. According to the results, all the characteristics showed statistically significant differences between the genotypes as well as the growth stages in which the measurements were made. Phosphorus fertilization increased plant height by 6%, leaf area index by 15%, chlorophyll content by 5%, biomass by 16% and seed yield by 25% compared to the control. In conclusion, the selection of each genotype can be made based on the available inputs such as phosphorus fertilization and therefore maximizing the yield of the crop.

Key words: phosphorus, legumes, leaf area, yield, biomass

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η οικογένεια των ψυχανθών κατατάσσεται δεύτερη σε σειρά σπουδαιότητας παγκοσμίως, μετά από αυτή των αγρωστωδών. Περιλαμβάνει τόσο καρποδοτικά όσο και χορτοδοτικά φυτά που αποτελούν σημαντική πηγή πρωτεϊνών, λιπών και υδατανθράκων και είναι υψηλότερης θρεπτικής αξίας και από τα σιτηρά. Εκτός από το σημαντικό ρόλο που κατέχουν τα ψυχανθή στη διατροφή των ανθρώπων, ειδικά τα τελευταία χρόνια παρατηρείται αυξανόμενη τάση για κατανάλωση φυτικών προϊόντων υψηλής διατροφικής αξίας, και αποτελούν βασική πρώτη ύλη στην παραγωγή ζωοτροφών (Mantri et al. 2013). Χαρακτηριστικό παράδειγμα αύξησης τόσο των συνολικών εκτάσεων, όσο και της παραγωγής σε κτηνοτροφικά φυτά αποτελεί και η χώρα μας. Συγκεκριμένα, από το 2013 μέχρι και το 2018 καταγράφηκε αύξηση στις καλλιεργούμενες εκτάσεις κτηνοτροφικών φυτών της τάξης του 33,4%, ενώ η αντίστοιχη παραγωγή σημείωσε άνοδο σε ποσοστό 39,2% (ELSTAT, 2020).

Σημαντικό πλεονέκτημα των φυτών που ανήκουν στην οικογένεια των ψυχανθών αποτελεί η ικανότητά τους να αζωτοδεσμεύουν, αξιοποιώντας το ατμοσφαιρικό άζωτο, σε σύγκριση με φυτά άλλων οικογενειών (π.χ. Σιτηρά) από τα οποία απουσιάζει η συγκεκριμένη ικανότητα. Αυτό επιτυγχάνεται με τη συμβιωτική σχέση που αναπτύσσουν τα φυτά αυτά με τα αζωτοδεσμευτικά βακτήρια (ριζόβια) σε εξειδικευμένες θέσεις στην επιφάνεια των ριζικών τους τριχιδίων (φυμάτια). Λόγω της ικανότητάς τους, τα συγκεκριμένα φυτά, εμπλουτίζουν το έδαφος με επαρκείς ποσότητες αζώτου, βελτιώνοντας της φυσικοχημικές του ιδιότητες. Επομένως, η καλλιέργεια που θα ακολουθήσει μπορεί να αξιοποιήσει περισσότερα διαθέσιμα θρεπτικά στοιχεία από το έδαφος, γεγονός που καθιστά τα φυτικά είδη που ανήκουν στην οικογένεια των ψυχανθών κατάλληλα για χρήση σε συστήματα αμειψισποράς (Meena et al., 2018).

Η συμβιωτική αυτή σχέση φυτού – ριζοβίων και η ικανότητά της να αζωτοδεσμεύει επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από πλήθος βιοτικών και αβιοτικών παραγόντων όπως η ξηρασία, η αλατότητα, οι ακραίες τιμές pH και θερμοκρασιών, η παρουσία των βαρέων μετάλλων κ.α. (Schulze, 2004). Μεταξύ αυτών, η διαθεσιμότητα του P στο έδαφος διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο τόσο στη ταχύτητα με την οποία θα πραγματοποιηθεί η διεργασία της αζωτοδέσμευσης όσο και στην ποσότητα του N που θα δεσμευθεί τελικά από τους μικροοργανισμούς (Zhang et al., 2014; Suzaki et al., 2015). Επιπλέον, ο P αποτελεί συστατικό σημαντικών ενώσεων που συμμετέχουν σε πολλές φυσιολογικές διεργασίες των φυτικών κυττάρων (Sawyer, 1947; Nesme et al., 2014; Meena et al., 2014). Ως εκ τούτου η αύξηση και η ανάπτυξη των ριζών, η διαμόρφωση ισχυρότερων στελεχών στα φυτά και η ωρίμανση των φυτών φαίνεται να ευνοείται από την παρουσία διαθέσιμου P στο έδαφος (Khan et al. 2007; Richardson et al. 2009; Mohammadi et al. 2012; Niu et al. 2013). Τέλος, παρατηρήθηκε ότι υπάρχει θετική συσχέτιση μεταξύ της φωσφορικής λίπανσης που χορηγήθηκε στα φυτά και της αυξημένης αντοχής της που διαπιστώθηκε έναντι εδαφογενών ασθενειών του ριζικού συστήματος καθώς και της ενίσχυσης των αποδόσεων της σε σπόρο (Dordas 2008; Laliberte et al. 2015; Akram et al. 2017).

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν να μελετηθεί η αξιοποίηση της φωσφορικής λίπανσης από διαφορετικούς γενοτύπους χειμερινών ψυχανθών μπιζελιού (*Pisum sativum*), κουκιού (*Vicia faba*) και βίκου (*Vicia sativa*) με βάση μορφολογικά, φυσιολογικά και αγροκομικά χαρακτηριστικά.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Το πείραμα εγκαταστάθηκε στο Αγρόκτημα του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, στην περιοχή της Θέρμης Θεσσαλονίκης, κατά την περίοδο 2020-2021. Χρησιμοποιήθηκαν τρία διαφορετικά χειμερινά ψυχανθή, κτηνοτροφικό μπιζέλι, βίκος και κτηνοτροφικό κουκί, καθένα από τα οποία αποτελούνταν από δύο διαφορετικούς γενότυπους. Ειδικότερα, για το μπιζέλι χρησιμοποιήθηκαν οι γενότυποι "MP-11" και "Arvica", για το βίκο οι "BK-45" και "Εύηνος" και για το κουκί οι "KK-14" και "Πολύκαρπη". Το πειραματικό σχέδιο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το πλήρως τυχαίοποιημένο σχέδιο σε ομάδες (RCBD), σε διάταξη split-split plot με τέσσερις επαναλήψεις (blocks). Κύρια τεμάχια ήταν τα επίπεδα φωσφορικής λίπανσης, υπό-τεμάχια οι διαφορετικοί γενότυποι και υπό-υπό-τεμάχια τα τέσσερα στάδια ανάπτυξης των φυτών. Συγκεκριμένα, στην πρώτη επέμβαση απουσίαζε η φωσφορική λίπανση, ενώ η δεύτερη περιείχε ποσότητα που αντιστοιχούσε σε 6 μονάδες P/στρ. και κάθε επέμβαση περιλάμβανε όλους του γενότυπους από κάθε φυτικό είδος. Η εγκατάσταση του πειράματος πραγματοποιήθηκε την τελευταία εβδομάδα του Δεκεμβρίου του 2020, ενώ η συγκομιδή για όλα τα είδη ολοκληρώθηκε την πρώτη εβδομάδα του Ιουνίου του 2021. Μια εβδομάδα πριν από τη σπορά πραγματοποιήθηκε και η ενσωμάτωση τριπλού υπερφωσφορικού λιπάσματος (0-46-0) με βάση το πειραματικό σχέδιο που ακολουθήθηκε στα τεμάχια που απαιτούνταν. Από την εδαφοανάλυση που προηγήθηκε, το έδαφος χαρακτηρίστηκε πηλώδες ως προς τη μηχανική του σύσταση, με pH 7,8, ηλεκτρική αγωγιμότητα 0,478 mS/cm, 2,0% περιεκτικότητα σε οργανική ουσία, ενώ οι ποσότητες των βασικότερων στοιχείων ήταν για το νιτρικό άζωτο (N-NO₃) 12,5 mg/kg εδάφους, για το φωσφόρο (P-Olsen) 10 mg/kg εδάφους και για το κάλιο (K) 390 mg/kg εδάφους. Στον πειραματικό αγρό το μήκος κάθε γραμμής ήταν 5m, οι αποστάσεις των φυτών μεταξύ των γραμμών ήταν 25cm, μεταξύ των τεμαχίων υπήρχαν διάδρομοι 1m, ενώ μεταξύ των διαφορετικών επεμβάσεων και των επαναλήψεων υπήρχαν διάδρομοι 2,5m.

Η λήψη των μορφολογικών, φυσιολογικών και αγροκομικών παρατηρήσεων πραγματοποιήθηκε σε τέσσερα διαφορετικά στάδια ανάπτυξης των φυτών και σε πέντε τυχαία φυτά ανά πειραματικό τεμάχιο. Το πρώτο ήταν «πριν από την άνθιση», το δεύτερο με την «έναρξη τη άνθισης», το τρίτο στην «πλήρη άνθιση» και το τέταρτο «πριν από τη φυσιολογική ωρίμανση των σπόρων». Ειδικότερα, οι μορφολογικές και φυσιολογικές παράμετροι αφορούσαν μετρήσεις που σχετίζονταν με το ύψος των φυτών, τον δείκτη φυλλικής επιφάνειάς τους (LAI) και την περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη. Για την πρώτη παράμετρο χρησιμοποιήθηκε μετροταινία, ενώ ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας προσδιορίστηκε με τη χρήση της συσκευής ανάλυσης της φυτοστοιβάδας ACCUPAR LP-80 (Decagon Devices, Inc). Τέλος, για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας των φύλλων σε χλωροφύλλη χρησιμοποιήθηκε η φορητή συσκευή SPAD 502DL (Minolta Co Ltd, Osaka, Japan)(Konica-Minolta, 1989). Η συσκευή SPAD 502DL αποτελεί μία άμεση, μη καταστρεπτική μέτρηση πεδίου που μπορεί να δείξει τη φωτοσυνθετική ικανότητα και υγεία των φυτών.

Οι αγροκομικές παράμετροι αφορούσαν τον προσδιορισμό της απόδοσης σε βιομάζα για σανό και την απόδοση των φυτών σε σπόρο. Για τον υπολογισμό της βιομάζας των φυτών, στο στάδιο της «πλήρους άνθισης» και όταν οι κατώτεροι λοβοί είχαν φτάσει στο 20% του τελικού τους μεγέθους, συγκομίστηκαν 0,25m² φυτικού υλικού από τις κεντρικές γραμμές του κάθε πειραματικού τεμαχίου και στη συνέχεια αφού ζυγίστηκε το νωπό τους βάρος τοποθετήθηκαν σε φούρνο στους 65°C για 3-4 ημέρες προκειμένου να αποξηραθούν, να ζυγιστούν εκ νέου και να υπολογιστεί η απόδοση τους σε βιομάζα. Ο προσδιορισμός της

απόδοσης σε σπόρο πραγματοποιήθηκε στο τέλος της καλλιέργειας μετά τη φυσιολογική ωρίμανση και αλωνισμό των φυτών.

Για τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πακέτο SPSS v23.0 (Μενεξές, 2013). Οι συγκρίσεις των μέσων όρων έγιναν με βάση το κριτήριο της Ελάχιστης Σημαντικής Διαφοράς (ΕΣΔ) και το επίπεδο σημαντικότητας καθορίστηκε σε $\alpha=0,05$ ($p < 0.05$).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1. Ύψος φυτών

Το ύψος των φυτών εμφάνισε στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών γενοτύπων που χρησιμοποιήθηκαν, των σταδίων ανάπτυξης στα οποία λήφθηκαν οι παρατηρήσεις αλλά και στη μεταξύ τους αλληλεπίδραση. Ειδικότερα, στο στάδιο «πριν από την άνθιση» στην ποικιλία ARVICA μετρήθηκαν τα υψηλότερα φυτά (24,1cm), στα στάδια από «την έναρξη της άνθισης» έως και την «πλήρη άνθιση» ο γενότυπος MP-11 εμφάνισε τα υψηλότερα φυτά (61cm και 104,7cm αντίστοιχα), ενώ «πριν από την ωρίμανση των σπόρων» ο γενότυπος BK-45 ήταν αυτός με το μεγαλύτερο μέσο όρο για το ύψος (123,1cm), πάντοτε στην επέμβαση με τις 6 μονάδες φωσφόρου έναντι του μάρτυρα (**Πίνακας 1**). Σε αρκετές μελέτες το ύψος των φυτών της καλλιέργειας επηρεάζεται θετικά ύστερα από την προσθήκη φωσφόρου στο έδαφος, συναρτήσει και των γενοτύπων που θα εγκατασταθούν στον αγρό (Turk and Tawaha, 2002; Hashemabadi, 2013). Έτσι σε καλλιέργεια κτηνοτροφικού κουκιού, οι Turk και Tawaha, (2002), με προσθήκη 52,5kg P₂O₅/ha και ο Hashemabadi, (2013) με προσθήκη 80 kg P₂O₅/ha, παρατήρησαν αύξηση στο ύψος των φυτών της τάξης του 22,6% και 27,1% αντίστοιχα, σε σύγκριση με εκείνα τα φυτά που αναπτύχθηκαν απουσία φωσφόρου. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι τα φυτά είχαν στη διάθεσή τους επαρκείς ποσότητες φωσφόρου στα αρχικά στάδια ανάπτυξής τους σε σχέση με τους μάρτυρες. Επομένως, μπορούσαν να προσλάβουν και να μεταφέρουν το φωσφόρο κυρίως στα νεαρά και κεντρικά στελέχη τους όπου απαιτείται σε μεγαλύτερη ποσότητα καθώς εκεί ο μεταβολισμός και η διαφοροποίηση των κυττάρων συμβαίνει με ταχύτερους ρυθμούς (Ndakidemi and Dakora, 2007).

Πίνακας 1. Μέσοι όροι του ύψους των φυτών, των έξι γενοτύπων, στα τέσσερα διαφορετικά στάδια ανάπτυξής τους σε καθένα από τα δύο επίπεδα φωσφόρου.

Γενότυπος	Ύψος φυτών πριν από την άνθιση (cm)		Ύψος φυτών στην έναρξη της άνθισης (cm)		Ύψος φυτών στην πλήρη άνθιση (cm)		Ύψος φυτών πριν από τη φυσιολογική ωρίμανση των σπόρων (cm)	
	0 P	6P	0 P	6P	0 P	6P	0 P	6P
Κ. Μπιζέλι								
MP-11	21,8	21,4	51,7	61	102,5	104,7	103,3	106,3
ARVICA	24,1	23,7	52	57,5	97	104,5	111,5	115,5
Κ. Βίκος								
BK-45	20,3	20,8	42,1	46,6	89,9	100,7	114,6	123,1
ΕΥΗΝΟΣ	20,5	24	43,9	51,2	90,4	93,8	103,5	112,3
Κ. Κουκί								
KK-14	17	18,7	49	56,6	91,4	96,6	95,6	100,2
ΠΟΛΥΚΑΡΠΗ	16,8	17	50,9	55	96,8	90,3	95	99
ΕΣΔ	3,15	3,02	6,82	5,63	18,53	10,35	21,78	12,36

3.2. Δείκτης Φυλλικής Επιφάνειας (LAI)

Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI), σύμφωνα με τον Πίνακα 2 παρουσίασε τις μικρότερες τιμές σε όλους τους γενοτύπους κατά την πρώτη μέτρηση, στο στάδιο «πριν από την άνθιση» και τη μεγαλύτερη τιμή στην «πλήρη άνθιση», καθώς τα φυτά αναπτύσσονταν συνεχώς, αξιοποιώντας και τις επαρκείς ποσότητες φωσφόρου στο έδαφος, παράγοντας πλούσιο φύλλωμα. Πιο συγκεκριμένα, η ποικιλία ΕΥΗΝΟΣ κατά το πρώτο και δεύτερο στάδιο ανάπτυξης έδωσε τον υψηλότερο δείκτη φυλλικής επιφάνειας, στην επέμβαση 6P, με τιμές 1,98 και 5,15 αντίστοιχα. Στο τρίτο στάδιο ανάπτυξης η ποικιλία ARVICA και στο τέταρτο στάδιο η ποικιλία BK-45 ήταν αυτές με τον υψηλότερο δείκτη φυλλικής επιφάνειας (4,37 και 3,88 αντίστοιχα). Σε ανάλογα συμπεράσματα κατέληξε στο πείραμά του και ο Fouda (2017) όπου ύστερα από προσθήκη φωσφορικής λίπανσης σε καλλιέργεια κουκιού διαπίστωσε την αύξηση όλων των συστατικών απόδοσης συμπεριλαμβανομένης αλλά και της φυλλικής επιφάνειας και της περιεκτικότητάς τους σε πρωτεΐνες και σε ανόργανα στοιχεία (N, P, K). Τα φυτά κατόρθωσαν μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα να αναπτύξουν ισχυρό ριζικό σύστημα λόγω των αυξημένων ποσοτήτων φωσφόρου στο έδαφος και να προσλαμβάνουν από μεγαλύτερο βάθος τα απαραίτητα στοιχεία προκειμένου να σχηματίσουν μεγαλύτερη ποσότητα φυλλικής επιφάνειας και γενικότερα υπέργειας βιομάζας. Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας μαζί με το ύψος ήταν δύο παράμετροι που αξιολογούσαν σε μεγάλο βαθμό το ρυθμό παραγωγής βιομάζας των φυτών, ενώ αναμενόμενη ήταν η εκθετική αύξηση τους κατά την περίοδο της έντονης ανάπτυξης των φυτών, η απόκτηση της μέγιστης τιμής τους κατά την περίοδο της άνθισης και η μείωση τους στο διάστημα πριν από το τέλος της καλλιέργειας, που οφείλονταν στη γήρανση και στη σταδιακή πτώση των μεγαλύτερων σε ηλικία φύλλων.

Πίνακας 2. Μέσοι όροι του δείκτη φυλλικής επιφάνειας, των έξι γενοτύπων, στα τέσσερα διαφορετικά στάδια ανάπτυξής τους, σε καθένα από τα δύο επίπεδα φωσφόρου.

Γενοτύπος	LAI πριν από την άνθιση		LAI στην έναρξη της άνθισης		LAI στην πλήρη άνθιση		LAI πριν από τη φυσιολογική ωρίμανση των σπόρων	
	0 P	6P	0 P	6P	0 P	6P	0 P	6P
Κ. Μπιζέλι								
MP-11	0,40	0,41	1,92	2,34	3,41	3,82	2,76	3,00
ARVICA	0,27	0,52	2,48	2,56	4,37	4,32	2,88	3,41
Κ. Βίκος								
BK-45	1,12	1,49	3,73	3,71	4,09	4,13	3,37	3,88
ΕΥΗΝΟΣ	1,35	1,98	4,41	5,15	4,13	4,28	2,90	3,14
Κ. Κουκί								
KK-14	0,42	0,72	2,81	3,90	3,31	3,38	2,08	2,15
ΠΟΛΥΚΑΡΠΗ	0,39	0,55	2,94	3,92	3,24	4,20	1,95	2,38
ΕΣΔ	0,25	0,38	0,92	1,21	2,04	1,48	0,85	0,73

3.3. Περιεκτικότητα σε Χλωροφύλλη (SPAD)

Η περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη (SPAD) εμφάνισε σημαντικές διαφορές ανάμεσα στους έξι γενοτύπους, στα τέσσερα διαφορετικά στάδια ανάπτυξης αλλά και στην

αλληλεπίδραση γενότυπος x στάδια ανάπτυξης. Όπως φαίνεται και στον **Πίνακα 3**, στο στάδιο «πριν από την άνθιση» και στην «έναρξη της άνθισης» την υψηλότερη τιμή SPAD εμφάνισε ο γενότυπος ΚΚ-14 (44,3 και 41,1 αντίστοιχα), στην «πλήρη άνθιση» η ποικιλία ΕΥΗΝΟΣ (50,3) και στο στάδιο «πριν από την ωρίμανση των σπόρων» ο γενότυπος ΒΚ-45 (46,4), πάντοτε για την επέμβαση 6Ρ. Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας συμφωνούν με τους M'sehli et al. (2018) οι οποίοι χρησιμοποίησαν διαφορετικές ποικιλίες κουκιού και βίκου σε πείραμα έλλειψης φωσφόρου και διαπίστωσαν ότι τα εν λόγω φυτικά είδη επηρεάζονται αρνητικά όσο αυξάνεται η ένταση της καταπόνησης. Επιπλέον, ο βίκος εμφανίζει τη μεγαλύτερη ευαισθησία από την έλλειψη του φωσφόρου στο εδαφικό διάλυμα καθώς παρατήρησαν μείωση της περιεκτικότητας των φύλλων σε χλωροφύλλη σε ποσοστό που έφτασε ακόμη και το 27% όταν η έλλειψη ήταν έντονη, σε σύγκριση με τα φυτά που είχαν επάρκεια φωσφόρου. Το γεγονός αυτό οφείλεται πιθανόν στην αναστολή της φωτοσύνθεσης που προκαλείται από την έλλειψη φωσφόρου στα φύλλα (Zribi et al., 2012).

Πίνακας 3. Μέσοι όροι της περιεκτικότητας των φύλλων σε χλωροφύλλη, των έξι γενοτύπων, στα τέσσερα διαφορετικά στάδια ανάπτυξής τους, σε καθένα από τα δύο επίπεδα φωσφόρου.

Γενότυπος	SPAD πριν από την άνθιση		SPAD στην έναρξη της άνθισης		SPAD στην πλήρη άνθιση		SPAD πριν από τη φυσιολογική ωρίμανση των σπόρων	
	0 Ρ	6Ρ	0 Ρ	6Ρ	0 Ρ	6Ρ	0 Ρ	6Ρ
Κ. Μπιζέλι								
MP-11	34,0	35,2	36,0	37,5	42,8	45,0	42,9	45,8
ARVICA	32,5	34,0	35,5	36,0	42,9	48,4	41,5	44,4
Κ. Βίκος								
ΒΚ-45	36,1	36,3	38,3	37,8	43,8	45,9	45,4	46,4
ΕΥΗΝΟΣ	33,3	37,3	38,2	40,3	45,1	50,3	30,8	32,5
Κ. Κουκί								
ΚΚ-14	43,5	44,3	40,5	41,1	44,8	46,5	37,4	39,0
ΠΟΛΥΚΑΡΠΗ	43,8	43,2	37,6	39,1	43,0	44,7	33,5	38,9
ΕΣΔ	3,58	2,55	3,29	3,81	5,77	7,76	7,46	7,53

3.4. Απόδοση σε Βιομάζα και σε Σπόρο

Οι αποδόσεις των φυτών σε βιομάζα και σε σπόρο, των έξι διαφορετικών γενοτύπων, με βάση τον **Πίνακα 4**, εμφάνισαν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Ειδικότερα, οι ποικιλίες ARVICA και ΕΥΗΝΟΣ ήταν αυτές που αξιοποίησαν αποτελεσματικότερα το διαθέσιμο εδαφικό φωσφόρο παράγοντας μεγαλύτερη ποσότητα βιομάζας (1.360 kg/στρ. και 1.130 kg/στρ. αντίστοιχα). Όσον αφορά στην απόδοση σε σπόρο οι ποικιλίες ARVICA και ΠΟΛΥΚΑΡΠΗ επηρεάστηκαν θετικότερα από την επέμβαση με φωσφόρο σε σύγκριση με τον μάρτυρα, δίνοντας τιμές 112,4 kg/στρ. και 110,2 kg/στρ. αντίστοιχα. Αρκετές μελέτες έχουν αξιολογήσει την επίδραση των εισροών - και κυρίως της φωσφορικής λίπανσης - σε διάφορα φυτικά είδη από την οικογένεια των ψυχανθών (Turk and Tawaha, 2002; Singh and Ahlawat, 2007; Bhat et al., 2013). Οι προαναφερθείσες μελέτες έδειξαν ότι η φωσφορική

λίπανση επιδρά σημαντικά στη διαμόρφωση των αποδόσεων τόσο στα κουκιά όσο και στα μπιζέλια. Ως προς την απόδοση σε βιομάζα η καλλιέργεια του μπιζελιού έφτασε τα 3.363 kg/ha, στα φυτά που δέχτηκαν επέμβαση με 88 kg P₂O₅/ha, σε σύγκριση με το μάρτυρα (2.376 kg/ha). Όσον αφορά στην απόδοση σε σπόρο, οι Bhat et al. (2013) κατέγραψαν και εδώ μια αύξηση της τάξης του 57,5% στα φυτά που δέχτηκαν επαρκή ποσότητα φωσφορικής λίπανσης σε σύγκριση με τα υπόλοιπα, ενώ οι Singh and Ahlawat (2007) αποδόσεις που έφτασαν και τα 1.300 kg/ha. Αντίστοιχα, οι Turk και Tawaha (2002) σε καλλιέργεια κουκιού παρατήρησαν αύξηση της απόδοσης σε σπόρο κατά 49% στα φυτά που πραγματοποιήθηκε λίπανση με 52,5 kg P₂O₅/ha σε αντίθεση με το μάρτυρα. Διαπίστωσαν τέλος και μείωση του διαστήματος από το φύτευμα έως την άνθιση που πιθανόν να οφείλεται στην καλύτερη αξιοποίηση του φωσφόρου. Απόρροια των παραπάνω ήταν να αυξηθεί το διάστημα γεμίσματος των σπόρων που οδήγησε σε μεγαλύτερες αποδόσεις.

Πίνακας 4. Μέσοι όροι των αποδόσεων σε βιομάζα και σε σπόρο, των έξι διαφορετικών γενοτύπων σε καθένα από τα δύο επίπεδα φωσφόρου.

Γενότυπος	Απόδοση σε βιομάζα (kg/στρ.)		Απόδοση σε σπόρο (kg/στρ.)	
	0 P	6P	0 P	6P
Κ. Μπιζέλι				
MP-11	920	1.010	73,2	77,5
ARVICA	1.140	1.360	78,2	112,4
Κ. Βίκος				
BK-45	870	1.110	49,2	70,8
ΕΥΗΝΟΣ	1.000	1.130	62,1	63,9
Κ. Κουκί				
KK-14	670	735	72	101,5
ΠΟΛΥΚΑΡΠΗ	705	810	92,5	110,2
ΕΣΔ	495,2	197,7	24,5	21,2

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης η φωσφορική λίπανση επιδρά θετικά στα χειμερινά ψυχανθή που δοκιμάστηκαν σε συνδυασμό πάντα με τους γενοτύπους που θα χρησιμοποιηθούν. Γενότυποι ακόμη και μέσα στο ίδιο φυτικό είδος μπορεί να αξιοποιήσουν με διαφορετικό τρόπο τις εισροές με αποτέλεσμα την αύξηση των αποδόσεων. Σημαντικές, επίσης, διαφορές ως προς τα χαρακτηριστικά που μελετήθηκαν εμφανίστηκαν και για τα στάδια ανάπτυξης. Τόσο εντός του κάθε σταδίου, στο οποίο πραγματοποιήθηκαν οι εκάστοτε μετρήσεις για τους διαφορετικούς γενοτύπους, όσο και μεταξύ των τεσσάρων σταδίων ανάπτυξης για κάθε γενότυπο, παρατηρήθηκαν διαφοροποιήσεις ως προς τις αποδόσεις. Επομένως, ο κατάλληλος συνδυασμός γενοτύπου – εισροών σε κάθε στάδιο ανάπτυξης των φυτών, μπορεί να οδηγήσει σε πολύ ικανοποιητικές αποδόσεις, καθιστώντας οικονομικά βιώσιμη την καλλιέργεια των κτηνοτροφικών ψυχανθών, εξοικονομώντας όσο το δυνατόν καλύτερα εδαφικούς πόρους και αξιοποιώντας στο έπακρο την κάθε καλλιεργητική τεχνική.

Ευχαριστίες: Η εργασία υλοποιήθηκε στο πλαίσιο της Δράσης ΕΡΕΥΝΩ – ΔΗΜΙΟΥΡΓΩ - ΚΑΙΝΟΤΟΜΩ και συγχρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση και εθνικούς πόρους μέσω του Ε.Π. Ανταγωνιστικότητα, Επιχειρηματικότητα & Καινοτομία (ΕΠΑνεΚ) (κωδικός έργου: Τ1ΕΔΚ-04448) Ψυχανθή.



5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Akram, M., Hussain, S., Hamid, A., Majeed, S., Chaudary, S. A., Shah, Z. A. and Akhter, N., 2017. *Interactive effect of phosphorus and potassium on growth, yield, quality and seed production of chili (Capsicum annuum L.)*. Journal of Horticulture, 4(1), 2-5.
- Bhat, T. A., Gupta, M., Ganai, M. A., Ahanger, R. A., and Bhat, H. A., 2013. *Yield, soil health and nutrient utilization of field pea (Pisum sativum L.) as affected by phosphorus and Biofertilizers under subtropical conditions of Jammu*. International Journal of Modern Plant and Animal Science, 1(1), 1-8.
- Dordas, C., 2009. *Dry matter, nitrogen and phosphorus accumulation, partitioning and remobilization as affected by N and P fertilization and source-sink relations*. European Journal of Agronomy, 30(2), 129-139.
- Fouda, K. F., 2017. *Effect of phosphorus level and some growth regulators on productivity of faba bean (Vicia faba L.)*. Egyptian Journal of Soil Science, 57(1), 73-87.
- Gogoi, N., Baruah, K. K., and Meena, R. S., 2018. *Grain legumes: impact on soil health and agroecosystem*. In Legumes for Soil Health and Sustainable Management (pp. 511-539). Springer, Singapore.
- Hashemabadi, D., 2013. *Phosphorus fertilizers effect on the yield and yield components of faba bean (Vicia faba L.)*. Annals of Biological Research, 4(2), 181-184.
- Hellenic Statistical Authority – ELSTAT, 2020. *Annual Agricultural Statistical Survey*, available at the URL: <https://www.statistics.gr/el/statistics/-/publication/SPG06/>
- Khan, M. S., Zaidi, A., and Wani, P. A., 2007. *Role of phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable agriculture—a review*. Agronomy for Sustainable Development, 27(1), 29-43.
- Laliberté, E., Lambers, H., Burgess, T. I., and Wright, S. J., 2015. *Phosphorus limitation, soil-borne pathogens and the coexistence of plant species in hyperdiverse forests and shrublands*. New Phytologist, 206(2), 507-521.
- Meena, R. S., Yadav, R. S., and Meena, V. S., 2014. *Response of groundnut (Arachis hypogaea L.) varieties to sowing dates and NP fertilizers under Western Dry Zone of India*. Bangladesh Journal of Botany, 43(2), 169-173.
- Meena, R. S., Das, A., Yadav, G. S., and Lal, R. (Eds.), 2018. *Legumes for soil health and sustainable management* (p. 541). Singapore: Springer.
- Mohammadi, K., Sohrabi, Y., Heidari, G., Khalesro, S., and Majidi, M., 2012. *Effective factors on biological nitrogen fixation*. African Journal of Agricultural Research, 7(12), 1782-1788.
- M'sehli, W., Jaleli, K., Kallala, N., and Mhadhbi, H., 2018. *Relationship between phosphorus deficiency tolerance and root / rhizosphere management in Vicia faba and Vicia sativa*. Journal of Animal and Plant Sciences, 37(2), 6019-6032.

- Ndakidemi, P. A., and Dakora, F. D., 2007. *Yield components of nodulated cowpea (Vigna unguiculata) and maize (Zea mays) plants grown with exogenous phosphorus in different cropping systems*. Australian Journal of Experimental Agriculture, 47(5), 583-589.
- Nesme, T., Colomb, B., Hinsinger, P., and Watson, C. A., 2014. *Soil phosphorus management in organic cropping systems: from current practices to avenues for a more efficient use of P resources*. In Organic farming, prototype for sustainable agricultures (pp. 23-45). Springer, Dordrecht.
- Niu, Y. F., Chai, R. S., Jin, G. L., Wang, H., Tang, C. X., and Zhang, Y. S., 2013. *Responses of root architecture development to low phosphorus availability: a review*. Annals of Botany, 112(2), 391-408.
- Richardson, A. E., Barea, J. M., McNeill, A. M., and Prigent-Combaret, C., 2009. *Acquisition of phosphorus and nitrogen in the rhizosphere and plant growth promotion by microorganisms*. Plant and Soil, 321(1), 305-339.
- Sawyer, C. N., 1947. *Fertilization of lakes by agricultural and urban drainage*. Journal of New England Waterworks Association, 61(2), 109-127
- Schulze J., 2004 *How are nitrogen fixation rates regulated in legumes?* Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 167(2), 125-137.
- Singh, U., and Ahlawat, I. P. S., 2007. *Phosphorus management in pigeonpea (Cajanus cajan)–wheat (Triticum aestivum) cropping system*. Indian Journal of Agronomy, 52(1), 21-26.
- Suzaki, T., Yoro, E., and Kawaguchi, M., 2015. *Leguminous plants: inventors of root nodules to accommodate symbiotic bacteria*. International Review of Cell and Molecular Biology, 316, 111-158.
- Turk, M. A., and Tawaha, A. R., 2002. *Impact of seeding rate, seeding date, rate and method of phosphorus application in faba bean (Vicia faba L. minor) in the absence of moisture stress*. Biotechnologie Agronomie Societe Et Environment, 6(3), 171-178.
- Zhang, Z., Liao, H., and Lucas, W. J., 2014. *Molecular mechanisms underlying phosphate sensing, signaling, and adaptation in plants*. Journal of Integrative Plant Biology, 56(3), 192-220.
- Zribi, O. T., Labidi, N., Slama, I., Debez, A., Ksouri, R., Rabhi, M., and Abdelly, C., 2012. *Alleviation of phosphorus deficiency stress by moderate salinity in the halophyte Hordeum maritimum L*. Plant Growth Regulation, 66(1), 75-85.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΕΙΣΡΟΩΝ ΣΤΑ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΥΟ ΥΒΡΙΔΙΩΝ ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΥ

Λάσκαρη Μ.¹, Παπακαλούδης Π.¹, Μενεξές Γ.¹, Γκατζόλης Ι.², Κάλφας Η.², Δόρδας Χ.¹

¹ Εργαστήριο Γεωργίας, Τμήμα Γεωπονίας, ΑΠΘ, 54124 Θεσσαλονίκη,

² Αμερικανική Γεωργική Σχολή, Μαρίνου Αντύπα 54, 57001 Πυλαία, Θεσσαλονίκη
e-mail: chdordas@agro.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το πείραμα έλαβε χώρα σε πειραματικό αγρό στην Αμερικάνικη Γεωργική Σχολή, χρησιμοποιήθηκαν δύο υβρίδια αραβόσιτου και πέντε επεμβάσεις λίπανσης (μάρτυρας, χλωρά λίπανση, χημική λίπανση, λίπασμα βραδείας αποδέσμευσης και κοπριά). Σκοπός της εργασίας ήταν να αξιολογηθεί η επίδραση διαφορετικών λιπάνσεων σε δύο υβρίδια αραβόσιτου. Προσδιορίστηκε το ύψος των φυτών, ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας, η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη, η φωτοσυνθετική αποτελεσματικότητα, ο δείκτης βλάστησης, ο λόγος εκροές/εισροές, η αποτελεσματικότητα ενέργειας και η απόδοση σε ενσίρωμα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του πειράματος η επέμβαση με χημικό λίπασμα, με λίπασμα βραδείας αποδέσμευσης και με κοπριά συμβάλουν στην αύξηση των μορφολογικών και φυσιολογικών χαρακτηριστικών καθώς και στην αύξηση της απόδοσης σε ενσίρωμα κατά 24% σε σχέση με τον μάρτυρα και στα δύο υβρίδια. Συνεπώς είναι σημαντικό να εφαρμόζονται τα κατάλληλα λιπάσματα και να χρησιμοποιούνται τα κατάλληλα υβρίδια για να διατηρηθεί η παραγωγικότητα της καλλιέργειας του αραβόσιτου.

Λέξεις κλειδιά: αραβόσιτος, λίπανση, αργής αποδέσμευση, κοπριά, χλωρή λίπανση

EFFECT OF THE INPUTS ON THE MORPHOLOGICAL AND PHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF TWO MAIZE HYBRIDS

Laskari M.¹, Papakaloudis, P.¹, Menexes G.¹, Gatzolis I², Kalfas I.², Dordas C.¹,

¹ Laboratory of Agronomy, AUTH, 54124 Thessaloniki, email: chdordas@agro.auth.gr

² American Farm School, 54 Marinou Antypa Street, Thessaloniki 57001

ABSTRACT

The experiment was conducted at the experimental field of the American Farm School, two maize hybrids were used and five fertilization treatments (control, green manure, chemical fertilizer, slow release fertilizer and cattle manure). The aim of this study was to determine effect of different fertilization of two maize hybrids. Plant height, leaf area index (LAI), chlorophyll content, fluorescence chlorophyll, vegetation index, output/input ratio, energy efficiency and forage yield were measured. According to the results of the experiment, the treatment with the conventional fertilizer, slow release fertilizer and cattle manure can provide enough nutrients and increase the morphological and physiological characteristics in addition to the increase of silage yield by 24% compared to the control in both hybrids. Therefore, it is necessary to apply the appropriate fertilizers and use the appropriate hybrids in order to maintain the productivity of the maize crop.

Keywords: maize, fertilizer, slow release, manure, green manure

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο αραβόσιτος (*Zea mays* L.) είναι ετήσιο φυτό και είναι μία από τις πιο σπουδαίες καλλιέργειες σε πολλές χώρες του κόσμου καθώς χρησιμοποιείται στη διατροφή τόσο των ανθρώπων όσο και των ζώων (Pechanova and Pechan, 2017). Λόγω της αυξημένης ζήτησης, οι εκτάσεις του αραβοσίτου έχουν αυξηθεί κατά πολύ τις τελευταίες δεκαετίες. Ο πιο σημαντικός παράγοντας που συνέβαλε στην αύξηση των αποδόσεων της καλλιέργειας του αραβοσίτου είναι η λίπανση. Όμως η χρήση των λιπασμάτων πολλές φορές επιφέρει αρνητικά αποτελέσματα και έχει σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον (Fageria and Baligar, 2005). Η υπερβολική χρήση χημικών λιπασμάτων οδηγεί σε αυξημένο κόστος παραγωγής και περιβαλλοντικούς κινδύνους (Biagi et al., 2008). Οι αρνητικές επιδράσεις μπορεί να είναι περιβαλλοντικές (αύξηση των εκπομπών αμμωνίας και οξειδίων N στην ατμόσφαιρα, ρύπανση των υδάτινων πόρων κ.α.) και επιδράσεις στη βιοποικιλότητα (Fageria and Baligar, 2005). Οι παραπάνω αρνητικές επιδράσεις προέρχονται τις περισσότερες φορές από την αλόγιστη χρήση των λιπασμάτων με αποτέλεσμα να δημιουργούν την ανάγκη για μείωση της χρήσης τους (Socolow, 1999). Συνεπώς τα τελευταία χρόνια η παραδοσιακή γεωργία αντικαθίσταται από τη σύγχρονη γεωργία για την κάλυψη της αυξανόμενης ζήτησης γεωργικών προϊόντων (De et al., 2001).

Στη σύγχρονη γεωργία χρησιμοποιείται μεγάλη ποσότητα ενέργειας από ορυκτά καύσιμα, αυξημένες ποσότητες λιπασμάτων και αρδευτικού νερού που οδηγούν σε αυξημένο περιβαλλοντικό κόστος. Επίσης οι γεωργικές πρακτικές θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη την ενεργειακή απόδοση και θα πρέπει να εφαρμόζουν διαχείριση χαμηλών εισροών και να μειώνουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Vural et al., 2012). Όσον αφορά την αζωτούχο λίπανση, ο χρόνος εφαρμογής της καθώς και η ποσότητα του λιπάσματος που θα εφαρμοστεί, μειώνουν τη ρύπανση του περιβάλλοντος, βελτιώνουν τις συνθήκες του εδάφους και την απόδοση της καλλιέργειας (Fernandez et al., 2009).

Οι αυξανόμενες ανησυχίες σχετικά με τις επιβλαβείς επιπτώσεις της υπερβολικής χρήσης των χημικών λιπασμάτων, όπως τα αζωτούχα λιπάσματα, οδηγούν στην αντικατάσταση των χημικών λιπασμάτων από εναλλακτικές μορφές λιπασμάτων όπως κοπριά κλπ. Οι οργανικές πηγές αζώτου μπορούν να χρησιμεύσουν ως εναλλακτική επιλογή και μπορούν επίσης να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στη διατήρηση των οργανικών ενώσεων του εδάφους και στη βελτίωση της υγείας των φυτών. Συνεπώς οι πρακτικές που διατηρούν ή βελτιώνουν την ποιότητα του εδάφους, όπως είναι η επέμβαση με κοπριά, βελτιώνουν την παραγωγικότητα και την ποιότητα του αραβοσίτου (Miner et al., 2020). Η κοπριά μειώνει επίσης τον περιβαλλοντικό κίνδυνο και την υπερβολική χρήση χημικών λιπασμάτων. Επίσης η χλωρά λίπανση αυξάνει το άζωτο του εδάφους, μειώνει την έκπλυση των θρεπτικών στοιχείων, αυξάνει την οργανική ουσία του εδάφους και μειώνει τον κίνδυνο διάβρωσης του εδάφους (Wiesmeier et al., 2015). Συνεπώς η χρήση της χλωράς λίπανσης μειώνει τους κινδύνους των χημικών λιπασμάτων, αλλά επίσης αυξάνει την παραγωγή των καλλιεργειών, την απόδοση και την περιεκτικότητα της πρωτεΐνης στου κόκκου του αραβοσίτου (Zakikhani et al., 2016).

Ως εκ τούτου, η παρούσα μελέτη πραγματοποιήθηκε για να διερευνηθεί η επίδραση της χρήσης αζωτούχων λιπασμάτων, της χλωράς λίπανσης και της χρήση κοπριάς στα μορφολογικά και φυσιολογικά χαρακτηριστικά δύο υβριδίων αραβοσίτου καθώς και να γίνει προσδιοριστεί ο λόγος εκροές/εισροές ενέργειας και της αποτελεσματικότητας της ενέργειας.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Το πείραμα εγκαταστάθηκε σε πειραματικό αγρό στην Αμερικάνικη Γεωργική Σχολή στην περιοχή της Θεσσαλονίκης την καλλιεργητική περίοδο 2019. Χρησιμοποιήθηκαν δυο υβρίδια αραβόσιτου το Pioneer 1291 και το Dekalb 6777. Αρχικά πραγματοποιήθηκε προετοιμασία του αγρού και σπορά βίκου, ποικιλία "MARIANNA", στις 12/01/2019 που χρησιμοποιήθηκε ως φυτό χλωράς λίπανσης. Επιπλέον, στις 19/03/2019 έγινε η κοπή και ενσωμάτωση στην αντίστοιχη επέμβαση. Στις 02/04/2019 έγινε η χάραξη του πειράματος στον αγρό, η εφαρμογή των λιπασμάτων και η κατεργασία του εδάφους με δισκοσβάρνα. Στις 04/04/2019 έγινε σπορά του αραβόσιτου με πυκνότητα σποράς 8.000 φυτά/στρ. Πριν τη χάραξη του πειράματος έγινε δειγματοληψία και εδαφολογική ανάλυση σύμφωνα με την οποία το έδαφος ήταν αργιλλοπηλώδης ως προς την μηχανική του σύσταση, με pH= 7,8, οργανική ουσία 2,3%, περιεκτικότητα σε νιτρικό άζωτο 23,8 mg/kg εδάφους, αφομοιώσιμος φώσφορος 79,6 mg/kg εδάφους και κάλιο 1.475 mg/kg εδάφους.

Οι επεμβάσεις που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα ήταν: 1. Μάρτυρας (χωρίς λίπανση), 2. Χλωρή λίπανση με ενσωμάτωση 15 ημέρες πριν τη σπορά του αραβόσιτου, 3. Χημική λίπανση με εφαρμογή λιπάσματος NP (16-20-0) και ουρίας (46-0-0) ποσότητα N 31 kg N/στρ και 4 kg P₂O₅/στρ., 4. Χρήση λιπάσματος (αργής αποδέσμευσης) με εφαρμογή λιπάσματος NP (16-20-0), ουρίας και το λίπασμα αργής αποδέσμευσης (Stabil N-M 40-0-0+14SO₃, με παρεμποδιστή ουρέασης) 31 kg N/στρ και 4 kg P/στρ., 5. Εφαρμογή κοπριάς σε ποσότητα 18 τόνοι/στρέμμα που είναι ίση με τη χημική λίπανση σε N.

Μετρήθηκε το ύψος των φυτών με μετροταινία, ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας με τη χρήση της συσκευής ανάλυσης της φυτοστοιβάδας ACCUPAR LP-80 (Decagon Devices, Inc.), η συγκέντρωση ολικής χλωροφύλλης με τη χρήση φορητού μετρητή χλωροφύλλης τύπου SPAD 502DL (Minolta Co Ltd, Osaka, Japan)(Konica-Minolta, 1989), η φωτοσυνθετική αποτελεσματικότητα με το όργανο Fluorpen [(PSI, Photon Systems Instruments, Drásov, Czech Republic)], και ο φυτικός συντελεστής δείκτης κανονικοποιημένης διαφοράς βλάστησης [Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)] με το όργανο Polypen (PSI, Photon Systems Instruments, Drásov, Czech Republic).

Η ενεργειακή προσέγγιση, στηρίζεται στη μετατροπή όλων των συντελεστών παραγωγής καθώς και των προϊόντων μιας καλλιέργειας σε ενεργειακές μονάδες. Οι ποσότητες εισροών στην παρούσα εργασία υπολογίστηκαν ανά στρέμμα. Τα ισοδύναμα ενέργειας των εμφανίζονται σε megajoules (MJ). Για τον προσδιορισμό της αποτελεσματικότητας της χρήσης ενέργειας στην παραγωγή αραβόσιτου και του λόγου εκροές/εισροές χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθοι τύποι (Vural and Efecan, 2012):

$$\text{Αναλογία εκροών/ εισροών} = \frac{\text{Ποσότητα ενέργειας (Εκροών)}(\text{Mj}/\text{στρ})}{\text{Ποσότητα ενέργειας (Εισροών)}(\text{Mj}/\text{στρ})} \quad (1)$$

$$\text{Αποδοτικότητα ενέργειας} = \frac{\text{Παραγωγή αραβόσιτου (Kg}/\text{στρ})}{\text{Ποσότητα ενέργειας (Εισροών)}(\text{Mj}/\text{στρ})} \quad (2)$$

Το πειραματικό σχέδιο που χρησιμοποιήθηκε ήταν οι πλήρεις ομάδες σε ελεύθερη διάταξη (Randomized Complete Block Design) με 4 επαναλήψεις και 5 επεμβάσεις. Η ανάλυση των δεδομένων (ANOVA) έγινε με το στατιστικό πακέτο SPSS 20.0.0. Υπολογίστηκε η ελάχιστη σημαντική διαφορά (ΕΣΔ) και χρησιμοποιήθηκε το επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,05$ για τη σύγκριση των μέσων όρων.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στο ύψος των δύο υβριδίων αραβόσιτου βρέθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές στις διαφορετικές επεμβάσεις και στο στάδιο ανάπτυξης των φυτών. Τα φυτά των υβριδίων Pioneer 1291 και Dekalb 6777 δεν εμφάνισαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους

ανάμεσα στις διαφορετικές επεμβάσεις και το ύψος ήταν κατά μέσο όρο 2,20 m (Πίνακας 1). Ωστόσο εμφανίστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων για το ίδιο υβρίδιο. Το υβρίδιο Pioneer 1291 εμφάνισε χαμηλότερο ύψος σε όλες τις επεμβάσεις σε σχέση με το υβρίδιο Dekalb 6777 και στα δύο στάδια ανάπτυξης. Το χαμηλότερο ύψος εμφανίστηκε και στα δύο υβρίδια και στην επέμβαση του μάρτυρα με μέσο όρο 1,92 m ενώ στις επεμβάσεις της χημικής λίπανσης, στο λίπασμα της αργής αποδέσμευσης και στην κοπριά παρατηρήθηκε αύξηση του ύψους κατά 22% δηλαδή με μέσο όρο 2,34 m. Η μεγάλη αύξηση του ύψους είναι πιθανό να οφείλεται στη θετική επίδραση του αζώτου στην αύξηση και ανάπτυξη των φυτών (Cechin and Fumis, 2004). Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με προηγούμενα πειράματα όπου βρέθηκε ότι η χημική λίπανση και το λίπασμα βραδείας αποδέσμευσης προκαλεί αύξηση του ύψους των φυτών σε σύγκριση με τον μάρτυρα (Bakht et al., 2006). Άλλες εργασίες αναφέρουν ότι η χρήση της κοπριάς προκαλεί αύξηση του ύψους των φυτών και δίνει παρόμοια αποτελέσματα με την ανόργανη λίπανση (Dordas et al., 2008; Efthimiadou et al., 2010) ενώ η χλωρά λίπανση προκαλεί μικρή αύξηση σε σχέση με τον μάρτυρα και σε παρόμοια αποτελέσματα κατέληξαν και άλλοι ερευνητές (Turgut et al., 2005).

Στο Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας (LAI) των φυτών βρέθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές στις επεμβάσεις, στο στάδιο της άνθισης. Επίσης στατιστικώς σημαντικές διαφορές βρέθηκαν και στα υβρίδια με το Pioneer 1291 να εμφανίζει χαμηλότερες τιμές LAI με την χαμηλότερη τιμή 3,22, ενώ το υβρίδιο Dekalb 6777 να εμφανίζει υψηλότερες τιμές LAI με μέγιστη 4,30. Επίσης εμφανίστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων για το ίδιο υβρίδιο. Συγκρίνοντας τις τιμές του LAI στις επεμβάσεις του πειράματος, η τιμή του αυξήθηκε κατά 17% στη χλωρά λίπανση, ενώ μεγαλύτερη ήταν η αύξηση που σημειώθηκε στις επεμβάσεις με λίπασμα αργής αποδέσμευσης, με κοπριά και με χημική λίπανση με αύξηση 42% (Πίνακας 1). Σε παρόμοια αποτελέσματα έχουν καταλήξει και άλλοι ερευνητές αποδεικνύοντας ότι η τιμές του δείκτη LAI αυξάνονται περισσότερο με την ανόργανη λίπανση και με την χρήση της κοπριάς (Etelib et al., 2006; Efthimiadou et al., 2009; Shao et al., 2013). Σύμφωνα με άλλους ερευνητές Etelib et al., (2006) και Ercoli et al., (2008) αυτή η αύξηση στον δείκτη LAI είναι πιθανό να οφείλεται στην άμεση επίδραση του αζώτου στην δημιουργία της φυλλικής επιφάνειας, η οποία κατά συνέπεια οδηγεί σε αύξηση της αναχαίτησης της ηλιακής ακτινοβολίας. Ο υψηλός δείκτης LAI είναι πιθανό να οφείλεται στην εφαρμογή αζώτου, η οποία επηρεάζει θετικά το μέγεθος καθώς και τη διάρκεια ζωής των φύλλων.

Στα φυσιολογικά χαρακτηριστικά η περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη (SPAD) εμφάνισε στατιστικά σημαντικές διαφορές στις επεμβάσεις και στο στάδιο ανάπτυξης των φυτών. Τα υβρίδια Pioneer 1291 και Dekalb 6777 δεν εμφάνισαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Ωστόσο, εμφανίστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων για το ίδιο υβρίδιο. Τη χαμηλότερη τιμή SPAD εμφάνισαν, τα δύο υβρίδια και στα δύο στάδια ανάπτυξης, στο μάρτυρα, ενώ στη χλωρά λίπανση παρατηρήθηκε αύξηση κατά 13,29%, στο λίπασμα βραδείας αποδέσμευσης και στην επέμβαση με κοπριά παρατηρήθηκε αύξηση κατά 29,52%, ενώ η μεγαλύτερη αύξηση εμφανίστηκε στην επέμβαση με χημική λίπανση κατά 32,60% (Πίνακας 2). Σύμφωνα με τους Cendrero-Mateo et al., (2015) ο δείκτης SPAD συνδέεται άμεσα με την πρόσληψη N από τα φυτά. Το λιγότερο N που υπήρχε στο μάρτυρα είναι πιθανό να προκάλεσε μείωση στην περιεκτικότητα της χλωροφύλλης (Shukla et al., 2004; Dordas et al., 2008). Επομένως, όταν υπάρχει επαρκής ποσότητα N στο έδαφος, η γήρανση των φύλλων είναι πιο αργή και το

φυτό τροφοδοτεί το σπόρο με N για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, με αποτέλεσμα υψηλότερες αποδόσεις (Eghball and Power, 1999).

Πίνακας 1. Μέσοι όροι για τα μορφολογικά χαρακτηριστικά ύψος και δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI).

Παράγοντες	Ύψος				Δείκτης Φυλλικής Επιφάνειας			
	1 ^ο στάδιο ανάπτυξης		2 ^ο στάδιο ανάπτυξης		1 ^ο στάδιο ανάπτυξης		2 ^ο στάδιο ανάπτυξης	
	Pioneer 1291	Dekalb 6777	Pioneer 1291	Dekalb 6777	Pioneer 1291	Dekalb 6777	Pioneer 1291	Dekalb 6777
Χλωρά Λίπανση	2,01b	1,99b	2,10b	2,07b	3,69b	3,74b	3,64b	3,66b
Μάρτυρας	1,86c	1,91b	1,93c	2,00b	3,29c	3,35c	3,22c	3,27c
Χημική Λίπανση	2,29a	2,33a	2,37a	2,40a	4,27a	4,30a	4,18a	4,21a
Αργής Αποδέσμευσης	2,28a	2,30a	2,36a	2,37a	4,26a	4,28a	4,18a	4,20a
Κοπριά	2,29a	2,31a	2,36a	2,38a	4,28a	4,30a	4,20a	4,23a

¹Μέσοι όροι κάθε επίδρασης που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, σύμφωνα με το κριτήριο σύγκρισης μέσω των όρων του Tukey σε επίπεδο σημαντικότητας $p=0,05$. Οι συγκρίσεις αφορούν τους μέσους όρους των διαφορετικών λιπάνσεων εντός του ίδιου υβριδίου.

Η φωτοσυνθετική αποτελεσματικότητα των φύλλων εμφάνισε στατιστικά σημαντικές διαφορές στις επεμβάσεις και στο στάδιο ανάπτυξης των φυτών. Δεν εμφανίστηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δυο υβριδίων, όμως, εμφανίστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων για το ίδιο υβρίδιο. Η φωτοσυνθετική αποτελεσματικότητα των φύλλων εμφάνισε χαμηλότερες τιμές στο μάρτυρα, ενώ παρατηρήθηκε αύξηση κατά 10% στην επέμβαση με χλωρά λίπανση, 12% στην επέμβαση με το λίπασμα αργής αποδέσμευσης και με κοπριά, ενώ λίγο μεγαλύτερη ήταν η αύξηση στην επέμβαση με χημική λίπανση κατά 14% σε σύγκριση με το μάρτυρα (Πίνακας 2). Σύμφωνα με τους Jin et al., (2014) ο φθορισμός της χλωροφύλλης σχετίζεται άμεσα με την δραστηριότητα της φωτοσύνθεσης και πιο συγκεκριμένα με το φωτοσύστημα PSII. Η εφαρμογή λιπασμάτων και ο εμπλουτισμός του εδάφους με N προκαλούν αύξηση της φωτοσυνθετικής αποτελεσματικότητας (Wu et al., 2019).

Η σπουδαιότητα του δείκτη NDVI ενάγεται στο γεγονός ότι δείχνει το βαθμό της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας και είναι ένας γρήγορος και αποτελεσματικός τρόπος για την εκτίμηση της υγιούς βλάστησης. Στα αποτελέσματα ο δείκτης NDVI εμφάνισε στατιστικά σημαντικές διαφορές στις επεμβάσεις και στο στάδιο ανάπτυξης των φυτών. Δεν εμφανίστηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δυο υβριδίων ανάμεσα στις διαφορετικές λιπάνσεις, όμως, εμφανίστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων για το ίδιο υβρίδιο. Οι χαμηλότερες τιμές του δείκτη εμφάνιστηκαν στο μάρτυρα, ενώ στις υπόλοιπες επεμβάσεις παρατηρήθηκε αύξηση. Πιο συγκεκριμένα παρατηρήθηκε αύξηση κατά 9% στην επέμβαση της χλωράς λίπανσης, 14% στην επέμβαση με λίπασμα βραδείας αποδέσμευσης και στην κοπριά (Πίνακας 3). Ο δείκτης NDVI συσχετίζεται με την περιεκτικότητα του αζώτου στα φύλλα (Maresma et al., 2016; Flores et al., 2020). Αυτό σχετίζεται με τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας, διότι παρατηρείται αύξηση του δείκτη NDVI στις επεμβάσεις όπου υπήρχε μεγάλη διαθεσιμότητα N.

Πίνακας 2. Μέσοι όροι για τα φυσιολογικά χαρακτηριστικά περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη (SPAD), φωτοσυνθετική αποτελεσματικότητα

Επεμβάσεις	SPAD				Φωτοσυνθετική αποτελεσματικότητα			
	1 ^ο στάδιο ανάπτυξης		2 ^ο στάδιο ανάπτυξης		1 ^ο στάδιο ανάπτυξης		2 ^ο στάδιο ανάπτυξης	
	Pioneer 1291	Dekalb 6777	Pioneer 1291	Dekalb 6777	Pioneer 1291	Dekalb 6777	Pioneer 1291	Dekalb 6777
Χλωρά Λίπανση	51,42c	51,25c	50,87c	50,65c	0,786b	0,784c	0,790b	0,790b
Μάρτυρας	45,60d	45,07d	45,10d	44,45d	0,712c	0,713d	0,716c	0,717c
Χημική Λίπανση	60,07a	60,12a	59,32a	59,47a	0,816a	0,808a	0,822a	0,813a
Αργής Αποδέσμευσης	58,75b	58,57b	58,05b	58,12b	0,798b	0,795bc	0,804b	0,802a
Κοπριά	58,72b	58,60b	58,25b	57,90b	0,793b	0,798ab	0,798b	0,803a

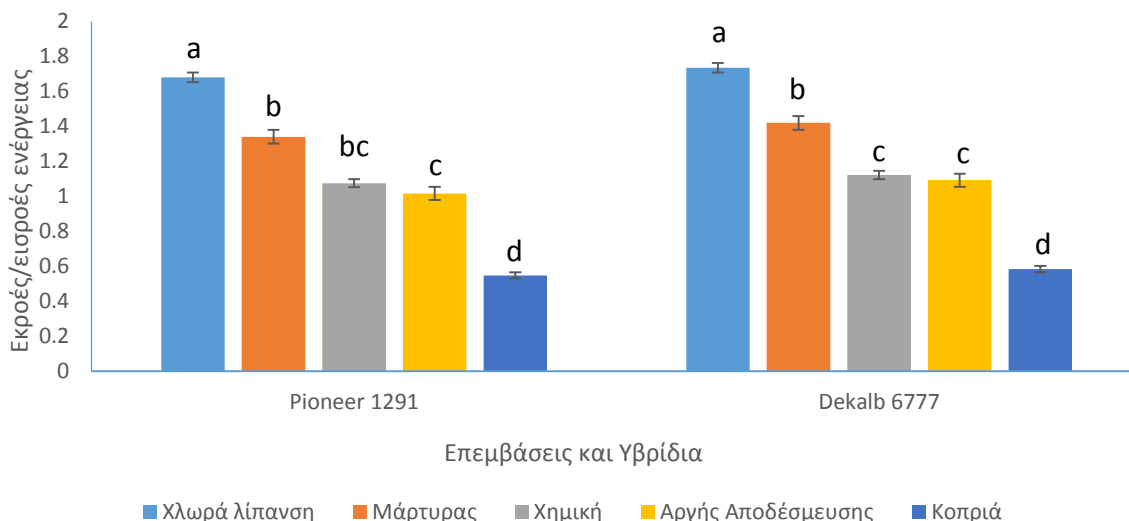
¹Μέσοι όροι κάθε επίδρασης που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, σύμφωνα με το κριτήριο σύγκρισης μέσων όρων του Tukey σε επίπεδο σημαντικότητας $p = 0,05$. Οι συγκρίσεις αφορούν τους μέσους όρους των διαφορετικών λιπάνσεων εντός του ίδιου υβριδίου.

Πίνακας 3. Μέσοι όροι για το Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Βλάστησης (NDVI)

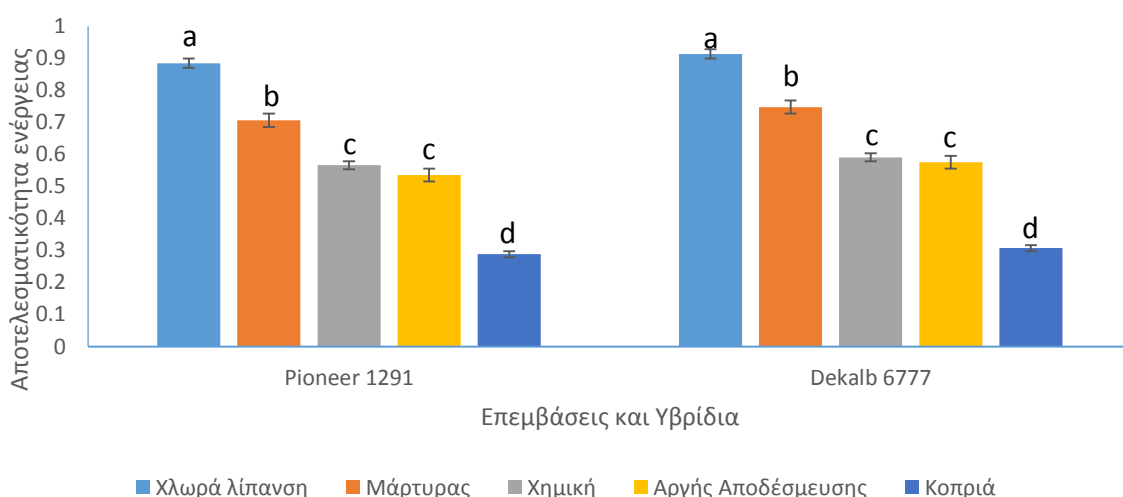
Επεμβάσεις	NDVI			
	1 ^ο στάδιο ανάπτυξης		2 ^ο στάδιο ανάπτυξης	
	Pioneer 1291	Dekalb 6777	Pioneer 1291	Dekalb 6777
Χλωρά Λίπανση	0,701b	0,706a	0,702b	0,707a
Μάρτυρας	0,642c	0,642b	0,643c	0,644b
Χημική Λίπανση	0,743a	0,742a	0,744a	0,744a
Αργής Αποδέσμευσης	0,732ab	0,728a	0,734ab	0,729a
Κοπριά	0,728ab	0,732a	0,729ab	0,734a

¹Μέσοι όροι κάθε επίδρασης που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, σύμφωνα με το κριτήριο σύγκρισης μέσων όρων του Tukey σε επίπεδο σημαντικότητας $p = 0,05$. Οι συγκρίσεις αφορούν τους μέσους όρους των διαφορετικών λιπάνσεων εντός του ίδιου υβριδίου.

Προσδιορίστηκε ο λόγος εκροές/εισορές ενέργειας που δέχτηκε η καλλιέργεια από την κατεργασία του εδάφους μέχρι και τη συγκομιδή. Από το διάγραμμα διαπιστώνετε ότι ο λόγος εκροές/εισορές ήταν κυρίως υψηλότερος στις επεμβάσεις με χλωρά λίπανση και στο μάρτυρα (Σχήμα 1). Επιπλέον, ο δείκτης αποτελεσματικότητας αξιοποίησης της ενέργειας εμφανίζεται χαμηλότερος στην κοπριά, ενώ στις υπόλοιπες λιπάνσεις υπάρχει αύξηση με τη μεγαλύτερη να εμφανίζεται στην χλωρά λίπανση και για τα δύο υβρίδια (Σχήμα 2). Σε παρόμοια αποτελέσματα κατέληξαν και άλλοι ερευνητές (Vural and Efegan, 2012). Η αναποτελεσματική χρήση αυτών των εισροών πιθανώς να προκαλεί σημαντικά περιβαλλοντικά προβλήματα. Η χαμηλότερη ενεργειακή απόδοση στα συστήματα παραγωγής καλαμποκιού οφείλεται στις υψηλότερες ενεργειακές εισροές σε αυτά τα συστήματα.



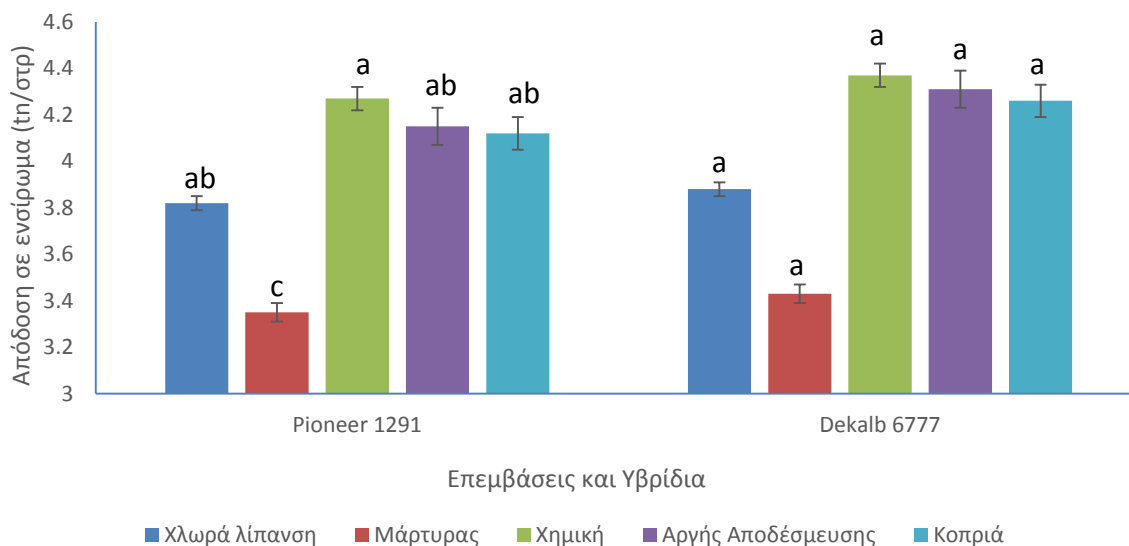
Σχήμα 1. Προσδιορισμός του λόγου εκροές/εισορές ενέργειας. Οι μέσοι όροι κάθε επίδρασης που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, σύμφωνα με το κριτήριο σύγκρισης μέσω όρων του Tukey σε επίπεδο σημαντικότητας $p=0,05$. Οι συγκρίσεις αφορούν τους μέσους όρους των διαφορετικών λιπάνσεων εντός του ίδιου υβριδίου.



Σχήμα 2. Προσδιορισμός του δείκτη αποτελεσματικότητας της ενέργειας. Μέσοι όροι κάθε επίδρασης που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, σύμφωνα με το κριτήριο σύγκρισης μέσω όρων του Tukey σε επίπεδο σημαντικότητας $p=0,05$. Οι συγκρίσεις αφορούν τους μέσους όρους των διαφορετικών λιπάνσεων εντός του ίδιου υβριδίου.

Η απόδοση σε ενσίρωμα αραβόσιτου εμφάνισε στατιστικά σημαντικές διαφορές μόνο στις επεμβάσεις. Η χαμηλότερη απόδοση εμφανίστηκε στο μάρτυρα και για τα δύο υβρίδια όπου δεν υπήρχε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ τους, με το Pioneer 1291 να έχει τιμή 3,35 tn/στρ και το Dekalb 6777 να εμφανίζει τιμή 3,43 tn/στρ (Σχήμα 3). Η απόδοση σε ενσίρωμα αυξήθηκε κατά 13% στην επέμβαση της χλωράς λίπανσης ενώ αυξήθηκε κατά μέσο όρο 24% στην επέμβαση της χημικής λίπανσης, της λίπανσης βραδείας αποδέσμευσης και της κοπριάς. Από τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας προκύπτει ότι στις

επεμβάσεις με χρήση λιπασμάτων βραδείας αποδέσμευσης και κοπριάς οι αποδόσεις είναι αυξημένες και παρόμοιες με την χημική λίπανση. Αυτό είναι πιθανόν να οφείλετε στη διάθεση και διατήρηση των θρεπτικών συστατικών. Με τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν και άλλοι ερευνητές (Culley et al., 1981, Motavalli et al., 1989, Lithourgidis et al., 2007, Dong et al., 2016).



Σχήμα 3. Απόδοση σε ενσίρωμα (tn/στρ) για τα δύο υβρίδια στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης. Οι μέσοι όροι κάθε επίδρασης που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, σύμφωνα με το κριτήριο σύγκρισης μέσω όρων του Tukey σε επίπεδο σημαντικότητας $p = 0,05$. Οι συγκρίσεις αφορούν τους μέσους όρους των διαφορετικών λιπάνσεων εντός του ίδιου υβριδίου.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της παρούσας εργασίας διαπιστώθηκε ότι η εφαρμογή λιπάσματος βραδείας αποδέσμευσης και η χρήση κοπριάς δίνουν παρόμοια αποτελέσματα με τη χημική λίπανση λόγω του εμπλουτισμού του εδάφους με N, όπου είναι απαραίτητος όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα της εργασίας για τη βελτίωση τόσο των μορφολογικών όσο και των φυσιολογικών χαρακτηριστικών του αραβοσίτου καθώς και την απόδοση σε ενσίρωμα. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητο να διατηρηθεί η παραγωγικότητα της καλλιέργειας και να γίνεται αποτελεσματική χρήση των εισροών στην παραγωγή αραβοσίτου προκειμένου να μειωθεί το περιβαλλοντικό κόστος με την εφαρμογή των κατάλληλων λιπασμάτων και με τη χρήση των κατάλληλων υβριδίων.

Ευχαριστίες: Η εργασία υλοποιήθηκε στο πλαίσιο της Δράσης ΕΡΕΥΝΩ – ΔΗΜΙΟΥΡΓΩ – ΚΑΙΝΟΤΟΜΩ και συγχρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση και εθνικούς πόρους μέσω του Ε.Π. Ανταγωνιστικότητα, Επιχειρηματικότητα & Καινοτομία (ΕΠΑνεΚ) (κωδικός έργου:Τ1ΕΔΚ-03987), BioCircular, Βιοπαραγωγικό σύστημα κυκλικής γεωργίας ακριβείας.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Bakht, J., Ahmad, S., Tariq, M., Akber, H. and Shafi, M., 2006. *Response of maize to planting methods and fertilizer N*. Journal Agricultural Biological Science, 1, 8–14.
- Biari, A., Gholami, A. and Rahmani, H., 2008. *Growth promotion and enhanced nutrient uptake of maize by application of plant growth promoting rhizobacteria in arid region of Iran*. Journal Biological Science, 8, 1015-1020.
- Cechin, I. and Fumis, T., 2004. *Effect of nitrogen supply on growth and photosynthesis of sunflower plants grown in greenhouse*. Plant Science, 166, 1379-1385.
- Cendrero-Mateo, P., Susan Moran, M., Papuga, S., Thorp, K., Alonso, L., Moreno, J., Ponce-Campos, J., Rascher, U. and Wang, U., 2015. *Plant chlorophyll fluorescence: active and passive measurements at canopy and leaf scales with different nitrogen treatments*. Journal of Experimental Botany, 67, 275–286.
- Culley, J.L.B., P.A. Phillips, F.R. Hore, and N.K. Patni. 1981. *Soil chemical properties and removal of nutrients by corn resulting from different rates and timing of liquid dairy manure applications*. Canadian Journal of Soil Science, 61, 35–46.
- De, D., Singh, S. and Chandra, H., 2001. *Technological impact on energy consumption in rainfed soybean cultivation in Madhya Pradesh*. Applied Energy, 70, 193-213.
- Dong, Y., He, M., Wang, Z., Chen, W., Hou, J., Qiu, X., and Zhang, J. (2016). *Effects of new coated release fertilizer on the growth of maize*. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 16, 637-649.
- Dordas, C., Lithourgidis, A., Matsi, T., and Barbayiannis, N. 2008. *Application of liquid cattle manure and inorganic fertilizers affect dry matter, nitrogen accumulation, and partitioning in maize*. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 80: 283–296.
- Efthimiadou, A., Bilalis, D., Karkanis, A. and Froud-Williams, B., 2010. *Combined organic/inorganic fertilization enhance soil quality and increased yield, photosynthesis and sustainability of sweet maize crop*. Australian Journal of Crop Science, 4, 722-729.
- Efthimiadou, A., Bilalis, D., Karkanis, A., Froud-Williams, B. and Eleftherochorinos, I., 2009. *Effects of cultural system (Organic and Conventional) on growth, photosynthesis and yield components of sweet corn (Zea mays L.) under Semi-Arid Environment*. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 37, 104-111.
- Eghball, B. and Power, J., 1999. *Composted and noncomposted manure application to conventional and no-tillage systems: corn yield and nitrogen uptake*. Agronomy Journal, 91, 819–825.
- Etelib, H., Hamad, M. and Ali, E., 2006. *The effect of nitrogen and phosphorus fertilization on growth, yield and quality of forage maize (Zea mays L.)*. Journal of Agronomy, 5, 515-518.
- Ercoli, L., Lulli, L., Mariotti, M., Masoni, A. and Arduini, I., 2008. *Post-anthesis dry matter and nitrogen dynamics in durum wheat as affected by nitrogen supply and soil water availability*. European Journal of Agronomy, 28, 138-147.
- Fageria, N., and Baligar, V., 2005. *Enhancing Nitrogen Use Efficiency in Crop Plants*. Advances in Agronomy, 97–185.
- Fernandez, F., Nafziger, E., Ebelhar, S. and Hoefl, R., 2009. *Managing nitrogen in Illinois*. Agronomy Handbook. Univ. Illinois Coop. Ext. Serv, Urbana-Champaign, 113–132.
- Flores, M., Paschoalete, W., Baio, F., Campos, C., Pantaleão, A., Teodoro, L., da Silva Júnior, C. and Teodoro, P., 2020. *Relationship between vegetation indices and agronomic performance of maize varieties under different nitrogen rates*. Bioscience Journal, 36, 1638-1644.

- Jin, X., Yang, G. and Tan, C., 2015. *Effects of nitrogen stress on the photosynthetic CO₂ assimilation, chlorophyll fluorescence and sugar-nitrogen ratio in corn*. Scientific Reports, 5, 9311.
- Lithourgidis, A. Matsi, T., Barbayiannis, N., and Dordas, A. 2007. *Effect of Liquid Cattle Manure on Corn Yield, Composition, and Soil Properties*. Agronomy Journal, 99, 1041–1047.
- Maresma, A., Ariza, M., Martínez, E., Lloveras, J. and Martínez-Casasnovas, J., 2016. *Analysis of vegetation indices to determine nitrogen application and yield prediction in maize (Zea Mays L.) from a standard uav service*. Remote Sensing, 8, 973.
- Miner, G., Delgado, J., Ippolito, J., Stewart, C., Manter, D., Del Grosso, S., Floyd, B. and D'Adamo, R., 2020. *Assessing manure and inorganic nitrogen fertilization impacts on soil health, crop productivity, and crop quality in a continuous maize agroecosystem*. Journal of Soil and Water Conservation, 1-18.
- Motavalli, P.P., K.A. Kelling, and J.C. Converse. 1989. *First-year nutrient availability from injected dairy manure*. Journal of Environmental Quality, 18, 180–185.
- Pechanova, O. and Pechan, T., 2017. *Proteomics as a tool to understand maize biology and to improve maize crop*. Proteomics in Food Science, 3, 35–56.
- Shao, G., Li, Z., Ning, T. and Zheng, Y., 2013. *Responses of photosynthesis, chlorophyll fluorescence, and grain yield of maize to controlled-release urea and irrigation after anthesis*. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 176, 595–602.
- Shukla, A., Ladha, J., Dwivedi, S., Balasubramanian, V., Gupta, R., Sharma, S., Singh, Y., Pathak, H., Pandey, P., Padre, A. and Yadav, R., 2004. *Calibrating the Leaf Color Chart for Nitrogen Management in Different Genotypes of Rice and Wheat in a Systems Perspective*. Agron. J, 96, 1606–1621.
- Socolow, R. H., 1999. *Nitrogen management and the future of food: Lessons from the management of energy and carbon*. Proceedings of the National Academy of Sciences, 96, 6001–6008.
- Turgut, I., Bilgili, U., Duman, A. and Acikgoz, E., 2005. *Effect of green manuring on the yield of sweet corn*. Agronomy for Sustainable Development, 25, 433-438.
- Vural, H. and Efecan, I., 2012. *An analysis of energy use and input costs for maize production in Turkey*. Journal of Food Agriculture and Environment, 10, 613–616.
- Wiesmeier, M., Lungu, M., Hübner, R. and Cerbari, V., 2015. *Remediation of degraded arable steppe soils in Moldova using vetch as green manure*. Solid Earth, 6, 609–620.
- Wu, Y., Li Q., Jin, R., Chen, W., Liu, X., Kong, F., Ke, Y., Shi, H. and Yuan, J., 2019. *Effect of low-nitrogen stress on photosynthesis and chlorophyll fluorescence characteristics of maize cultivars with different low-nitrogen tolerances*. Journal of Integrative Agriculture, 18, 1246–1256.
- Zakikhani K., Kashani A. and Paknejad F., 2016. *Effect of nitrogen level, green and animal manure on the growth attribute of corn crop (Zea mays L.)*. Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences, 4, 225-231.



**12^ο Πανελλήνιο Συνέδριο
Γεωργικής Μηχανικής**

ΥΔΑΤΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ



ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΣΤΗΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΥ

Λάσκαρη Μ.¹, Μιχαλίτσης Α.¹, Μενεξές Γ.¹, Γκατζόλης Ι.², Κάλφας Η.², Δόρδας Χ.¹

¹Εργαστήριο Γεωργίας, Τμήμα Γεωπονίας, ΑΠΘ, 54124 Θεσσαλονίκη, e-mail: chdordas@agro.auth.gr

²Αμερικανική Γεωργική Σχολή, Μαρίνου Αντύπα 54, 57001 Πυλαία, Θεσσαλονίκη

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η άρδευση αποτελεί μια σημαντική καλλιεργητική πρακτική και είναι σημαντικό να αυξηθεί η αποτελεσματικότητα της χρήσης του αρδευτικού νερού μιας και οι υδατικοί πόροι μειώνονται όλο και περισσότερο. Το πείραμα εγκαταστάθηκε σε πειραματικό αγρό στην Αμερικανική Γεωργική Σχολή την καλλιεργητική περίοδο 2019. Εξετάστηκαν πέντε διαφορετικά επίπεδα άρδευσης, 40% (ET₄₀), 70% (ET₇₀) και 100% (ET₁₀₀) της απαιτούμενης εξατμισοδιαπνοής, ελλειμματική άρδευση (EA) και μερικής ύγρανσης του ριζοστρώματος (MYP). Τα αποτελέσματα της εργασίας έδειξαν ότι η άρδευση επηρέασε τα μορφολογικά και φυσιολογικά χαρακτηριστικά του αραβοσίτου. Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας και το ύψος των φυτών ήταν πιο χαμηλά στην επέμβαση ET₄₀ σε σύγκριση με ET₁₀₀ και ET₇₀. Επιπλέον, η περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη και η φωτοσυνθετική αποτελεσματικότητα ήταν χαμηλότερα στην επέμβαση της μερικής ύγρανσης του ριζοστρώματος και της ελλειμματικής άρδευσης. Ως εκ τούτου, είναι σημαντικό να γίνεται ορθολογική χρήση του νερού διατηρώντας την παραγωγικότητα των καλλιεργειών.

Λέξεις κλειδιά: αραβόσιτος, άρδευση, φυλλική επιφάνεια, εξατμισοδιαπνοή

EFFECT OF DIFFERENT IRRIGATION LEVELS ON THE MAIZE

Laskari M.¹, Michalitsis, A.¹, Menexes G.¹, Gatzolis I.², Kalfas I.², Dordas C.¹

¹Laboratory of Agronomy, AUTH, 54124 Thessaloniki, email: chdordas@agro.auth.gr

²American Farm School, 54 Marinou Antypa Street, Thessaloniki 57001

ABSTRACT

Irrigation is an important cultivation practice and it is important to increase the irrigation water use efficiency of as water resources are declining dramatically. The experiment was conducted at the experimental field of the American Farm School during the growing season 2019. Five different levels of irrigation were examined, 40%, 70% and 100% of the required evapotranspiration, deficient irrigation and partial root-zone drying. The results of the study showed that the irrigation affected the morphological and physiological characteristics. Leaf area index and plant height were lower at the treatment ET₄₀ compared with the ET₁₀₀ and ET₇₀. In addition, chlorophyll content and photosynthetic effectiveness were lower at the partial root-zone drying treatment and the deficient irrigation, respectively. Therefore, it is important to use the water resources responsible, maintaining the productivity of the crops.

Keywords: maize, irrigation, leaf area, evapotranspiration

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η άρδευση των καλλιεργειών αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές καλλιεργητικές πρακτικές καθώς εξασφαλίζει μεγάλες αποδόσεις και καλή ποιότητα των παραγομένων προϊόντων (Sinclair et al., 1984; Steduto et al., 2007). Δεδομένου ότι οι εκτάσεις για την παραγωγή τροφίμων δεν μπορούν να αυξηθούν, η αύξηση της ορθολογικής χρήσης του νερού θεωρείται ότι είναι ένα από τα σημαντικότερα εργαλεία για την αύξηση της απόδοσης των καλλιεργειών και την προστασία των υδάτινων πόρων. Επομένως, ένα ορθολογικό πρόγραμμα άρδευσης, που πετυχαίνει τη βέλτιστη αξιοποίηση του αρδευτικού νερού, αποτελεί το βασικό παράγοντα στην αύξηση των αποδόσεων των καλλιεργειών και γενικότερα στην προσπάθεια εξοικονόμησης νερού, ιδιαίτερα σε περιοχές μειονεκτικές σε νερό (Liu et al., 2006). Οι μεσογειακές χώρες είναι ανάμεσα σε εκείνες που υποφέρουν περισσότερο από έλλειψη αρδευτικού νερού και το πρόβλημα αναμένεται να οξυνθεί εξαιτίας των επιπτώσεων από την αλλαγή του κλίματος παγκοσμίως.

Η σύγχρονη αρδευόμενη γεωργία έχει στόχο την αποτελεσματικότερη και αειφορική χρήση των υδάτινων πόρων και μπορεί να επιτευχθεί με τον προγραμματισμό των αρδεύσεων και τη χρήση καινοτόμων μεθόδων άρδευσης. Η μέθοδος της μερικής ύγρανσης του ριζοστρώματος (Partial Root-zone Drying, PRD), αποτελεί μια τροποποιημένη μέθοδο στάγδην άρδευσης που αφορά την ύγρανση του ριζοστρώματος μόνο κατά το ήμισυ σε κάθε άρδευση. Η μέθοδος αυτή έχει τη δυνατότητα μειωμένης εφαρμογής αρδευτικού νερού, διατήρησης της σπαργής αλλά και των αποδόσεων τους σε σύγκριση με τις συνήθεις μεθόδους άρδευσης (Kang and Zhang, 2004). Αντίθετα, η ελλειμματική άρδευση είναι μια στρατηγική άρδευσης κατά την οποία η καλλιέργεια εκτίθεται σε υδατική καταπόνηση είτε κατά τη διάρκεια μιας μεμονωμένης αυξητικής περιόδου, είτε κατά τη διάρκεια όλης της αύξησης με μικρές μόνο συνέπειες στην παραγωγή. Είναι ένα αποτελεσματικό σύστημα διαχείρισης του νερού, καθώς η επίδρασή της στην απόδοση των καλλιεργειών μπορεί να είναι αμελητέα, αρκεί η υδατική καταπόνηση να εφαρμοστεί σε συγκεκριμένα στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας, όπου δηλαδή η καλλιέργεια θα είναι λιγότερο ευαίσθητη στην έλλειψη του νερού (FAO, 2002). Κατά συνέπεια η συνολικά εφαρμοζόμενη άρδευση δεν είναι ανάλογη των απαιτήσεων της καλλιέργειας καθ' όλη τη διάρκεια του βιολογικού της κύκλου. Αν και αυτό οδηγεί αναπόφευκτα στην απώλεια της παραγωγής, η ελλειμματική άρδευση αυξάνει την αποδοτικότητα χρήσης του νερού, αυξάνοντας την απόδοση ανά μονάδα ύδατος που εφαρμόζεται και οδηγώντας έτσι σε μεγαλύτερα οικονομικά οφέλη (English, 1990).

Η ξηρασία και οι ακραίες θερμοκρασίες μπορεί να προκαλέσουν εκτεταμένες οικονομικές απώλειες στη γεωργία (Boyer, 1982; Peng et al., 2004), επιπτώσεις που ενδέχεται να επιδεινωθούν με την κλιματική αλλαγή (Stern, 2006; Keane et al., 2009). Το πρόβλημα επιδεινώνεται, καθώς η διαθεσιμότητα του γλυκού νερού και της γης για γεωργική χρήση, συνεχίζει να μειώνεται με ένα μη βιώσιμο ρυθμό (Perkins, 2002). Εκτιμάται ότι μέχρι το 2050, οι καλλιεργούμενες εκτάσεις θα μειωθούν από 8% έως 20% (UNEP GRID– Arendal, 2009). Συνεπώς, η παγκόσμια γεωργική παραγωγή θα έρθει αντιμέτωπη με τις προκλήσεις των δυσμενών περιβαλλοντικών συνθηκών, καθώς και με την έλλειψη του νερού, υποδηλώνοντας την ανάγκη ολοκληρωμένων προσεγγίσεων για τη διατήρηση και την ενίσχυση της παραγωγικότητας της γεωργίας στο μέλλον (Tester and Langridge, 2010).

Η καλλιέργεια του αραβοσίτου είναι πολύ παραγωγική υπό ιδανικές συνθήκες, ωστόσο, είναι πολύ ευαίσθητη στην ξηρασία και στις υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης είναι απαιτητική καλλιέργεια σε νερό για να επιφέρει τη μέγιστη απόδοση (Nagy, 2003), ενώ αναφέρονται

ακόμη και τριπλάσιες αποδόσεις με την εφαρμογή άρδευσης σε σχέση με μία ξηρική καλλιέργεια (Larson et al., 2001). Κάθε χρόνο, χάνεται παγκοσμίως 15% με 20% του δυναμικού της παραγωγής αραβοσίτου λόγω των αναφερόμενων προβλημάτων (Lobell et al., 2011). Οι απώλειες αυτές στην απόδοση εξαρτώνται από τη χρονική περίοδο που ξεκινάει η καταπόνηση (στάδιο ανάπτυξης των φυτών) και τη διάρκειά της. Έλλειψη νερού σε πρώιμα στάδια ανάπτυξης, μειώνει την αύξηση και την ανάπτυξη των φυτών (Heiniger, 2001). Ξηρασία που εμφανίζεται στα βλαστικά στάδια B8 με B17 έχει σημαντικές επιπτώσεις στην ανάπτυξη των φυτών, το μέγεθος των σπαδικών και το βάρος χιλίων σπόρων (Farré and Faci, 2006). Επίσης, αν η καταπόνηση επέλθει λίγο πριν ή λίγο μετά την άνθιση μπορεί να προκαλέσει σημαντικές μειώσεις στον αριθμό των σπόρων αλλά και στο βάρος τους (Westgate and Bassetti, 1990; Schussler and Westgate, 1991), με απώλειες στην απόδοση από 20% έως και 50% (Nielsen, 2007).

Στόχος της παρούσας μελέτης ήταν να διευκρινιστεί η επίδραση της διαφοροποίησης της άρδευσης στα μορφολογικά και φυσιολογικά χαρακτηριστικά της καλλιέργειας του αραβοσίτου.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Το πείραμα εγκαταστάθηκε σε πειραματικό αγρό στην Αμερικάνικη Γεωργική Σχολή την καλλιεργητική περίοδο 2019. Για τις ανάγκες του πειράματος καλλιεργήθηκε το υβρίδιο Dekalb 6777. Στις 02/04/2019 πραγματοποιήθηκε χάραξη του πειράματος και κατεργασία του εδάφους με δισκοσβάρνα και στη συνέχεια στις 04/04/2019 έγινε σπορά του αραβοσίτου με σπαρτική μηχανή τεσσάρων γραμμών, με πυκνότητα σποράς 8.000 φυτά/στρ, 75 cm γραμμή από γραμμή και 15,5 cm φυτό από φυτό. Το φύτευμα του αραβοσίτου ολοκληρώθηκε στις 17 Απριλίου 2019. Για την άρδευση των φυτών εγκαταστάθηκε δίκτυο άρδευσης με σταλάκτες, στην αρχή του οποίου εγκαταστάθηκε υδρόμετρο για την μέτρηση της ποσότητας του νερού των αρδεύσεων.

Το πειραματικό σχέδιο που χρησιμοποιήθηκε ήταν οι πλήρεις ομάδες σε ελεύθερη διάταξη (Randomized Complete Block Design) με 4 επαναλήψεις και 5 επεμβάσεις. Η ανάλυση των δεδομένων (ANOVA) έγινε με το στατιστικό πακέτο SPSS. Εξετάστηκαν πέντε επίπεδα άρδευσης, 40%, 70% και 100% της απαιτούμενης εξατμισοδιαπνοής, ελλειμματικής άρδευσης με ποσοστό μέγιστης εξατμισοδιαπνοής 45% και μερικής ύγρανσης του ριζοστρώματος με ποσοστό μέγιστης εξατμισοδιαπνοής 50%.

Για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας (ET_c) χρησιμοποιήθηκε ο τύπος $ET_c = K_c ET_o$. Η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (ET_o) υπολογίστηκε με τη βοήθεια του τύπου Penman-Monteith με βάση τα μετεωρολογικά δεδομένα. Με την μέθοδο υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής με τον τύπο Penman-Monteith, οι τιμές της ET_o προέκυπταν από τις μετεωρολογικές παραμέτρους (Allen et al., 1998).

$$ET_o = [0.408\Delta(R_n - G) + \gamma[900/(T + 273)]u^2(e_s - e_a)] / [\Delta + \gamma(1 + 0.34u^2)]$$

Όπου, ET_o είναι η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς [reference evapotranspiration (mm day^{-1})], R_n η καθαρή ακτινοβολία στην επιφάνεια καλλιέργειας [net radiation at the crop surface ($\text{MJ m}^{-2} \text{day}^{-1}$)], G η πυκνότητα ροής θερμότητας εδάφους [soil heat flux density ($\text{MJ m}^{-2} \text{day}^{-1}$)], T η μέση ημερήσια θερμοκρασία αέρα σε ύψος 2m [mean daily air temperature at 2 m height ($^{\circ}\text{C}$)], u^2 η ταχύτητα ανέμου σε ύψος 2m [wind speed at 2 m height (m s^{-1})], e_s η πίεση ατμών κορεσμού [saturation vapour pressure (kPa)], e_a η πραγματική πίεση ατμών [actual vapour pressure (kPa)], $e_s - e_a$ η έλλειψη πίεσης ατμών κορεσμού [saturation vapour pressure deficit (kPa)], Δ η κλίση της καμπύλης πίεσης ατμών [slope vapour pressure curve

(kPa °C⁻¹), γ η ψυχομετρική σταθερά [psychrometric constant (kPa °C⁻¹)]. Ο ρυθμός εξατμισοδιαπνοής (ET_c) που είναι το προϊόν της ET_o και του συντελεστή καλλιέργειας (K_c), υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας τις τιμές του συντελεστή K_c για τον αραβόσιτο, προσαρμοσμένες στα ελληνικά δεδομένα (K_{cini} = 0,50, K_{cmid} = 1,05, K_{cend} = 0,15) για τα στάδια ανάπτυξης 30/40/50 ημερών από το φύτρωμα των σπόρων (Parazafiriou, 1996; Georgiou κ.ά., 2010).

Οι μετρήσεις και οι δειγματοληψίες, των μορφολογικών και φυσιολογικών χαρακτηριστικών, πραγματοποιήθηκαν σε δύο στάδια ανάπτυξης των φυτών: στο στάδιο άνθισης και 20 ημέρες μετά. Κατά τους μήνες Ιούνιο - Αύγουστο πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις για τα μορφολογικά και φυσιολογικά χαρακτηριστικά. Επιλέχθηκαν φυσιολογικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά που σχετίζονται άμεσα με τους μηχανισμούς αντίδρασης των φυτών στη μεταβολή της διαθεσιμότητας του νερού σε επίπεδο κυττάρων, ιστών αλλά και ολόκληρου του φυτού. Πιο αναλυτικά οι μετρήσεις αυτές είναι:

Μορφολογικά χαρακτηριστικά:

1. **Ύψος φυτών στο στάδιο της άνθισης:** χρησιμοποιήθηκε μετροταινία σε φυτά που βρίσκονταν στην κεντρική γραμμή κάθε plot.
2. **Δείκτης φυλλικής επιφάνειας:** χρησιμοποιήθηκε ο γραμμικός αισθητήρας «AccuPAR LP-80» μέτρησης της φωτοσυνθετικά ενεργής ακτινοβολίας (40 -700nm-PAR). Οι τιμές του LAI εξέφραζαν το συνολικό άθροισμα της επιφάνειας της μιας πλευράς των φύλλων της φυτικής κόμης ανά μονάδα επιφάνειας εδάφους (m² φυλλικής επιφάνειας/ m² επιφάνειας εδάφους) (Watson, 1947).

Φυσιολογικά χαρακτηριστικά:

1. **Συγκέντρωση ολικής χλωροφύλλης:** με την χρήση του φορητού οργάνου SPAD-502 (Minolta Co Ltd, Osaka, Japan) (Konica-Minolta, 1989). Το όργανο προσδιορίζει την ποσότητα της παρούσης χλωροφύλλης, με βάση την απορρόφηση στα δύο μήκη κύματος του φωτός (650 και 940 nm) που διέρχονται από τα άθικτα φύλλα του φυτού.
2. **Φωτοσυνθετική αποτελεσματικότητα (Φθορισμός χλωροφύλλης):** Ο προσδιορισμός της φωτοσυνθετικής αποτελεσματικότητας στηρίχτηκε στην θεωρία του φθορισμού της χλωροφύλλης (Lintilhac and Park, 1966). Για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε το φθορισμόμετρο «Fluorpen FP100» και υπολογίστηκε η κβαντική απόδοση στο PSII (PSII quantum yield - QY = Fv/Fm) [(PSI, Photon Systems Instruments, Drásov, Czech Republic)].

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στα μορφολογικά αποτελέσματα το ύψος των φυτών επηρεάστηκε από το επίπεδο άρδευσης και από το στάδιο ανάπτυξης των φυτών. Δεν εμφανίστηκε στατιστικά σημαντικές διαφορές στην αλληλεπίδραση των δύο παραγόντων. Παρατηρείται ότι το χαμηλότερο ύψος εμφανίστηκε στις επεμβάσεις ET₄₀ και ET₇₀ με μέσο όρο 2,21 m, ενώ παρατηρείται μία μικρή αύξηση 4-5% στην επέμβαση της «ελλειμματικής άρδευσης» και της επέμβασης «μερικής ύγρανσης του ριζοστρώματος». Τα υψηλότερα φυτά εμφανίζονται στην επέμβαση ET₁₀₀ με μέσο όρο 2,39 m (Πίνακας 1). Σε παρόμοια αποτελέσματα κατέληξαν και άλλοι ερευνητές (Karasu et al. 2015; Zulfiqar et al. 2017), δείχνοντας πόσο σπουδαίο ρόλο παίζει η άρδευση στην καλλιέργεια του αραβόσιτου.

Στο Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας (LAI) των φυτών βρέθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές στα διαφορετικά επίπεδα άρδευσης και στο στάδιο ανάπτυξης των φυτών, ενώ δεν εμφανίζονται στατιστικά σημαντικές διαφορές στην αλληλεπίδρασή τους. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζεται ότι η υψηλότερη τιμή του δείκτη LAI εμφανίζεται στην επέμβαση ET₁₀₀ ενώ η χαμηλότερη εμφανίζεται στις επεμβάσεις της «ελλειμματικής άρδευσης» και της «μερικής

ύγρυνσης του ριζοστρώματος». Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με προηγούμενα πειράματα όπου βρέθηκε ότι στην πλήρη άρδευση και στην ήπια υδατική καταπόνηση ET₇₀ ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας είναι υψηλότερος, σε σχέση με έντονη υδατική καταπόνηση ET₄₀, ελλειμματική άρδευση και μερικής ύγρυνσης του ριζοστρώματος (Zhang et al., 2012). Σύμφωνα με τους Zhang et al. (2021) η ελλειμματική άρδευση επηρεάζει σημαντικά την βλαστική ανάπτυξη των φύλλων, το ύψος, τον δείκτη LAI, την ξηρή ύλη, με αποτέλεσμα τελικά να επηρεάζεται η απόδοση της καλλιέργειας.

Πίνακας 1. Μέσοι όροι για τα μορφολογικά χαρακτηριστικά ύψος και δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI) για την καλλιεργητική περίοδο 2019.

Επεμβάσεις	Ύψος (m)	Δείκτης Φυλλικής Επιφάνειας (LAI)
40% της εξατμισοδιαπνοής	2,21	2,72
70% της εξατμισοδιαπνοής	2,22	2,81
100% της εξατμισοδιαπνοής	2,39	3,26
Ελλειμματικής άρδευσης	2,30	2,58
Μερικής ύγρυνσης του ριζοστρώματος	2,34	2,57
ΕΣΔ*	0,13	0,20

* Σύγκριση των μέσων όρων με το κριτήριο της ελάχιστης σημαντικής διαφοράς (ΕΣΔ) σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,05$.

Στα φυσιολογικά αποτελέσματα η περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη (SPAD) εμφάνισε στατιστικά σημαντικές διαφορές στα διαφορετικά επίπεδα άρδευσης και στο στάδιο ανάπτυξης των φυτών, ενώ δεν εμφανίζονται στατιστικά σημαντικές διαφορές στην αλληλεπίδρασή τους. Οι χαμηλότερες τιμές SPAD εμφανίστηκαν στις επεμβάσεις «Μερικής ύγρυνσης του ριζοστρώματος», «Ελλειμματικής άρδευσης» και ET₄₀ με μέσους όρους 52,06, 53,27 και 53,38, αντίστοιχα (Πίνακας 2). Αντίθετα, παρατηρείται αύξηση κατά 13% στην επέμβαση ET₁₀₀ και μεγαλύτερη αύξηση στην επέμβαση ET₇₀ κατά 18%. Σε παρόμοια αποτελέσματα κατέληξαν και άλλοι ερευνητές (Qi et al., 2020; Halli et al., 2021). Σύμφωνα με τους Teixeira et al., (2014) η ελλειμματική άρδευση και συνεπώς η ξηρασία του εδάφους έχει αποδειχθεί ότι μειώνει την περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη, με αποτέλεσμα να μειώνονται τα φωτοσυνθετικά χαρακτηριστικά.

Η φωτοσυνθετική αποτελεσματικότητα των φύλλων επηρεάστηκε από το επίπεδο άρδευσης και από το στάδιο ανάπτυξης των φυτών. Δεν εμφανίστηκε στατιστικά σημαντικές διαφορές στην αλληλεπίδραση των δύο παραγόντων. Στον Πίνακα 1 εμφανίζεται ότι η φωτοσυνθετική αποτελεσματικότητα των φύλλων εμφάνισε χαμηλότερες τιμές στην επέμβαση της «ελλειμματικής άρδευσης», ενώ παρατηρείται μικρή αύξηση στις επεμβάσεις της «μερικής ύγρυνσης του ριζοστρώματος», ET₄₀ και ET₁₀₀ περίπου κατά 4-5%. Μεγαλύτερη αύξηση της φωτοσυνθετικής αποτελεσματικότητας των φύλλων παρατηρείται στην επέμβαση ET₇₀ κατά 12%. Σε παρόμοια αποτελέσματα κατέληξαν και άλλοι ερευνητές (Wang et al., 2019), αναφέροντας ότι με σωστή άρδευση μπορεί να βελτιωθεί η φωτοσυνθετική αποτελεσματικότητα των φύλλων.

Πίνακας 2. Μέσοι όροι για τα φυσιολογικά χαρακτηριστικά περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη (SPAD) και φωτοσυνθετική αποτελεσματικότητα.

Επεμβάσεις	Χλωροφύλλη	Φωτοσυνθετική αποτελεσματικότητα
40% της εξατμισοδιαπνοής	53,38	0,77
70% της εξατμισοδιαπνοής	61,61	0,83
100% της εξατμισοδιαπνοής	59,17	0,78
Ελλειμματικής άρδευσης	53,27	0,74
Μερικής ύγρανσης του ριζοστρώματος	52,06	0,75
ΕΣΔ*	3,03	0,07

* Σύγκριση των μέσων όρων με το κριτήριο της ελάχιστης σημαντικής διαφοράς (ΕΣΔ) σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,05$.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας διαπιστώθηκε ότι στην επέμβαση ΕΤ₇₀ υπάρχει μία μικρή μείωση στα μορφολογικά χαρακτηριστικά που μελετήθηκαν, στο ύψος και στο δείκτη φυλλικής επιφάνειας, σε σχέση με την επέμβαση ΕΤ₁₀₀. Αντίθετα, στα φυσιολογικά χαρακτηριστικά παρατηρείται αύξηση. Συνεπώς, η ήπια υδατική καταπόνηση ΕΤ₇₀ δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα από όλες τις επεμβάσεις, στα χαρακτηριστικά που αξιολογήθηκαν, διατηρώντας τις αποδόσεις της καλλιέργειας. Συνεπώς, είναι σημαντικό να γίνεται ορθολογική χρήση του νερού, προστασία των υπόγειων υδάτων, να επιλέγονται τα κατάλληλα υβρίδια, συμβάλλοντας σε μείωση των επιπτώσεων στην παγκόσμια αλλαγή του κλίματος και διατηρώντας την παραγωγικότητα της καλλιέργειας.

Ευχαριστίες: Η εργασία υλοποιήθηκε στο πλαίσιο της Δράσης ΕΡΕΥΝΩ – ΔΗΜΙΟΥΡΓΩ - ΚΑΙΝΟΤΟΜΩ και συγχρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση και εθνικούς πόρους μέσω του Ε.Π. Ανταγωνιστικότητα, Επιχειρηματικότητα & Καινοτομία (ΕΠΑΝΕΚ) (κωδικός έργου:Τ1ΕΔΚ-03987), Biocircular, Βιοπαραγωγικό σύστημα κυκλικής γεωργίας ακριβείας.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56.
- Boyer, J. S. 1982. *Plant Productivity and Environment*. Science, 218, 443-448.
- English, M. 1990. *Deficit irrigation. I. Analytical framework*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, 116:399- 412.

- FAO, 2002. *Deficit Irrigation Practices*. Water Reports No. 22.
- Farré, I. and Faci, J., 2006. *Comparative response of maize (Zea mays L.) and sorghum (Sorghum bicolor L. Moench) to deficit irrigation in a Mediterranean environment*. Agricultural Water Management 83, 135-143.
- Georgiou, P., Antonopoulos, V., Lekakis, E. 2010. *Soil water balance and distribution in a field of maize under partial root-zone drying drip irrigation*. In: T. Albanis et al., editors, E-Proceedings of the International Conference PRE10 Protection and Restoration of the Environment X, Corfu, Greece. 5–9 July 2010. Univ. of Ioannina (UOI) and Stevens Inst. of Technol. (SIT), Greece. p. 8.
- Halli, H., Angadi, S., Kumar, A., Govindasamy, P., Madar, R., Baskar, V., Elansary, H., Tamam, N., Abdelbacki, A., Abdelmohsen, S., 2021. *Assessment of planting Method and deficit irrigation impacts on physiomorphology, grain yield and water use efficiency of maize (Zea mays L.) on Vertisols of Semi-Arid Tropics*. Plants, 10, 1094.
- Heiniger, R.W., 2001. *The impact of early drought on corn yield*. Raleigh, NC: North Carolina State University.
- Kang, S. and Zhang, J., 2004. *Controlled alternate partial root-zone irrigation: its physiological consequences and impact on water use efficiency*, Journal of Experimental Botany, 55, 2437–2446.
- Karasu, A., Kuscu, H., ÖZ, M., 2015. *Yield and economic return response of silage maize to different levels of irrigation water in a sub-humid zone*. Zemdirbyste -Agriculture, 102, 313–318.
- Keane, R., Hessburg, P., Landres, P., Swanson, F., 2009. *A review of the use of historical range and variation (HRV) in landscape management*. Forest Ecology and Management, 258, 1025–1037.
- Konica-Minolta. (1989). *Chlorophyll Meter SPAD-502 Instruction Manual*. Konica Minolta Sensing, Inc.
- Larson, K., Thompson, D., Harn, D., 2001. *Limited and full irrigation comparison for corn and grain Sorghum*. Colorado State University.
- Lintilhac, P. and Park, R., 1966. *Localization of chlorophyll in spinach chloroplast lamellae by fluorescence microscopy*. The Journal of cell biology, 28, 582–585.
- Liu, F., Shahnazari, A., Andersen, M. N., Jacobsen, S. E., Jensen, C. R., 2006. *Physiological responses of potato (Solanum tuberosum L.) to partial root-zone drying: ABA signaling, leaf gas exchange, and water use efficiency*. Journal of Experimental Botany, 57, 3727–3735.
- Lobell, D.B., Bänziger, M., Magorokosho, C., Vivek., B., 2011. *Nonlinear heat effects on African maize as evidenced by historical yield trials*. Nature Climate Change, 1, 42-45.
- Nagy, J., 2003. *Effect of irrigation on maize yield (Zea mays L.)*. Debreceni Egyetem. Agrartudományi Közlemények.
- Nielsen, R.L., 2007. *Assessing effects of drought on corn grain yield*. West Lafayette, IN: Purdue University.
- Papazafiriou, Z.G. 1996. *Crop evapotranspiration: Regional studies in Greece*. In: N.R. Dalezios, editor, Proceedings of International Symposium of Applied Agrometeorology Agroclimatology, Volos, Greece. 24–26 Apr. 1996. Office for Official Publication of the European Commission, Luxembourg. p. 275–286.
- Peng, S., Huang, J., Sheehy, J. E., Laza, R. C., Visperas, R. M., Zhong, X., Centeno G. S., Khush G. S., Cassman, K. G., 2004. *Rice yields decline with higher night temperature from global warming*. Proceedings of the National Academy of Sciences, 101, 9971–9975.

- Perkins, S., 2002. *Crisis on tap pollution and burgeoning populations stress earth's water resources*. Science News, 162,33-48.
- Qi, D., Hu, T., Song, X., 2020. *Effects of nitrogen application rates and irrigation regimes on grain yield and water use efficiency of maize under alternate partial root-zone irrigation*. Journal of Integrative Agriculture, 19, 2792–2806.
- Schussler, J.R. and Westgate, M., 1991. *Maize kernel set at low water potential: II. Sensitivity to reduced assimilate supply at pollination*. Crop Science, 31, 1196- 1203.
- Sinclair, T. R., Tanner, C. B., Bennett, J. M., 1984. *Water-use efficiency in crop production*. BioScience, 34, 36–40.
- Steduto, P., Hsiao, T.C., Fereres, E., 2007. *On the conservative behavior of biomass water productivity*. Irrigation Science, 25, 189–207.
- Stern, N. 2006. *Stern review on the economics of climate change*. HM Treasury, UK.
- Tester, M. and Langridge, P., 2010. *Breeding technologies to increase crop production in a changing world*. Science, 327, 818-822.
- UNEP GRID-Arendal (United Nations Environment Programme Global Resource Information Database- Arendal). 2009. From supply to food security.
- Wang, F., Wang, Z., Zhang, Z., Wenhao, L., 2019. *Combined effect of different amounts of irrigation and mulch films on physiological indexes and yield of drip-irrigated maize (Zea mays L.)*. Water, 11, 472.
- Watson, D., 1947. *Comparative physiological studies on the growth of field crops: I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years*. Annals of Botany, 11, 41–76.
- Westgate, E. and Bassetti, M., 1990. *Heat and drought stress in corn: What really happens to the corn plant at pollination*, In proceedings of 45th annual corn and sorghum research conference, Chicago, Illinois, December 5-6, 1990, ed. D. Wilkinson, 12-28. Washington DC: ASTA Publications.
- Zhang G., Ming B., Shen D., Xie R., Hou P., Xue J., Wang K., Li S., 2021. *Optimizing grain yield and water use efficiency based on the relationship between leaf area index and evapotranspiration*. Agriculture. 11, 313.
- Zhang J., Cheng Z., Zhang R., 2012. *Regulated deficit drip irrigation influences on seed maize growth and yield under film*. Procedia Engineering, 28, 464 – 468.
- Zulfiqar, U., Ishfaq, M., Yasin, M., Nauman, A., Ahmad, M., Ullah, A., Hameed, W., 2017. *Performance of maize yield and quality under different irrigation regimes and nitrogen levels*. Journal of Global Innovations in Agricultural and Social Sciences, 5, 159-164.

EVALUATION OF A DECISION SUPPORT SYSTEM FOR IRRIGATION MANAGEMENT FOR THE CASE OF A VERTZAMI WINE GRAPE ORCHARD IN NORTHWEST GREECE

A.G. Apostolopoulou¹, M. Giannelos¹, P. Baltzoi¹, N. Malamos², I.L. Tsirogiannis^{1a}

¹University of Ioannina, Dept. of Agriculture, Kostakii Campus, 47100 Arta, Greece

²University of Patras, Dept. of Agriculture, Theodoropoulou Terma, 27200 Amaliada, Greece
email: itsirog@uoi.gr

Abstract

In Greece irrigation is the major water user. In this framework the development of operational tools that support decisions and provide recommendations aiming to improved irrigation management is of great importance. In this study a web-based participatory system for irrigation management (the system hereafter) that operates from 2015 at the plain of Arta (NW Greece) is evaluated for the case of grapes. Water usage and soil moisture were monitored in a wine grape orchard of *Vitis vinifera* 'Vertzami', during the irrigation period of 2021. At the same time the system generated recommendations for irrigation applications, based on the outcomes of a water balance model that followed the principles of FAO's paper 56. The model considered: (a) measurements of weather parameters from agro-meteorological stations in the area; (b) soil, crop and irrigation system parameters; (c) time and volume of the actual irrigation applications and (d) weather data forecasting. The soil moisture time series that were generated by the system's model were compared to those measured by the soil moisture sensors. The average difference between the model prediction of and the average measurements of volumetric soil moisture (% m^3/m^3) at the end of each day was found to be 2.74 % m^3/m^3 (standard error 0.17). It was also found that following the system's recommendations, could lead to fewer irrigation applications and less water usage per year compared to the applied practice.

Keywords: water requirements, micro-irrigation, adjustable flow dripper, efficient irrigation

1. INTRODUCTION

As water management is of crucial importance for grape (*Vitis vinifera*) cultivation, several DSS' for irrigation management, have been applied in grape orchards during the last decade (Knowling, 2021).

According to the Greek legislation (GMA, 1989), the limits for irrigation water usage for grapes in northwest Greece, range between 4370 and 5340 m³ ha⁻¹ for an irrigation period spanning from April 15th to September 15th, and application of water via a micro-irrigation system.

'Vertzami' is a red wine grape variety. The vines are goblet-pruned or asymmetric Guyot pruning and become fully ripped at mid – September. It is generally a disease-resistant variety (Tsetouras, 2009). It's a productive variety with 2 to 3 bunch of grapes per shoot and can be cultivated even in poor, stony or dry soils (Stavrakas, 1998). Regarding its morphological characteristics, it has a medium to large thick leaf with three or/and five lobes which is slick dark green at the top surface and hairy light green at the bottom surface. Its flowers are hermaphroditic and its berries are dark red spherical rich to tannins and colouring materials (Stavrakas, 1998). The total area of Vertzami wine grape in Greece is 175.60 ha, of which 164.82 is found at the Ionian Islands (mainly at Lefkas) and 10.14 is found at the regions of Western Greece and Epirus (OPEKEPE, 2021). 'Vertzami' variety typically yields up to 6 - 7 tn ha⁻¹ but it can reach to 15 tn ha⁻¹ (Stavrakas, 1998)

The present study concerns the evaluation of a generic web-based participatory decision support system for irrigation management when used for the case of 'Vertzami' wine grape orchards in northwest Greece.

2. MATERIALS AND METHODS

The evaluation was carried out for the irrigation period of 2021 (from 24/4 up to 8/9), in a grape orchard, *Vitis vinifera* 'Vertzami', located at the plain of Arta (39.18584° N, 20.97479° E (WGS84), altitude 45 m). The climate of the field can be considered as representative of the areas where 'Vertzami' is cultivated in Greece (HNMS, 2021). The evaluation area was 0.08 ha, and the soil was of clay loam type. The grapevines were 6 years old, arranged in 13 rows of 16 plants each (208 plants in total) and trained to a trellis system of 1.20 m height. Irrigation was performed using one adjustable (0-70 Lh⁻¹) flow dripper of per plant. An irrigation system audit showed that the average flow per dripper was 12.5 Lh⁻¹ (standard error 3.5 L h⁻¹). The water at the field was provided by the Local Organisation of Land Reclamation Grammenitsa-Vlaherna and its pH was equal to 8.4 while its EC was equal to 0.44 dS m⁻¹.

Irrigation recommendations for the orchard were generated using a web-based decision support system for irrigation management (<https://arta.irmasys.eu/>, the system hereafter) that covers 46432.5 ha at the plain of Arta and operated in the area from 2015. The term participatory derives from the system's layered concept in the framework of which a team of end-users, agronomists, and irrigation experts contribute to a bi-directional flow of information to continuously improve the operation of the system. The system provides real-time forecasts for soil moisture and generates recommendations for future irrigation applications, based on the outcomes of a water balance model that follows the principles of FAO's paper 56 (Allen et al., 1998). The model takes also into account the potential usage of soil moisture beyond field capacity. The model considers: (a) measurements of weather parameters from agro-meteorological stations in the area; (b) soil, crop and irrigation system parameters; (c) time and volume of the actual irrigation applications and (d) weather data

forecasting (Malamos et al., 2016). The system has been registered as Good Practice 2021 in Europe and Central Asia from ITU and FAO (2021).

For the specific orchard, the grower used the generic field parameters that were proposed by the system as a basis and changed only parameters that could be estimated by him (wetted area, root depth, length of crop periods, irrigation system efficiency). The following parameters were used following an interview with the grower: wetted area: 0.025 ha; soil moisture at saturation (S): 45% (v/v); field capacity (FC): 38% (v/v); permanent wilting point (PWP): 8% (v/v) (values proposed by the system for clay loam soil, according to Twarakavi et al., 2009); root depth: 0.60 m; maximum allowable depletion of the available soil moisture (MAD) which sets the lower level of the readily available water (RAW): 45% of total available water (TAW=FC-PWP) (value proposed by the system for wine grape according to Allen et al., 1998); “planting” date: 20/4, length of growth stages (initial, crop-development, mid-season, late-season) starting from April 20th: 30, 60, 40, and 10 days respectively; Kc for the growth stages (Kc_{ini}, Kc_{mid}, Kc_{end}): 0.30, 0.70 and 0.45 (values f proposed by the system or wine grape according to Allen et al., 1998); irrigation system efficiency: 0.75; effective rain coefficient: 0.80; refill factor (RF) = 1. Irrigation is recommended by the system when soil moisture is estimated to have reached the lower level of the readily available soil water. The refill factor sets the level of recharging soil moisture after an irrigation, RF=1 means that the goal of each irrigation recommendation is to refill soil moisture up to the field capacity.

The grower had access to the system and received recommendations, but he was allowed to follow his own decisions regarding irrigation applications. All the actual irrigation applications that have been performed were manually registered to the system.

For monitoring soil moisture, three dielectric capacitance sensors (type 10HS, METER Group, Inc. USA) were placed 0.10 m away from drippers, at a depth of 0.20 m. The generic equation provided by the manufacturer for calculating volumetric water content in mineral soils was used (accuracy $\pm 0.03 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). Soil moisture was considered uniform through the whole soil depth under consideration. Water usage by the irrigation system was measured using one 25mm volumetric dry dial water meter (accuracy 1 L, type DS-TRP, Madalena S.P.A., Italy). MS-Excel was used for the analysis of the data.

3. RESULTS AND DISCUSSION

For the evaluation of the system: a) the system’s model was run using the actual irrigation applications that were performed by the grower during the irrigation period and then the derived by the model soil moisture time series was compared against the one that was logged using soil moisture sensors that were installed at the field and b) the actually performed by the grower number of irrigation applications and the respective water depth (mm) were compared against the relevant values that were proposed by the system.

Figure 1 presents the water balance parameters (effective rainfall, irrigation applications, soil moisture levels (FC, RAW and PWP), the variation of the monitored soil moisture (soil moisture at the end of each day) and the variation of soil moisture as calculated by the system’s model (soil moisture at the end of each day) during the irrigation period of 2021. The grower applied 8 irrigations, 3 of which could be considered as couples, while during the first two weeks of August a continuous operation of the irrigation system occurred due to a damaged control valve.

For the period between April 20th and September 7th, the total efficient precipitation was 33.01 mm, while the grower applied 448.05 mm of water (112.01 m³). On September 7th 0.7 tn of grapes were harvested.

The average difference between the model prediction of and the average measurements of volumetric soil moisture at the end of each day was found to be 2.74% m³ m⁻³ (standard error 0.17).

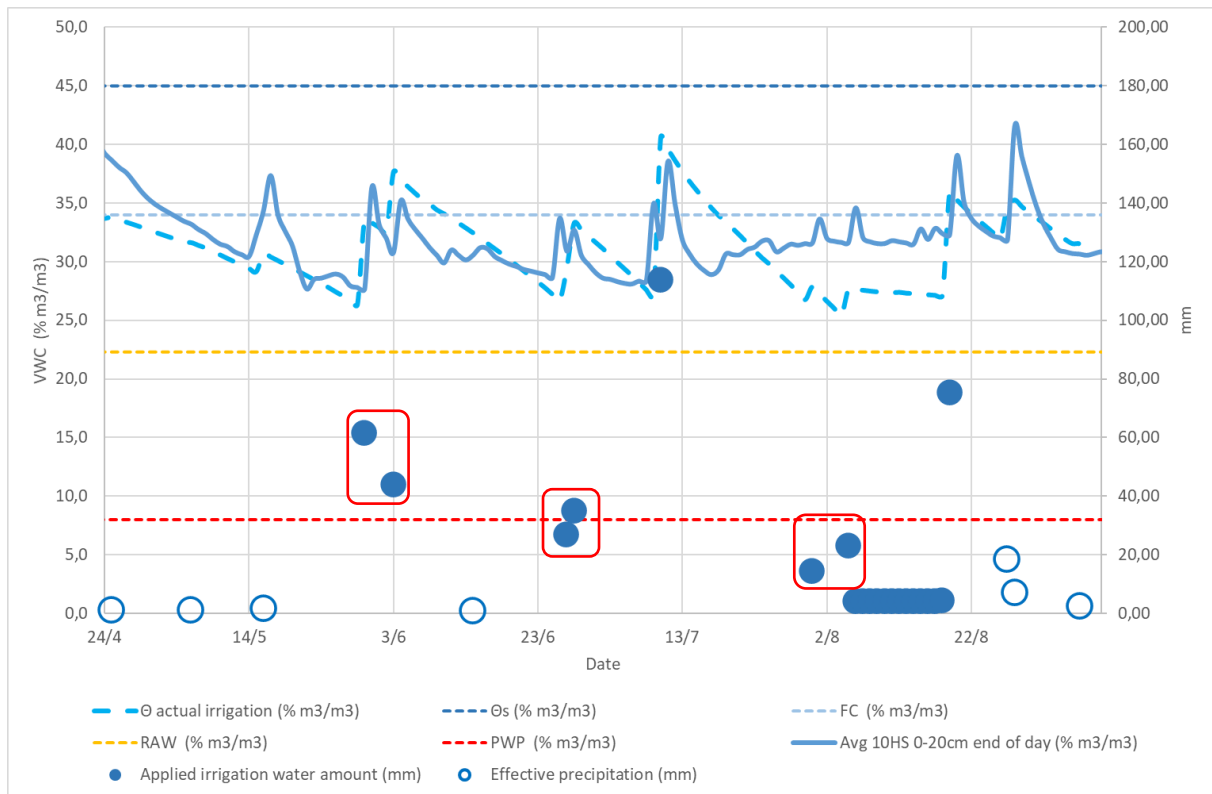


Figure 7. Monitored soil moisture and soil moisture generated by the system's model, based on actual irrigation applications and effective rain

For the period between April 20th and September 7th, the system recommended four irrigation applications (**Figure 8**) that sum 383.19 mm (95.80 m³) of water. Thus, the grower applied 17% more water comparing to the system's recommendations. In every case both quantities are far less than the relevant limits for irrigation water usage in the area (GMA, 1989). Regarding the number of irrigation events, if we consider six of the irrigations that the grower applied as three couples (29/5 and 2/6, 26/6 and 27/6, 30/7 and 4/8 (**Figure 8**)), then he applied one more irrigation comparing to the recommendations of the DSS. It is very easy for the user of the DSS to change the frequency of the recommended irrigation events by adjusting the value of the maximum allowable depletion of the available soil moisture (MAD). The recommendations can also be adjusted for deficit irrigation via the value of the refill factor (RF).

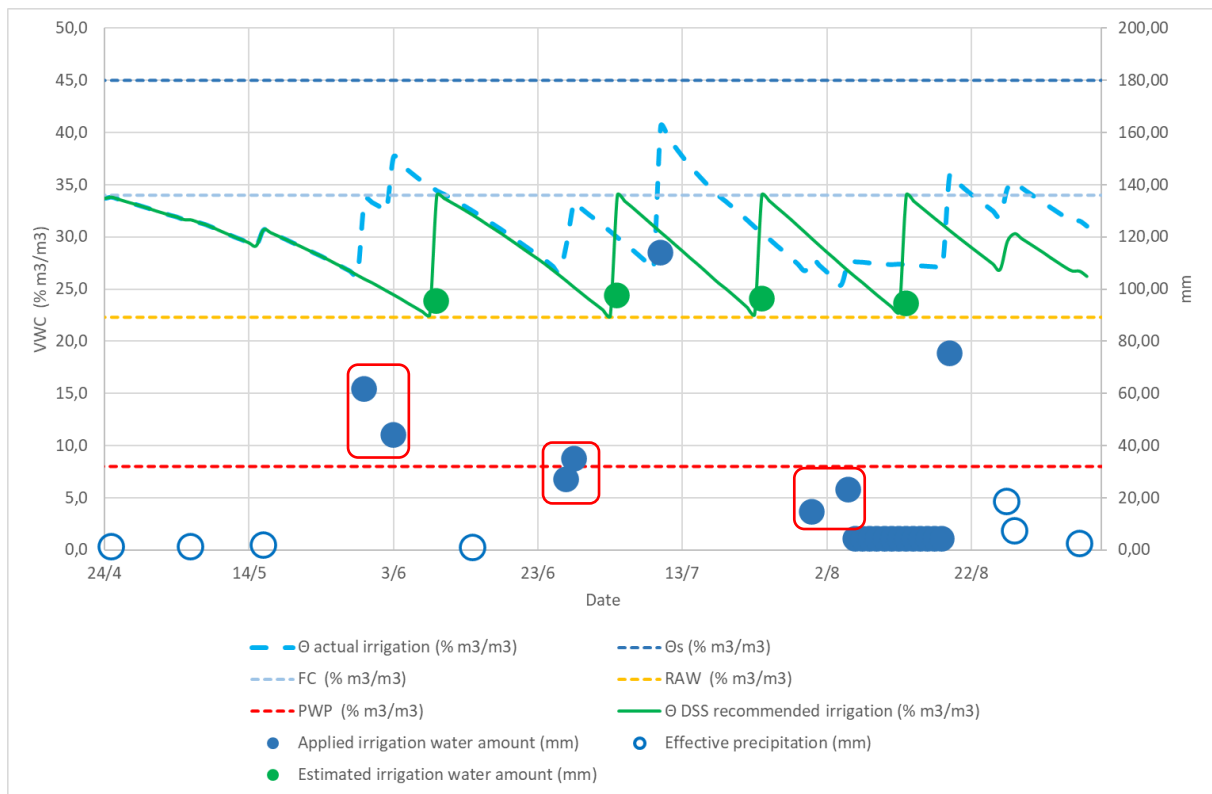


Figure 8. Effective rain, actual irrigation applications and recommended irrigation applications along with soil moisture generated by the system's model

4. CONCLUSIONS

The system under evaluation is a computer/mobile device based, open and free decision support system that provides soil moisture estimations and irrigation recommendations based on the outcomes of a water balance model that followed the principles of FAO's paper 56.

The grower used the generic field parameters that were proposed by the system as a basis and changed only parameters that could be estimated by him (wetted area, root depth, length of crop periods, irrigation system efficiency).

The results of the evaluation for the grape orchard of 'Vertzami', are very promising regarding the ability of the system's model to estimate the soil moisture at the field. The evaluation will be continued during the next irrigation year, by comparing irrigation management according to grower's experience against application of the recommendations of the system.

LITERATURE CITED

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith, M., 1998. Crop Evapotranspiration - Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. FAO, Rome, Italy. Retrieved 4/2019 from <http://www.fao.org/docrep/x0490e/x0490e00.htm>
- GMA - Greek Ministry of Agriculture, 1989. Determination of minimum and maximum limits of the necessary quantities for the sustainable use of water for irrigation. Govern. Gazette (GG) B' 42 2/6/1989 Ministerial Decision Φ.16/6631 (in Greek)
- HNMS – Hellenic National Meteorological Service, 2021. Climatological data for Greece. (available at: <http://www.hnms.gr/emv/el/climatology/climatology>)

- ITU and FAO, 2021 Digital Excellence in Agriculture in Europe and Central Asia, Good practices in the field of digital agriculture - Stocktaking Report (available at: https://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Presence/Europe/Documents/Events/2021/ITU-FAO%20Launching%20event/ITU-FAO_StocktakingReport_DigitalExcellenceinAgriculture_EuropeandCentralAsia_CallforGoodPractices_05July.pdf)
- Knowling M. J., Bennett B., Ostendorf B., Westra S., Walker R.R., Pellegrino A., Edwards E.J., Collins C., Pagay V., Grigg D., 2021 Bridging the gap between data and decisions: A review of process-based models for viticulture, *Agricultural Systems*, 193, 103209, <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103209>
- Malamos, N., Tsirogiannis, I.L., and Christofides, A., 2016. Modelling irrigation management services: the IRMA_SYS case. *Int. J. Sust. Agr. Man. Inf.* 2(1), 1–18. <https://doi.org/10.1504/IJSAMI.2016.077264>
- OPEKEPE - Greek Payment Authority of Common Agricultural Policy, 2021. Provision of data regarding Vertzami viticulture in Greece (available at: http://aggregate.opekepe.gr/?triggerSelect=fytiko_poikilia&queryType=fytiko&year=2020&perifereia=&fytko_eidos=362&fytko_poikilia=4786)
- Stavrakas D., 2015. Grape varieties. Aristotle University of Thessaloniki (ISBN 9789604562411, in Greek)
- Tsetouras L.P., 2009. The grape cultivation technique. Stamoulis publishing (ISBN 9789603517856, in Greek)
- Twarakavi, N.K.C., Sakai, M., and Šimůnek, J., 2009. An objective analysis of the dynamic nature of field capacity. *Water Resources Research*, 45 (10) (available at: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2009WR007944/full>)

ESTIMATION OF IRRIGATION WATER NEEDS FOR THE RESTORATION OF THE NORTH EVIA OLIVE GROOVES AFTER THE AUGUST 2021 FOREST FIRE: THE CASE OF AGIA ANNA

Nikolaos Malamos

Department of Agriculture, University of Patras

email: nmalamos@upatras.gr

Abstract

Olive oil as a characteristic agricultural product of Greece plays a key role to the prosperity of the region of North Evia. The village of Agia Anna, located at the northeastern part of the island of Evia, is a typical paradigm of such rural economy, but on the 5th of August 2021, a forest fire destroyed almost entirely the village's olive grove. The necessity of the olive groove's restoration is of great importance, but such a task is difficult to implement without providing enough water to allow a considerable increase of the tree numbers per hectare, through a centralized irrigation system. This study is a first attempt to estimate the irrigation water needs of olive trees based on the water budget approach, by implementing all available data in the CROPWAT software. Three different scenarios of Kc variation were examined, and the most suitable, based on the water availability during the critical development periods for olive trees, was the one proposed by Pastor and Orgaz (1994), leading to 309 mm of irrigation water applied in three irrigations of 103 mm each in average.

Keywords: Irrigation water needs, Olive trees, Water budget, CROPWAT, North Evia

1. INTRODUCTION

The olive oil, as an agricultural product, characterizes the entire region of the Island of Evia. Especially, in the northern part the farmers depend on the olive oil production to support their families and prosper.

The village of Agia Anna, is a typical paradigm of such rural economy, but on the 5th of August 2021, a forest fire destroyed almost entirely the village's olive grove. The necessity of the olive grove's restoration is of great importance not only for the locals but for the economy at regional scale. This task is difficult to implement without providing enough water to allow a considerable increase of the tree numbers per hectare, through a centralized irrigation system. The first step towards a successful design and construction of such an irrigation system is the estimation of the water needs.

This study aims to collect and arrange all the available data in order to provide an estimate of the irrigation water needs for replacing the burned down trees and grow new ones, using a well-established software tool such as CROPWAT. With the assistance of this tool, different scenarios of crop coefficients will be analyzed and validated against literature.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Study area

Agia Anna (Figure 1) is located at the northeastern part of the island of Evia, Region of Central Greece, and has a total area of about 2700 ha and average altitude of 243 m. The climate is of Mediterranean type, characterized by hot summers and rainy moderate winters. The mean annual precipitation is about 560 mm, concentrated mainly during winter months (Mamara et al., 2017, 2016), rendering irrigation a necessity during summer. The climatic data for the study area are given in **Table 4**.

The prevailing crops around Agia Anna consist of olive trees, vineyards, arable crops, vegetables along with forestry and apiculture. Olive is one of the most important crops in terms of surface area, with about 610 ha of cultivated land, none of which is systematically irrigated.

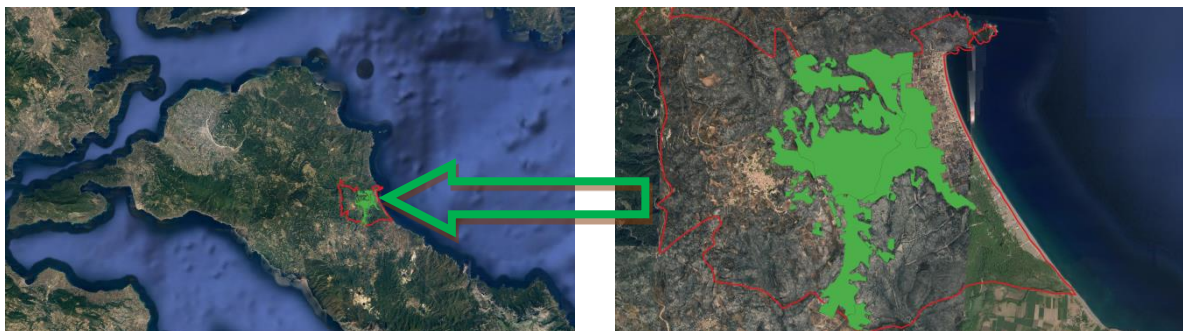


Figure 9 Map of North Evia island and the olive groves of Agia Anna

Most of the olive trees were planted more than 100 years ago, while the olive grove itself was established when the area was under Ottoman rule. The average planting density is low, about 120 trees per ha, due to the fact that they are exclusively rainfed.

Table 4. Climate data for the study area (Mamara et al., 2017, 2016)

Month	Rainfall (mm)	Minimum Temperature (°C)	Maximum Temperature (°C)	Sunshine duration (h/m)
January	76	3.4	11.1	119
February	69	3.7	11.7	125
March	69	5.0	13.8	176
April	38	8.0	18.3	230
May	30	12.1	23.3	286
June	14	16.6	28.2	348
July	12	18.6	30.7	346
August	20	18.4	30.7	328
September	15	15.5	27.5	269
October	59	12.1	22.0	191
November	75	7.9	16.8	135
December	84	4.9	12.9	104

2.2 Methodology

The first step towards the successful design and construction of an irrigation system is the estimation of the water needs. In this context, various scenarios were examined, by implementing the available data for olives trees, i.e., the various crop coefficient (Kc) approaches found in the literature along with the necessary meteorological data and soil data to the CROPWAT software (Smith, 1992) to acquire the crop water budget during the growing period. The goal was to select the one that satisfies the local cultivation practices but also corresponds to the information provided from the relevant literature.

The necessary soil hydraulic parameters were retrieved from the 3D soil hydraulic database of Europe at 250 m resolution (Tóth et al., 2017). The acquired values for field capacity and permanent wilting point were 33% and 16% respectively, while the rooting depth was set to 1.2 m based on personal data and information from local farmers.

In the first case scenario, the water needs of fully grown olive trees (60% coverage or 200-250 trees per hectare) are estimated using the FAO56 Kc values (Allen et al., 1998), in the second case the water needs of fully grown olive trees are estimated using, the adjusted for Greece, Kc values presented by Papazafeiriou, 1999, while in the third case the water needs of fully grown olive trees are estimated using the Kc values presented by Pastor and Orgaz (1994).

Table 5. Lengths of olive trees development stages and corresponding Kc values of the 3 scenarios (planting date: 1st March)

	Stage and Duration (days)			
	Initial	Development	Mid-Season	Late season
Papazafeiriou, 1999	90	30	60	90
FAO56, 1996	30	90	60	90
Pastor and Orgaz, 1994	30	90	60	90
	Kc			
Papazafeiriou, 1999	0.40	0.50		0.40
FAO56, 1996	0.65	0.70		0.70
Pastor and Orgaz, 1994	0.65	0.45		0.65

The applied amount of water was set to be enough for the soil to reach the field capacity while irrigation was triggered when the soil water budget reached the critical depletion, which was set to 50%.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Table 6 portrays the actual water use by crop, according to the three different scenarios, i.e. the sum of irrigation depth and effective rainfall. The FAO56 approach yielded the maximum amount of water while the Papazafeiriou approach the minimum.

Table 6. Actual water use by crop, according to the different scenarios

	Actual water use by crop (mm)
Papazafeiriou, 1999	470
FAO56, 1996	710
Pastor and Orgaz, 1994	561

Table 7 presents the irrigation scheduling on decade basis along with the corresponding net irrigation depth. The FAO56 approach requires 4 irrigation events: on the first decade of June, July and August and on the second decade of September. The Pastor and Orgaz approach requires 3 irrigation events: on the third decade of June, on the second decade of August and on the first decade of October. The Papazafeiriou approach requires 2 irrigations: on the first decade of July and on the third decade of August. The average irrigation depth for all three approaches is 103 mm.

Table 7. Scheduling and net irrigation depth (mm) according to the different scenarios

Month	Decade	Papazafeiriou, 1999	FAO56, 1996	Pastor and Orgaz, 1994
June	1		102	
	2			
	3			104
July	1	103	105	
	2			
	3			
August	1		103	
	2			103
	3	103		
September	1			
	2		104	
	3			
October	1			102
	2			
	3			
Total (mm)		206	414	309
Average (mm)		103	103	103

According to Chartzoulakis (2019), olive trees are sensitive to water shortage in three periods. The first period lasts from January to mid-March, the second from mid-April to mid-June, while the third from August to September. From the three scenarios, the Pastor and Orgaz approach appears to be closer to these scheduling requirements, while requiring a moderate amount of irrigation water. On the other hand, the FAO56 approach yields the larger amount of irrigation water and number of irrigation events. The Papazafeiriou approach requires reduced amount of water and irrigation events but it appears unsuitable for the conditions prevailing on the region of North Evia.

4. CONCLUSIONS

The disastrous forest fire that occurred on the 5th of August 2021 caused the destruction of the entire olive grove of the Agia Anna village. This created the necessity for restoration by replacing the burned olive trees with new ones. Such a difficult and complex task cannot be accomplished in reasonable time without providing the necessary quantities of irrigation water at the appropriate timing every year.

This study is a first attempt to estimate the irrigation water needs of olive trees based on the water budget approach, by implementing all available data in the CROPWAT software. Three different scenarios of Kc variation were examined, and the most suitable, based on the water availability during the critical development periods for olive trees, was the one proposed by Pastor and Orgaz (1994), leading to 309 mm of irrigation water applied in three irrigations of 103 mm each in average.

Considering the lack of field data, the results are very promising and hopefully will be used for successful design and construction of an irrigation system at the area.

REFERENCES

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56, FAO. Rome.
- Chartzoulakis, K.S., 2019. Irrigation of crops. Agrotipos publications: Athens
- Mamara, A., Anadranistakis, M., Argiriou, A.A., Szentimrey, T., Kovacs, T., Bezes, A., Bihari, Z., 2017. High resolution air temperature climatology for Greece for the period 1971-2000. Meteorol. Appl. 24, 191–205. <https://doi.org/10.1002/met.1617>
- Mamara, A., Argiriou, A.A., Anadranistakis, M., 2016. Recent trend analysis of mean air temperature in Greece based on homogenized data. Theor. Appl. Climatol. 126, 543–573. <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1592-x>
- Papazafeiriou, Z.G., 1999. Crop Water Requirements; Ziti Publications: Thessaloniki, Greece
- Pastor, M. and Orgaz, F. 1994. Riego deficitario del olivar: Los programas de recorte de riego en olivar. Agricultura no. 746: 768-776 (in Spanish).
- Smith M., 1992. CROPWAT: A Computer Program for Irrigation Planning and Management; FAO Irrigation and Drainage Paper No. 46; Food and Agriculture Organization (FAO): Rome, Italy, ISBN 9251031061
- Tóth, B., Weynants, M., Pásztor, L., Hengl, T., 2017. 3D soil hydraulic database of Europe at 250 m resolution. Hydrol. Process. 31, 2662–2666. <https://doi.org/10.1002/HYP.11203>

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΟΜΒΡΟΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΓΙΑ ΑΡΔΕΥΤΙΚΗ ΧΡΗΣΗ ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΟΜΑΤΑΣ

Π. Λόντρα¹, Ι. Κοτσάτος¹, Α. Θεοχάρης², Ν. Δέρκας¹

¹Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής, Γ.Π.Α., Ιερά Οδός 75, 11855, Αθήνα, Ελλάδα

²Γενική Δ/νση Τροφίμων, ΥΠ.Α.Α.Τ., Μενάνδρου 22, 10552, Αθήνα, Ελλάδα

e-mail: v.londra@aua.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ένα μοντέλο ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου εφαρμόστηκε για τη διαστασιολόγηση ανοικτών και κλειστών ομβροδεξαμενών για άρδευση θερμοκηπιακής καλλιέργειας τομάτας στην Ιεράπετρα Κρήτης. Χρησιμοποιήθηκαν ημερήσια ύψη βροχόπτωσης μιας χρονοσειράς 12 ετών (2008-2020), οι ημερήσιες αρδευτικές ανάγκες της καλλιέργειας και δεδομένα εξάτμισης. Η οροφή του θερμοκηπίου αποτέλεσε την επιφάνεια συλλογής του βρόχινου νερού και μελετήθηκαν οι περιπτώσεις επιφανειών 1000 έως 10000 m². Η ανάλυση των αποτελεσμάτων έδειξε ότι οι κλειστές δεξαμενές με όγκους 100 έως 290 m³ ανά 1000 m² επιφάνειας θερμοκηπίου, είχαν συντελεστή αξιοπιστίας 90% έως 100%, αντίστοιχα, ενώ οι ανοικτές δεξαμενές είχαν μέγιστο συντελεστή αξιοπιστίας 91% για κρίσιμο όγκο δεξαμενής 177 m³ ανά 1000 m² επιφάνειας θερμοκηπίου.

Λέξεις Κλειδιά: Μοντέλο υδατικού ισοζυγίου, συλλογή όμβριων υδάτων, αρδευτικές ανάγκες, αξιοπιστία, θερμοκήπιο

RELIABILITY ANALYSIS OF RAINWATER TANKS FOR IRRIGATION USE IN GREENHOUSE CULTIVATION OF TOMATO

P. Londra¹, I. Kotsatos¹, A. Theocharis², N. Dercas¹

¹Laboratory of Agricultural Hydraulics, A.U.A., Iera Odos 75, 11855, Athens, Greece

²General Directorate of Food, Ministry of Rural Development and Food, Menandrou 22, 10552 Athens, Greece

e-mail: v.londra@aua.gr

Abstract

A daily water balance model was applied for sizing covered and uncovered rainwater tanks for irrigation use in greenhouse cultivation of tomato in Ierapetra (Crete, Greece). Daily rainfall depth values of a 12-year time series (2008-2020), the daily water needs of the crop and evaporation data were used. The greenhouse roof assumed to be the water collection area of the rainwater harvesting system with values ranging from 1000 to 10000 m². The analysis of the results showed that covered tanks with volumes ranged from 100 to 290 m³ per 1000 m² of greenhouse area, had a reliability coefficient of 90% to 100%, respectively, while uncovered tanks had a maximum reliability coefficient of 91% for a critical tank volume of 177 m³ per 1000 m² of greenhouse area.

Keywords: Water balance model, rainwater harvesting, irrigation needs, reliability, greenhouse

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η συλλογή όμβριων υδάτων είναι μια αρχαία πρακτική διαχείρισης νερού, η οποία υιοθετήθηκε κυρίως σε ξηρές και ημίξηρες περιοχές του κόσμου ως μέθοδος αποθήκευσης και διανομής νερού για αστική, γεωργική και κτηνοτροφική χρήση (Angelakis, 2016; Campisano et al., 2017; Yannopoulos et al., 2019; Londra et al., 2021).

Τα τελευταία χρόνια, σε πολλά μέρη του κόσμου, υπάρχει έντονο ενδιαφέρον για τις τεχνικές συλλογής όμβριων υδάτων, ως εναλλακτική και βιώσιμη πηγή νερού για κάλυψη των υδατικών αναγκών, λόγω της πίεσης που δέχονται οι υφιστάμενους υδατικοί πόροι (Angelakis, 2016; Yannopoulos et al., 2019; Londra et al., 2021).

Ενώ υπάρχει εκτεταμένη έρευνα για τα συστήματα συλλογής ομβρίων για αστική χρήση (Londra et al., 2015; Campisano et al., 2017), η έρευνα για γεωργική χρήση και κυρίως για θερμοκηπιακές καλλιέργειες είναι πολύ περιορισμένη (Velasco-Munoz et al., 2019).

Στην Ελλάδα, η υιοθέτηση της τεχνικής της συλλογής όμβριων υδάτων για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών θερμοκηπιακών καλλιεργειών είναι σε χαμηλά επίπεδα και δεν υπάρχει έρευνα σχετικά με τη διαστασιολόγηση των ομβροδεξαμενών και την αποδοτικότητά τους. Η κύρια περιοχή χρήσης ομβροδεξαμενών είναι η Κρήτη, όπου τα θερμοκήπια καλύπτουν έκταση 2000 ha η οποία αντιστοιχεί περίπου στο 32% της συνολικής έκτασης θερμοκηπίων της χώρας (ΕΛΣΤΑΤ, 2018). Για τη διευκόλυνση της χρήσης ομβροδεξαμενών, επιτρέπεται η κατασκευή τους σε όλες τις περιοχές της Κρήτης, με την προϋπόθεση ότι θα χρησιμοποιούν μόνο το νερό της απορροής των θερμοκηπίων ή κτιριακών εγκαταστάσεων και μόνο για την άρδευση των ίδιων θερμοκηπίων. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με τη νομοθεσία για την επιβολή περιοριστικών μέτρων στα συστήματα επιφανειακών υδάτων των λεκανών απορροής της Κρήτης, εάν ο όγκος αποθήκευσης της ομβροδεξαμενής είναι έως 500 m³ ανά 3000 m² θερμοκηπίου, δεν απαιτείται ειδική άδεια για την εγκατάσταση της δεξαμενής (ΥΑ 5656/ΦΕΚ 2055/Β/ 18-09-2015).

Για τον προσδιορισμό του μεγέθους της δεξαμενής όμβριων υδάτων, έχουν εφαρμοστεί μοντέλα ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου (Fewkes and Butler, 2000; Palla et al., 2011; Campisano and Modica, 2012; Tsihrintzis and Baltas, 2014; Londra et al., 2015; Londra et al., 2018) ή στοχαστικά μοντέλα (Guo and Baetz, 2007; Basinger et al., 2010; Chang et al., 2011). Ωστόσο, η χωρητικότητα των δεξαμενών ομβρίων επηρεάζεται έντονα από διάφορες τοπικές μεταβλητές, όπως οι τοπικές βροχοπτώσεις, οι επιφάνειες συλλογής νερού και η ζήτηση νερού, και δεν μπορεί να τυποποιηθεί (Aladenola and Adeboye, 2010; Ghisi, 2010; Palla et al., 2012; Londra et al., 2015; Londra et al., 2018).

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η ανάλυση αξιοπιστίας ομβροδεξαμενών που χρησιμοποιούνται για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών καλλιέργειας τομάτας σε θερμοκήπια στην Ιεράπετρα Κρήτης. Η διαστασιολόγηση κλειστών και ανοικτών ομβροδεξαμενών πραγματοποιήθηκε με την εφαρμογή ενός μοντέλου ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου χρησιμοποιώντας ημερήσιες τιμές βροχόπτωσης, την οροφή του θερμοκηπίου ως επιφάνεια συλλογής του βρόχινου νερού, τις αρδευτικές ανάγκες της καλλιέργειας και ημερήσιες τιμές εξάτμισης.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Περιοχή μελέτης

Ως περιοχή μελέτης επιλέχθηκε η Ιεράπετρα Κρήτης, η οποία χαρακτηρίζεται από έντονη παραγωγή θερμοκηπιακής τομάτας. Σύμφωνα με στοιχεία της Ετήσιας Γεωργικής Στατιστικής Έρευνας της ΕΛΣΤΑΤ (2018) στο Νομό Λασιθίου, όπου βρίσκεται η περιοχή

μελέτης, το 65% των καλλιεργούμενων εκτάσεων με κηπευτικά αφορούν κηπευτικά εντός θερμοκηπιακών εγκαταστάσεων. Το ποσοστό αυτό αποδεικνύει τη μεγάλη ανάπτυξη της περιοχής γύρω από τον τομέα του θερμοκηπίου και την ανάγκη για εξεύρεση εναλλακτικών πηγών διαθέσιμου νερού για άρδευση.

2.2. Βροχομετρικά δεδομένα

Για τη διαστασιολόγηση των ομβροδεξαμενών χρησιμοποιήθηκαν ημερήσιες τιμές βροχόπτωσης από τον βροχομετρικό σταθμό 'Ιεραπετρα' του Εθνικού Αστεροσκοπίου Αθηνών για τη χρονική περίοδο 2008-2020. Η διάρκεια των 12 ετών υπερκαλύπτει τη σύσταση των Mitchell et al. (2008) σχετικά με την ελάχιστη διάρκεια δεδομένων βροχοπτώσεως για διαστασιολογηση που είναι τα 10 έτη.

Επίσης, προσδιορίστηκε και η μέγιστη ετήσια άνομβρη περίοδος, η οποία ορίζεται ως η μέγιστη περίοδος σε ημέρες χωρίς βροχή ή με βροχή ύψους μικρότερο ή ίσο του 1 mm (Londra et al., 2015).

2.3. Μοντέλο ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου

Χρησιμοποιήθηκε ένα μοντέλο ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου λαμβάνοντας υπόψη τα ημερήσια ύψη βροχόπτωσης, την επιφάνεια συλλογής των ομβρίων, τον συντελεστή απορροής, τον όγκο της δεξαμενής αποθήκευσης του βρόχινου νερού, τις ανάγκες της καλλιέργειας σε νερό και την εξάτμιση. Η εξίσωση που χρησιμοποιήθηκε είναι η εξής:

$$S_t = S_{t-1} + R_t - D_t - E_t \quad 0 \leq S_{t-1} \leq V_{tank} \quad (1)$$

όπου: S_t είναι ο αποθηκευμένος όγκος νερού στο τέλος της t ημέρας (m^3), S_{t-1} ο αποθηκευμένος όγκος στην αρχή της t ημέρας (m^3), R_t ο όγκος του νερού της βροχής που θα απορρεύσει από την επιφάνεια συλλογής και θα εισέλθει στη δεξαμενή την t ημέρα (m^3), D_t η ημερήσια ζήτηση (m^3), E_t η ημερήσια εξάτμιση στην περίπτωση ανοικτής δεξαμενής (m^3), και V_{tank} η χωρητικότητα της δεξαμενής συλλογής βρόχινου νερού (m^3).

Ο όγκος του νερού που θα απορρεύσει από την οροφή του θερμοκηπίου σε ημερήσια βάση, R_t , υπολογίζεται ως εξής:

$$R_t = C \cdot A \cdot P_t \quad (2)$$

όπου: C ο συντελεστής απορροής της επιφάνειας συλλογής, A το εμβαδόν της επιφάνειας συλλογής (m^2), P_t η βροχόπτωση της t ημέρας (m).

Η τιμή του συντελεστή απορροής C ορίστηκε στο 0.9, όπου είναι η τιμή που αντιστοιχεί σε υλικό κάλυψης πλαστικών θερμοκηπίων (Kinkade-Levario, 2007).

Ο προσδιορισμός της ημερήσιας ζήτησης σε νερό άρδευσης, D_t , για την κάλυψη των ημερήσιων αναγκών φυτών θερμοκηπιακής τομάτας έγινε από βιβλιογραφικά δεδομένα καλλιέργειας τομάτας σε πλαστικό και μη θερμαινόμενο θερμοκήπιο στην Ιεράπετρα Κρήτης, οκτάμηνης διάρκειας (1^η Οκτωβρίου – 31^η Μαΐου) με εφαρμογή στάγδην άρδευσης (Chartzoulakis and Michelakis, 1988, Χατζουλάκης, 2019). Για την περίοδο από το μήνα Οκτώβριο (φύτευση) έως και το μήνα Ιανουάριο, επειδή η καλλιέργεια βρίσκεται σε χαμηλά στάδια ανάπτυξης και λόγω της χαμηλής ηλιοφάνειας και των χαμηλών θερμοκρασιών που επικρατούν, παρατηρείται βραδεία ανάπτυξη του φυτού και χαμηλή παραγωγή, συνεπώς οι ανάγκες σε νερό είναι χαμηλές και κυμαίνονται από 0.5-0.8 mm/day. Η έντονη παραγωγή ξεκινάει σταδιακά από τον Φεβρουάριο και από τον μήνα Μάρτιο, όπου η καλλιέργεια έχει φτάσει στο στάδιο της ωριμότητας και επικρατούν οι βέλτιστες κλιματικές συνθήκες για την καλλιέργεια, αυξάνονται οι ανάγκες της σε νερό και ολοκληρώνεται τον Μάιο. Το διάστημα αυτό οι ανάγκες κυμαίνονται από 2-3 mm/day (Chartzoulakis and Michelakis, 1988, Χατζουλάκης, 2019).

Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι στην αρχή κάθε καλλιεργητικής περιόδου (1^η Οκτωβρίου) απαιτείται άρδευση του εδάφους του θερμοκηπίου εξασφαλίζοντας τη διαθέσιμη υγρασία για τα φυτά τομάτας. Λαμβάνοντας υπόψη ότι το χρησιμοποιούμενο έδαφος χαρακτηρίζεται ως αμμοπηλώδες-πηλώδες (Chartzoulakis and Michelakis, 1988) με μια μέση τιμή διαθέσιμης υγρασίας 14%, και βάθος ριζοστρώματος 30 cm, ποσότητα νερού περίπου ίση με 42 mm (42 m³/στρέμμα) απαιτείται για να εξασφαλιστεί η διαθέσιμη υγρασία του εδάφους. Κατά συνέπεια, αυτή η ποσότητα νερού θα εφαρμόζεται στην αρχή κάθε νέας καλλιεργητικής περιόδου (1^η Οκτωβρίου) και πρακτικά θα απαιτείται να καλύπτεται από το συλλεγόμενο νερό της βροχής. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, ο υπολογισμός της ημερήσιας ζήτησης σε νερό της καλλιέργειας που θα πρέπει να καλύπτεται από το βρόχινο νερό της δεξαμενής υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$D_{t,tomato} = I_{r_October1^{st}} + C_c \cdot A \cdot I_{r,t} \quad (3)$$

όπου: C_c ο συντελεστής κάλυψης της έκτασης του θερμοκηπίου με φυτά, A η επιφάνεια του θερμοκηπίου (m²), I_{r,t} οι ημερήσιες ανάγκες των φυτών σε νερό (m) για την οκτάμηνη περίοδο καλλιέργειας (Οκτώβριος - Μάιος), I_{r_October1st} είναι η ζήτηση νερού στην αρχή (1^η Οκτωβρίου) κάθε νέας καλλιεργητικής περιόδου (m³).

Ο συντελεστής C_c ισούται με το ποσοστό κάλυψης της έκτασης του θερμοκηπίου από φυτά. Στη συγκεκριμένη περίπτωση παραδεχόμαστε κάλυψη θερμοκηπίου με καλλιέργεια κατά 90% και το υπόλοιπο 10% με βοηθητικούς χώρους και διαδρόμους (C_c=0.9).

Στην περίπτωση διερεύνησης των ανοικτών δεξαμενών συλλογής όμβριων υδάτων για την κάλυψη των αναγκών της καλλιέργειας θερμοκηπιακής τομάτας στην Ιεράπετρα Κρήτης, ελήφθησαν υπόψη κατά στους υπολογισμούς του μοντέλου υδατικού ισουγίου και οι απώλειες από εξάτμιση. Οι ημερήσιες τιμές εξάτμισης υπολογίστηκαν από τις διαθέσιμες μέσες μηνιαίες τιμές εξάτμισης για το σταθμό 'Τυμπάκι' (EMY, http://www.emy.gr/emyl/agriculture/agriculture_city?poli=Tympaki), που μπορούν να θεωρηθούν αντιπροσωπευτικές και για την περιοχή μελέτης (Πίνακας 1).

Πίνακας 1. Μέσες μηνιαίες τιμές εξάτμισης.

Μήνας	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος
Εξάτμιση (mm)	82.6	83.9	119.1	147.4	210.1	270.5
Μήνας	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος	Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος
Εξάτμιση (mm)	358.8	333.5	228.1	163.5	102.4	87.3

Οι ημερήσιες τιμές εξάτμισης, E_t, υπολογίστηκαν από τη σχέση:

$$E_t = \frac{E_i}{n_i} \quad (4)$$

όπου: E_i είναι η εξάτμιση τον i μήνα (m), n_i ο αριθμός των ημερών του i μήνα.

2.4. Διαστασιολόγηση ομβροδεξαμενής

Η διαστασιολόγηση της ομβροδεξαμενής πραγματοποιήθηκε με χρήση των παρακάτω σχέσεων ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου για την περίπτωση ανοικτής (σχέση (5)) και κλειστής ομβροδεξαμενής (σχέση (6)):

$$S_t = S_{t-1} + C \cdot A \cdot P_t - I_{r_October1^{st}} - C_c \cdot A \cdot I_{r,t} - E_t \quad (5)$$

$$S_t = S_{t-1} + C \cdot A \cdot P_t - I_{r_October1^{st}} - C_c \cdot A \cdot I_{r,t} \quad (6)$$

Ο υπολογισμός του ημερήσιου όγκου αποθήκευσης γίνεται με επαναληπτικό τρόπο με χρήση του παρακάτω ευριστικού αλγορίθμου, ώστε να ληφθεί υπόψη η παράμετρος της χωρητικότητας της ομβροδεξαμενής (Tsichrintzis and Baltas, 2014; Londra et al., 2015), και την παραδοχή ότι η διαδικασία ξεκινάει με μια πλήρως γεμάτη ομβροδεξαμενή ($S_{t=1}=S_0=V_{\text{tank}}$ για $t=0$):

$$\text{If } S_t > V_{\text{tank}} \text{ then } V_{\text{tank}}, \text{ If } S_t < 0 \text{ then } 0 \text{ else } S_t = S_{t,\text{tank}} \quad (7)$$

όπου: $S_{t,\text{tank}}$ ο πραγματικά διαθέσιμος αποθηκευμένος όγκος βρόχινου νερού στην ομβροδεξαμενή την t ημέρα και δίνεται από τη σχέση (5) ή (6) ανάλογα με τον τύπο της δεξαμενής.

Επιπροσθέτως, ο όγκος του νερού υπερχειλίσης της δεξαμενής, O_t , όταν αυτή είναι γεμάτη με νερό, υπολογίζεται από τον ακόλουθο ευριστικό αλγόριθμο:

$$\text{If } S_t \geq V_{\text{tank}} \text{ then } O_t = S_t - V_{\text{tank}} \text{ else } O_t = 0 \quad (8)$$

Σε περιπτώσεις όπου ο διαθέσιμος όγκος νερού της ομβροδεξαμενής, $S_{t,\text{tank}}$, δεν επαρκεί για να καλύψει πλήρως τις ανάγκες της καλλιέργειας για την οποία έχει εγκατασταθεί το σύστημα συλλογής όμβριων υδάτων, τότε το υπόλοιπο νερό ζήτησης θα καλυφθεί από την υπηρεσία παροχής νερού άρδευσης της περιοχής ή από ιδιωτικές γεωτρήσεις. Η ποσότητα αυτή, T_t , υπολογίζεται με τον αλγόριθμο:

$$\text{If } S_{t,\text{tank}} < D_t \text{ then } T_t = D_t - S_{t,\text{tank}} \text{ else } T_t = 0 \quad (9)$$

Στην παρούσα μελέτη έχουν χρησιμοποιηθεί ημερήσια βροχομετρικά δεδομένα για την Ιεράπετρα Κρήτης για περίοδο 12 ετών και το μοντέλο έχει αναπτυχθεί στο πρόγραμμα Microsoft Excel.

2.5. Συντελεστής αξιοπιστίας Re

Προκειμένου να διερευνηθεί η αποδοτικότητα της ομβροδεξαμενής χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής αξιοπιστίας, Re:

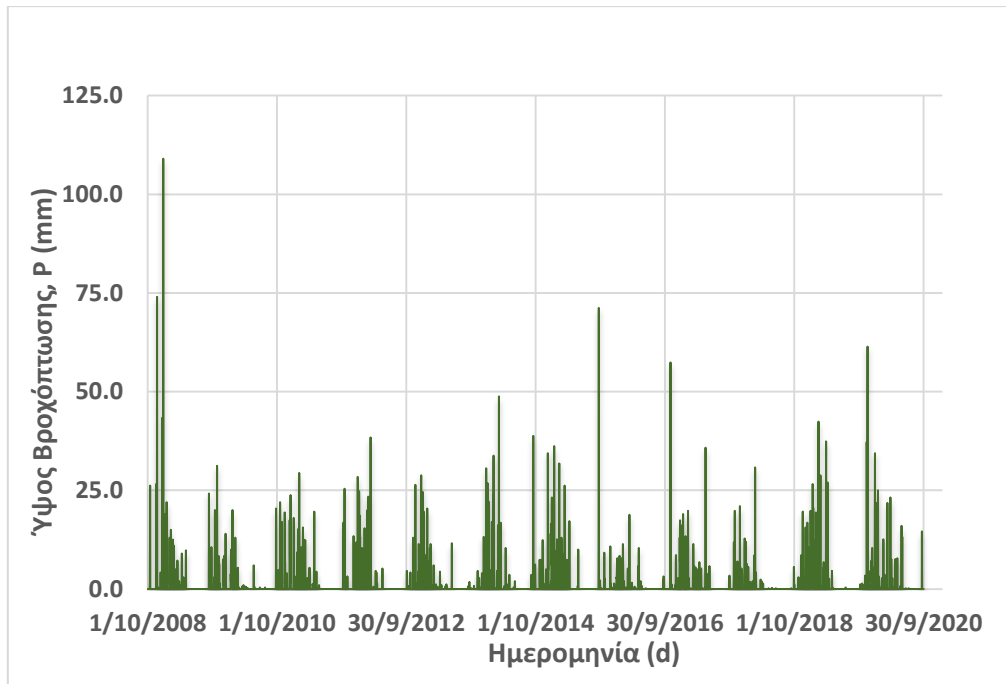
$$\text{Re} = N_{\text{days}} / N_{\text{tot}} \cdot 100 (\%) \quad (10)$$

όπου: N_{days} ο αριθμός των ημερών όπου υπάρχει πλήρης ικανοποίηση της ζήτησης από το αποθηκευμένο βρόχινο νερό και N_{tot} ο συνολικός αριθμός των ημερών που χρησιμοποιήθηκε για τους υπολογισμούς του μοντέλου.

Χρησιμοποιήθηκαν ημερήσιες καταγραφές βροχόπτωσης 12 ετών.

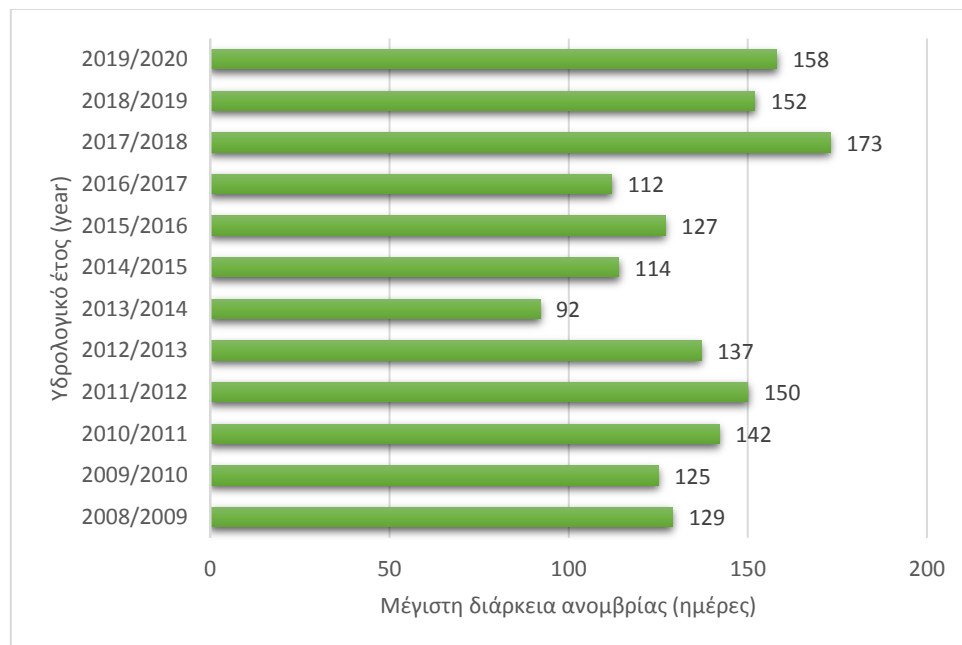
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η κατανομή των ημερήσιων υψών βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια των 12 ετών μελέτης παρουσιάζεται στο Σχήμα 1. Όπως φαίνεται, η βροχόπτωση συγκεντρώνεται στη χειμερινή περίοδο κάθε έτους, με σχετικά χαμηλές ημερήσιες τιμές (κυρίως <25 mm), ενώ τα καλοκαίρια είναι ξηρά, χαρακτηριστικά του μεσογειακού κλίματος. Το μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης είναι 418.93 mm.



Σχήμα 1. Κατανομή ημερήσιου ύψους βροχόπτωσης για την χρονική περίοδο 2008-2020 στην περιοχή μελέτης.

Στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται η μέγιστη ετήσια άνομβρη περίοδος για την χρονική περίοδο 2008-2020 της περιοχής μελέτης. Παρατηρείται ότι οι τιμές κυμαίνονται από 92 έως 158 ημέρες με μέση τιμή 123.92 ημέρες.



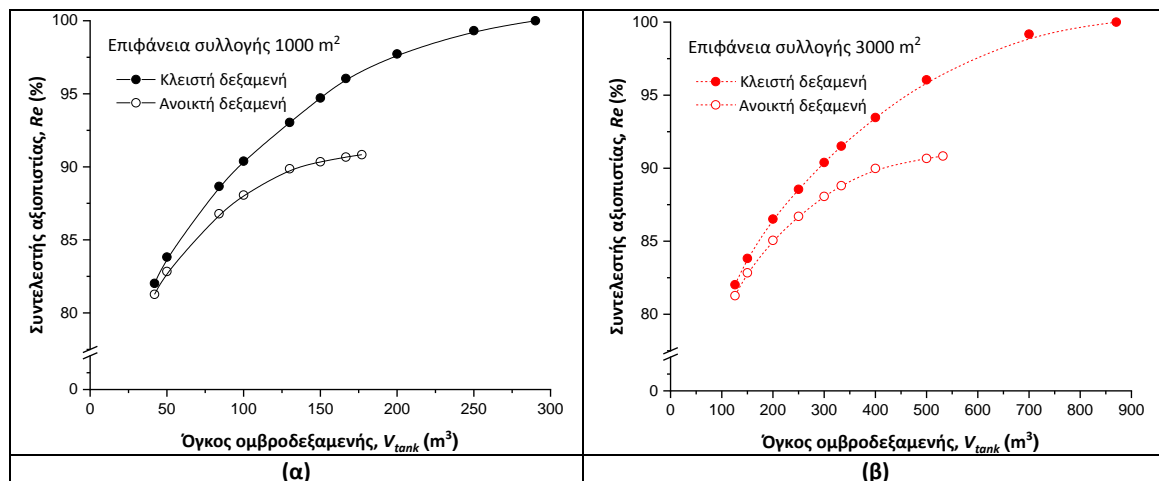
Σχήμα 2. Μέγιστη διάρκεια άνομβρίας ανά υδρολογικό έτος στην περιοχή μελέτης.

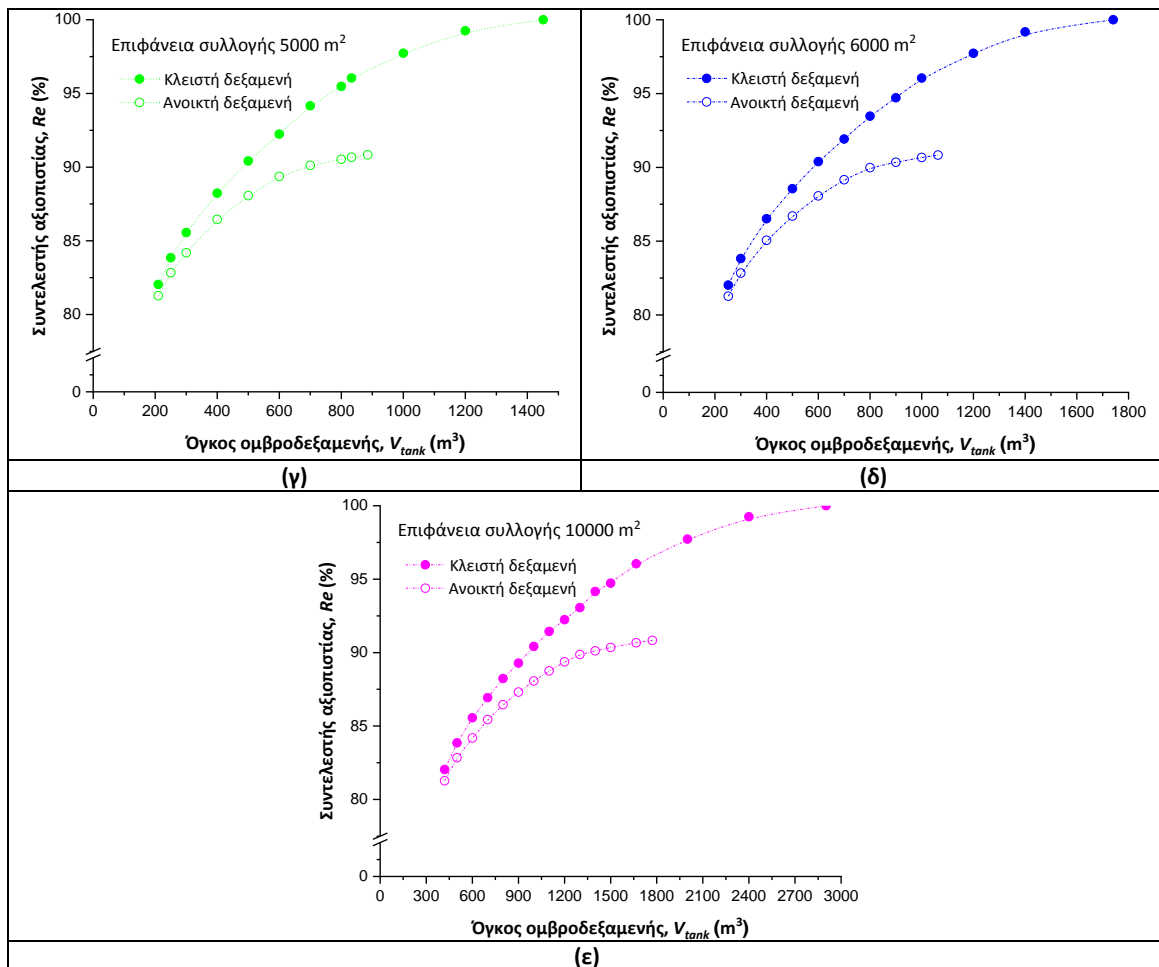
Στο Σχήμα 3, δίνεται η συγκριτική απεικόνιση της σχέσης αξιοπιστίας και όγκου ομβροδεξαμενής μεταξύ κλειστών και ανοικτών ομβροδεξαμενών κάλυψης των υδατικών αναγκών καλλιέργειας θερμοκηπιακής τομάτας για επιφάνειες ομβροσυλλογής 1000, 3000, 5000, 6000 και 10000 m².

Στην περίπτωση των κλειστών ομβροδεξαμενών, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3α, για τον ελάχιστο απαιτούμενο όγκο δεξαμενής που χρησιμοποιήθηκε (42 m^3 ανά 1000 m^2 έκτασης θερμοκηπίου), ο συντελεστής αξιοπιστίας Re ήταν 82%. Να σημειωθεί ότι τα 42 m^3 ανά 1000 m^2 θερμοκηπίου είναι ο απαιτούμενος όγκος νερού που εφαρμόζεται στο έδαφος πριν από τη φύτευση. Καθώς αυξάνεται ο V_{tank} ο Re αυξάνεται, φτάνοντας την τιμή του 100% για όγκο δεξαμενής 290 m^3 . Παρόμοια αποτελέσματα υψηλών τιμών Re ελήφθησαν για όλες τις επιφάνειες συλλογής βρόχινου νερού (Σχήμα 3β-ε). Αξίζει να σημειωθεί ότι σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία για την κατασκευή ομβροδεξαμενών για άρδευση καλλιεργειών θερμοκηπίου στην Κρήτη, για τον προτεινόμενο όγκο δεξαμενών 500 m^3 ανά 3000 m^2 επιφάνειας θερμοκηπίου, ο συντελεστής Re έφτασε την τιμή του 96% (Σχήμα 3β).

Από την άλλη πλευρά, στην περίπτωση των ανοικτών ομβροδεξαμενών, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3α, ο συντελεστής αξιοπιστίας κυμαίνεται από 81% για τον ελάχιστο απαιτούμενο όγκο δεξαμενής (42 m^3) έως 91% για δεξαμενή 177 m^3 και επιφάνεια συλλογής 1000 m^2 . Οποιαδήποτε περαιτέρω αύξηση του όγκου της δεξαμενής οδηγεί σε μείωση του Re . Αυτό συμβαίνει επειδή το αποθηκευμένο νερό της βροχής δεν μπορεί να καλύψει τη ζήτηση νερού λόγω των μεγαλύτερων απωλειών εξάτμισης από την αυξημένη επιφάνεια της ακάλυπτης δεξαμενής. Παρόμοια αποτελέσματα παρατηρούνται στις περιπτώσεις όλων των επιφανειών συλλογής που χρησιμοποιούνται όπως φαίνεται στο Σχήμα 3β-ε.

Συμπερασματικά, η καλύτερη διαχείριση του αποθηκευμένου νερού της βροχής επιτυγχάνεται με κλειστές δεξαμενές. Η αξιοπιστία αυτών των δεξαμενών είναι πάντα μεγαλύτερη από τις ακάλυπτες και μπορεί να φτάσει την τιμή του 100% με την επιλογή του κατάλληλου μεγέθους δεξαμενής. Παρ' όλα αυτά, η αξιοπιστία των ανοικτών δεξαμενών μπορεί να φτάσει τη μέγιστη τιμή 91% για κρίσιμο όγκο δεξαμενής 177 m^3 ανά 1000 m^2 επιφάνεια συλλογής. Για οποιονδήποτε άλλο όγκο δεξαμενής μεγαλύτερο από τον κρίσιμο, η τιμή αξιοπιστίας του συστήματος ομβροσυλλογής μειώνεται.





Σχήμα 3. Συγκριτική απεικόνιση της σχέσης αξιοπιστίας και όγκου ομβροδεξαμενής μεταξύ κλειστών και ανοικτών ομβροδεξαμενών κάλυψης των υδατικών αναγκών καλλιέργειας θερμοκηπιακής τομάτας για επιφάνεια ομβροσυλλογής: (α) 1000 m^2 , (β) 3000 m^2 , (γ) 5000 m^2 , (δ) 6000 m^2 και (ε) 10000 m^2 .

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην περίπτωση θερμοκηπιακής καλλιέργειας τομάτας στην Ιεράπετρα Κρήτης 8μηνος καλλιεργητικής περιόδου, μελετήθηκε η διαστασιολόγηση και η αποδοτικότητα κλειστών και ανοικτών ομβροδεξαμενών για την κάλυψη των υδατικών αναγκών της καλλιέργειας.

Οι κλειστές ομβροδεξαμενές χωρητικότητας από 100 έως 290 m^3 /στρέμμα θερμοκηπίου είχαν συντελεστή αξιοπιστίας 90% έως 100%, αντίστοιχα.

Οι ανοικτές δεξαμενές είχαν μέγιστο συντελεστή αξιοπιστίας 91% για μια κρίσιμη χωρητικότητα δεξαμενής 177 m^3 /στρέμμα θερμοκηπίου.

Τόσο οι κλειστές όσο και οι ανοικτές δεξαμενές χωρητικότητας 42 m^3 /στρέμμα θερμοκηπίου είχαν πρακτικά τον ίδιο συντελεστή αξιοπιστίας (82% και 81%, αντίστοιχα).

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Aladenola, O.O. and Adeboye, O.B. 2010. *Assessing the potential for rainwater harvesting*. Water Resources Management, 24(10), 2129-2137.

Ghisi, E. 2010. *Parameters influencing the sizing of rainwater tanks for use in houses*. Water Resources Management, 24, 2381-2403.

- Palla, A., Gnecco, I., Lanza, L.G. and La Barbera, P. 2012. *Performance analysis of domestic rainwater harvesting systems under various European climate zones*. Resources Conservation and Recycling, 62, 71-80.
- Mitchell, V.G., McCarthy, D.T., Deletic, A. and Fletcher, T.D. 2008. *Urban stormwater harvesting – sensitivity of a storage behaviour model*. Environmental Modelling and Software, 23, 782–793.
- Kinkade-Levario, H. 2007. *Design for Water Rainwater Harvesting, Stormwater Catchment and Alternate Water Reuse*. New Society Publishers: P.O. Box 189, Gabriola Island, BC V0R 1X0, Canada, pp. 38.
- Chartzoulakis, K. and Michelakis, N. 1988. *Influence of different irrigation systems on greenhouse tomatoes*. Acta Horticulturae, 228, 97-104.
- ΕΛΣΤΑΤ, 2018. Ετήσια Γεωργική Στατιστική Έρευνα, Πίνακας 3β. <https://www.statistics.gr/el/statistics/-/publication/SPG06/2018>
- Angelakis, A.N. 2016. *Evolution of rainwater harvesting and use in Crete, Hellas, through the millennia*. Water Science and Technology: Water Supply, 16(6), 1624–1638.
- Basinger, M., Montalto, F. and Lall, U. 2010. *A rainwater harvesting system reliability model based on nonparametric stochastic rainfall generator*. Journal of Hydrology, 392, 105-118.
- Campisano, A. and Modica, C. 2012. *Optimal sizing of storage tanks for domestic rainwater harvesting in Sicily*. Resources, Conservation and Recycling, 63, 9–16.
- Campisano, A., Butler, D., Ward, S., Burns, M.J., Friedler, E., DeBusk, K., Fisher-Jeffes, L.N., Ghisi, E., Rahman, A., Furumai, H. and Han, M. *Urban rainwater harvesting systems: research, implementation and future perspectives*. Water Research, 115, 195–209.
- Chang, N., Rivera, B.J. and Wanielista, M.P. *Optimal design for water conservation and energy savings using green roofs in a green building under mixed uncertainties*. Journal of Cleaner Production, 19, 1180-1188.
- Fewkes, A. and Butler, D. 2000. *Simulating the performance of rainwater collection systems using behavioural models*. Building Services Engineering Research and Technology, 21(2), 99–106.
- Guo, Y. and Baetz, B. 2007. *Sizing of rainwater storage units for green building applications*. Journal of Hydrologic Engineering, 12(2), 197-205.
- Londra, P.A., Antoniou, G.P., Theocharis, A.T., Dalezios, N.R. and Angelakis, A.N. 2021. *Evolution of Small-Scale Rainwater Harvesting in the Hellenic World through the Millennium*. In: S. Eslamian and F. Eslamian (Editors), Handbook of Water Harvesting and Conservation: Case Studies and Application Examples. John Wiley & Sons, Inc., Chichester, UK, pp. 103-117.
- Londra, P.A., Theocharis, A.T., Baltas, E. and Tsihrintzis, V.A. 2015. *Assessment of rainwater harvesting tank size for livestock use*. Water Science and Technology: Water Supply, 18.2, 555-566.
- Londra, P.A., Theocharis, A.T., Baltas, E. and Tsihrintzis, V.A. 2018. *Assessment of rainwater harvesting tank size for livestock use*. Water Science and Technology: Water Supply, 18.2, 555-566.
- Palla, A., Gnecco, I. and Lanza, L.G. 2011. *Non-dimensional design parameters and performance assessment of rainwater harvesting systems*. Journal of Hydrology, 401, 65-76.
- Tsihrintzis, V.A. and Baltas E. 2014. *Determination of rainwater harvesting tank size*. Global NEST Journal, 16(5), 822-831.

Yannopoulos, S., Giannopoulou, I. and Kaiafa-Saropoulou, M. 2019. *Investigation of the current situation and prospects for the development of rainwater harvesting as a tool to confront water scarcity worldwide*. *Water*, 11, 2168.

Χαρτζουλάκης, Κ.Σ. *Η άρδευση των καλλιεργειών*. Εκδόσεις Αγροτύπος, Αθήνα, 2019; σελ. 384-385.

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΕΙΚΤΩΝ ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΣΕ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΤΗΣ Π.Ε. ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ

Z. Μπρόζου, Π. Γεωργίου, Δ. Καρπούζος

Τμήμα Γεωπονίας Α.Π.Θ., Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής
54124, Θεσσαλονίκη
e-mail: pantaz@agro.auth.gr

Περίληψη

Η ξηρασία είναι ένα φυσικό φαινόμενο το οποίο τα τελευταία χρόνια φαίνεται να εμφανίζεται πιο συχνά και σε περισσότερες περιοχές, αποτελώντας αντικείμενο προβληματισμού παγκοσμίως. Οι δείκτες ξηρασίας είναι απαραίτητα εργαλεία για τη συνεχή παρακολούθηση και καταγραφή της έντασης και της διάρκειας των επεισοδίων ξηρασίας. Η παρούσα εργασία πραγματεύεται τη μελέτη δύο δεικτών ξηρασίας (SPI και RDI) σε επτά Μετεωρολογικούς Σταθμούς (Μ.Σ.) της Περιφερειακής Ενότητας (Π.Ε.) Χαλκιδικής, η οποία έχει ως κύριο στόχο την εκτίμηση καθώς και την ανάλυση αυτών των δεικτών, για τους οποίους συλλέχθηκε ένας μεγάλος αριθμός ιστορικών μετεωρολογικών δεδομένων από τους επτά Μ.Σ. Επιπλέον, οι δύο αυτοί δείκτες συγκρίθηκαν μεταξύ τους, με σκοπό να εκτιμηθεί εάν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ τους.

Λέξεις κλειδιά: ξηρασία, δείκτες ξηρασίας, SPI, RDI

ASSESSMENT AND COMPARISON OF DROUGHT INDICES AT METEOROLOGICAL STATIONS AT REGIONAL UNIT OF CHALKIDIKI

Z. Brozou, P. Georgiou, D. Karpouzos

School of Agriculture A.U.Th, Department of Hydraulics, Soil Science & Agricultural Engineering,
54124, Thessaloniki
e-mail: pantaz@agro.auth.gr

Abstract

Drought is a natural phenomenon that the past years appears more frequently and, in more areas, being the subject of concern worldwide. Drought indices are essential and useful tools for monitoring and assessment of drought intensity and duration. In this paper, two drought indices (SPI and RDI) are studied at seven Meteorological Stations (M.S) in the regional unit of Chalkidiki, which has as main objective the assessment and analysis of these indices, for which a large number of historical meteorological data were collected from the seven M.S. Moreover, these two indices were compared to assess whether there is a correlation between them.

Keywords: drought, drought indices, SPI, RDI

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ξηρασία είναι ένα ακραίο φαινόμενο, της οποίας οι επιπτώσεις εμφανίζονται με την πάροδο του χρόνου. Τα τελευταία χρόνια φαίνεται πως η συχνότητα εμφάνισής της έχει αρχίσει να αυξάνεται αλλά και να εμφανίζεται και σε περισσότερες περιοχές παγκοσμίως, γεγονός που επιφέρει πολλές επιπτώσεις. Συγκριτικά με άλλες φυσικές καταστροφές, η ξηρασία φαίνεται να είναι πιο περίπλοκη καθώς τα αποτελέσματά της δεν εμφανίζονται άμεσα όπως συμβαίνει με άλλες φυσικές καταστροφές. Λόγω των πολλών ειδών ξηρασίας δεν είναι εύκολο να δοθεί ένας περιεκτικός ορισμός ο οποίος θα περιγράψει ακριβώς το φαινόμενο της ξηρασίας. Η δυσκολία προσδιορισμού της έναρξης και λήξης ενός επεισοδίου ξηρασίας την κατατάσσει στα πιο σύνθετα φαινόμενα και θεωρείται απαραίτητη η μελέτη του καθώς οι επιπτώσεις του είναι μεγάλες και αφορούν πολλούς τομείς, όπως στη γεωργία, στην οικονομία αλλά και στην κοινωνία γενικότερα.

Ακριβώς επειδή οι επιπτώσεις της ξηρασίας επηρεάζουν διάφορους τομείς, η ξηρασία διαχωρίζεται σε τέσσερις μορφές: τη μετεωρολογική, τη γεωργική, την υδρολογική αλλά και την κοινωνικό-οικονομική ξηρασία (Wilhite and Glantz, 1985). Επιπλέον, τρία είναι τα βασικά χαρακτηριστικά που κάνουν τα επεισόδια ξηρασίας να διαφέρουν μεταξύ τους: η ένταση, η διάρκεια και η χωρική κατανομή. Επίσης, η ξηρασία σχετίζεται με το χρόνο εμφάνισής της (π.χ. καθυστέρηση στην έναρξη της υγρής περιόδου ή απουσία βροχόπτωσης κατά τα στάδια ανάπτυξης των φυτών) αλλά και με την αποτελεσματικότητα των βροχοπτώσεων (π.χ. ένταση βροχόπτωσης, ή και αριθμός επεισοδίων βροχής). Έτσι, κάθε επεισόδιο ξηρασίας θεωρείται μοναδικό με δικά του κλιματικά χαρακτηριστικά και επιπτώσεις (Μπαλτάς, 2013).

Το γεγονός ότι δεν υπάρχει ένας συγκεκριμένος ορισμός της ξηρασίας καθώς και το ότι τα χαρακτηριστικά της και οι τύποι της διαφέρουν, καθιστούν τους δείκτες ξηρασίας απαραίτητους για την ανάλυση του φαινομένου αλλά και την αξιολόγησή του. Κάθε δείκτης ξηρασίας είναι διαφορετικός καθώς είτε έχει διαφορετικές παραμέτρους (π.χ. θερμοκρασία, ύψη βροχής) είτε έχει διαφορετικό τρόπο υπολογισμού. Τα αποτελέσματα των δεικτών ξηρασίας είναι καθαροί αριθμοί, οι οποίοι ανάλογα με τον κάθε δείκτη έχουν και διαφορετικό χαρακτηρισμό για την περιοχή που εξετάζεται. Ο Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός (World Meteorological Organization) ως δείκτη ξηρασίας ορίζει έναν δείκτη ο οποίος συνδέεται με μερικά από τα αθροιστικά αποτελέσματα ενός παρατεταμένου και ασυνήθιστου ελλείμματος υγρασίας (Heim, 2002). Συνολικά υπάρχει μια πληθώρα δεικτών ξηρασίας, από τους οποίους αυτοί που χρησιμοποιούνται ευρέως είναι οι δείκτες SPI και RDI.

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι ο υπολογισμός των δεικτών ξηρασίας SPI (McKee et al., 1993) και RDI (Tsakiris et al., 2007) με τη χρήση δεδομένων βροχόπτωσης και θερμοκρασίας που λήφθηκαν από τους Μετεωρολογικούς Σταθμούς (Μ.Σ.) της Περιφερειακής Ενότητας (Π.Ε.) Χαλκιδικής και η αξιολόγηση της ξηρασίας στην περιοχή αυτή καθώς επίσης και η σύγκριση των παραπάνω δεικτών ξηρασίας μεταξύ τους.

2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Η περιοχή μελέτης για τον υπολογισμό των δεικτών ξηρασίας είναι η Π.Ε. Χαλκιδικής. Συγκεκριμένα επιλέχθηκαν επτά Μ.Σ.: ο Ταξιάρχης, η Αρναία, ο Άγιος Πρόδρομος, η Μεγάλη Παναγιά, η Πλανά, η Ορμύλια και ο Άγιος Μάμας, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται οι μετεωρολογικοί σταθμοί, οι συντεταγμένες τους καθώς επίσης και η περίοδος παρατηρήσεων του κάθε σταθμού σε υδρολογικά έτη.



Σχήμα 1. Οι υπό μελέτη Μ.Σ. στην Π.Ε. Χαλκιδικής

Πίνακας 1. Μ.Σ. που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση της ξηρασίας

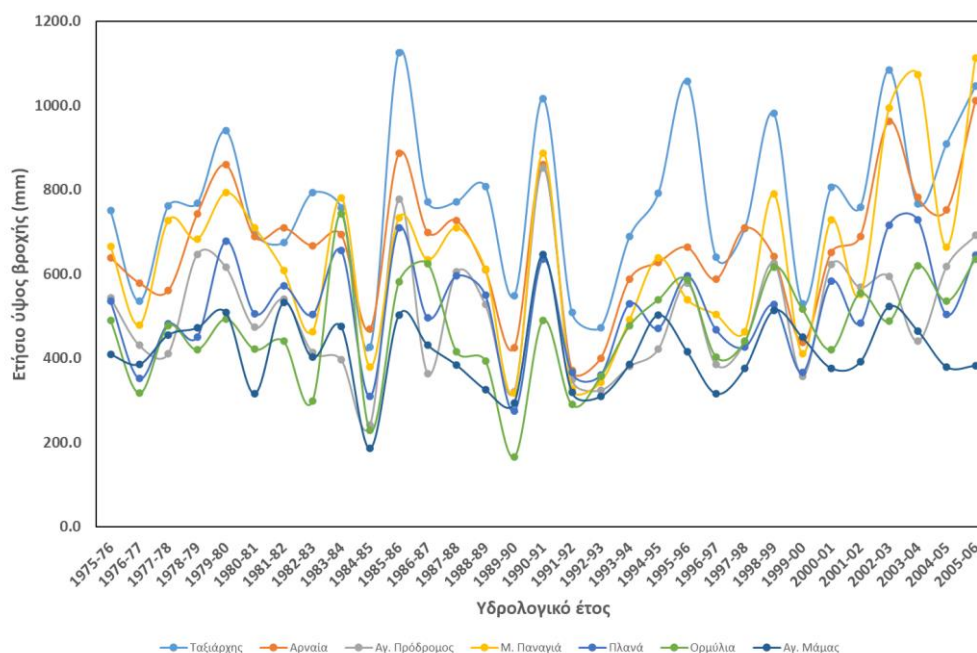
Μετεωρολογικός Σταθμός	Συντεταγμένες	Υψόμετρο (m)	Περίοδος Παρατηρήσεων
Ταξίαρχης	40°25', 23°30'	860	1974-75 έως 2005-06
Αρναία	40°29', 23°36'	585	1966-67 έως 2005-06
Άγ. Πρόδρομος	40°27', 23°22'	450	1971-72 έως 2005-06
Μεγάλη Παναγιά	40°26', 23°40'	440	1975-76 έως 2005-06
Πλάνα	40°37', 23°67'	115	1975-76 έως 2005-06
Ορμούλια	40°15', 23°30'	40	1975-76 έως 2005-06
Άγ. Μάμας	40°16', 23°19'	20	1964-65 έως 2005-06

Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 1, κάθε Μ.Σ. έχει διαφορετική περίοδο παρατηρήσεων. Για να είναι εφικτή η σύγκριση των δεικτών που υπολογίζονται παρακάτω, θα χρησιμοποιηθεί η κοινή χρονική περίοδος (1975-76 έως 2005-06), η οποία συμπίπτει με τα διαθέσιμα δεδομένα των Μ.Σ. της Μεγάλης Παναγιάς, των Πλανών και της Ορμούλιας (31 έτη). Τα διαθέσιμα μετεωρολογικά δεδομένα ήταν μηνιαίες βροχοπτώσεις και στους επτά Μ.Σ., ενώ δεδομένα μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας υπήρχαν στους Μ.Σ. του Ταξίαρχη, της Αρναίας και του Αγ. Μάμα. Καθώς ο υπολογισμός του δείκτη RDI χρειάζεται δεδομένα θερμοκρασίας, τα δεδομένα της θερμοκρασίας για τους Μ.Σ. του Αγ. Προδρόμου, της Μεγάλης Παναγιάς, των Πλανών και της Ορμούλιας υπολογίστηκαν από τα δεδομένα θερμοκρασίας του Αγ. Μάμα με βάση τη θερμοβαθμίδα στη περιοχή της Χαλκιδικής, που δίνεται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2. Κατακόρυφη θερμοβαθμίδα (°C ανά 100 m) στην περιοχή της Χαλκιδικής

Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ
0.58	0.67	0.59	0.64	0.58	0.62	0.66	0.67	0.63	0.55	0.63	0.61

Στο Σχήμα 2 παρουσιάζονται τα ετήσια ύψη βροχής της κοινής περιόδου των υδρολογικών ετών 1975-76 μέχρι 2005-06 για κάθε Μ.Σ. της Π.Ε. Χαλκιδικής.



Σχήμα 2. Ετήσια βροχόπτωση (mm) των μετεωρολογικών σταθμών για τη κοινή χρονική περίοδο των υδρολογικών ετών 1975-76 μέχρι 2005-06.

3. ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

3.1 Δείκτες Ξηρασίας

Ο Τυποποιημένος Δείκτης Κατακρήμισης (Standardised Precipitation Index) (SPI) αποτελεί έναν μετεωρολογικό δείκτη, ο οποίος χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση και πρόβλεψη της ξηρασίας (McKee et al., 1993). Ο δείκτης SPI υπολογίζεται με την προσαρμογή μιας συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας στην εμπειρική κατανομή συχνότητας μιας χρονοσειράς, που προκύπτει από εφαρμογή κυλιόμενου αθροίσματος μιας επιθυμητής χρονικής κλίμακας, πάνω στην εξεταζόμενη χρονοσειρά βροχόπτωσης. Στη συνέχεια, η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας μετασχηματίζεται σε μια τυπική κανονική κατανομή. Έτσι, ο δείκτης «κανονικοποιείται» χωρικά καθώς στον υπολογισμό του υπεισέρχεται τόσο η κατανομή της συχνότητας εμφάνισης της βροχόπτωσης στο συγκεκριμένο τόπο, όσο και η διακύμανση της βροχόπτωσης στην περιοχή. Επιπλέον, ο δείκτης SPI «κανονικοποιείται» και χρονικά, γιατί ο υπολογισμός του μπορεί να γίνει για οποιαδήποτε χρονική κλίμακα (3, 6, 9, 12, 24, κ.λπ. μηνών) ανάλογα με το σκοπό της εκάστοτε ανάλυσης (Κωτσοβίνος και Αγγελίδης, 2009, Γεωργίου κ. άλ., 2013).

Η σχέση υπολογισμού του δείκτη SPI όταν ακολουθεί κανονική κατανομή είναι η εξής:

$$SPI = z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (1)$$

όπου: x η βροχόπτωση, μ ο μέσος όρος των βροχοπτώσεων και σ η τυπική απόκλιση των βροχοπτώσεων.

Ο δείκτης SPI μπορεί να υπολογιστεί ακόμα και όταν η χρονοσειρά της βροχόπτωσης ακολουθεί γάμα ή και λογαριθμοκανονική κατανομή, αλλά οι σχέσεις υπολογισμού του είναι διαφορετικές. Οι κατηγορίες χαρακτηρισμού των επεισοδίων ξηρασίας μιας περιόδου με βάση τον δείκτη SPI, σύμφωνα με τους McKee et al. (1993) δίνονται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3. Χαρακτηρισμός της ξηρασίας σύμφωνα με το δείκτη SPI

Κλάσεις	Χαρακτηρισμός Περιόδου
>2.00	Εξαιρετικά υγρός
1.50 μέχρι 1.99	Πολύ υγρός
1.00 μέχρι 1.49	Μέτρια υγρός
-0.99 μέχρι 0.99	Σχεδόν κανονικός
-1.00 μέχρι -1.49	Μέτρια ξηρός
-1.50 μέχρι -1.99	Πολύ ξηρός
<-2	Εξαιρετικά ξηρός

Ο δείκτης RDI (Reconnaissance Drought Index) είναι ένας δείκτης εκτίμησης της ξηρασίας ο οποίος αξιοποιεί ταυτόχρονα τη βροχόπτωση και τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή για τον υπολογισμό της (Tsakiris et al., 2007, Tsakiris et al. 2013; Vangelis et al. 2013). Ο δείκτης RDI προέκυψε από τη θεώρηση ότι καθώς η ξηρασία μεταφράζεται ως έλλειμα του διαθέσιμου νερού, θα πρέπει να προσδιοριστεί από τη σχέση μεταξύ εισροών και εκροών ενός υδατικού συστήματος και όχι μόνο των εισροών (βροχόπτωση), όπως σε άλλους δείκτες. Ως εκροή χρησιμοποιείται η δυνητική εξατμισοδιαπνοή, καθώς αποτελεί τη σημαντικότερη από τις απώλειες νερού. Για τον υπολογισμό του δείκτη, απαιτούνται δεδομένα βροχόπτωσης καθώς επίσης και θερμοκρασίας ή και άλλων μετεωρολογικών μεταβλητών για τον υπολογισμό της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής.

Η αρχική τιμή του δείκτη για μια ορισμένη χρονική περίοδο προσδιορίζεται από ένα συνολικό άθροισμα, χρησιμοποιώντας μηνιαίο χρονικό βήμα και μπορεί να υπολογιστεί για κάθε μήνα ενός υδρολογικού έτους ή για ολόκληρο το έτος. Η αρχική τιμή a_k υπολογίζεται για το έτος i μέχρι N και υπολογίζεται από τη σχέση (Tsakiris et al., 2007):

$$a_k^{(i)} = \sum_{j=1}^{12} P_{ij} / \sum_{j=1}^{12} PET_{ij}, \quad i=1 \text{ μέχρι } N \text{ και } j=1 \text{ μέχρι } 12 \quad (2)$$

όπου: P_{ij} = βροχόπτωση του μήνα j για το έτος i , ξεκινώντας συνήθως από το μήνα Οκτώβριο και για N αριθμό ετών που υπάρχουν δεδομένα, PET_{ij} = δυνητική εξατμισοδιαπνοή του μήνα j για το έτος i , ξεκινώντας συνήθως από το μήνα Οκτώβριο και για N αριθμό ετών που υπάρχουν δεδομένα.

Ο a_k υπολογίζεται ως ένας γενικός δείκτης που περιγράφει την μετεωρολογική ξηρασία και ο υπολογισμός του προτείνεται για περιόδους 3, 6, 9 και 12 μηνών. Μια δεύτερη έκφραση του δείκτη είναι η Κανονικοποιημένη μορφή (Normalised RDI_n), η οποία υπολογίζεται για κάθε έτος σύμφωνα με τη σχέση (Tsakiris et al., 2006):

$$RDI_n^{(i)} = \frac{a_k^{(i)}}{\bar{a}_k} - 1 \quad (3)$$

όπου: \bar{a}_k αριθμητικός μέσος των a_k τιμών υπολογισμένων για N έτη δεδομένων.

Η τρίτη έκφραση του δείκτη είναι η Τυπική μορφή (Standardised RDI_{st}), η οποία ακολουθεί μια πανομοιότυπη διαδικασία με αυτή που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του SPI, καθώς θεωρείται ότι οι τιμές a_k ακολουθούν την λογαριθμοκανονική κατανομή. Η έκφραση RDI_{st} δίνεται από την σχέση:

$$RDI_{st}^{(i)} = \frac{y^{(i)} - \bar{y}}{\hat{\sigma}_y} \quad (4)$$

όπου: $y = \ln(a_k^{(i)})$, \bar{y} = αριθμητικός μέσος του y και $\hat{\sigma}_y$ = τυπική απόκλιση του y .

Ο χαρακτηρισμός των αποτελεσμάτων είναι ίδιος με αυτόν του δείκτη SPI, όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.

3.2 Υπολογισμός Δεικτών Ξηρασίας

Ο υπολογισμός των δεικτών ξηρασίας έγινε με το πρόγραμμα DrinC (Tigkas et al., 2015). Το πρόγραμμα υπολογίζει τους δείκτες Reconnaissance Drought Index (RDI), Standardised Precipitation Index (SPI), Deciles και Streamflow Drought Index (SDI). Το πρόγραμμα είναι απλό στη χρήση του και δίνει την δυνατότητα στον χρήστη του υπολογισμού των δεικτών με διάφορες επιλογές, όπως ο καθορισμός της χρονικής κλίμακας στους δείκτες RDI και SPI, ή τον υπολογισμό της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής με τρεις διαφορετικές μεθόδους (Hargreaves and Samani, Thornthwaite, Blaney-Criddle). Στην παρούσα εργασία ο υπολογισμός του δείκτη RDI έγινε χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Thornthwaite για τον υπολογισμό της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής.

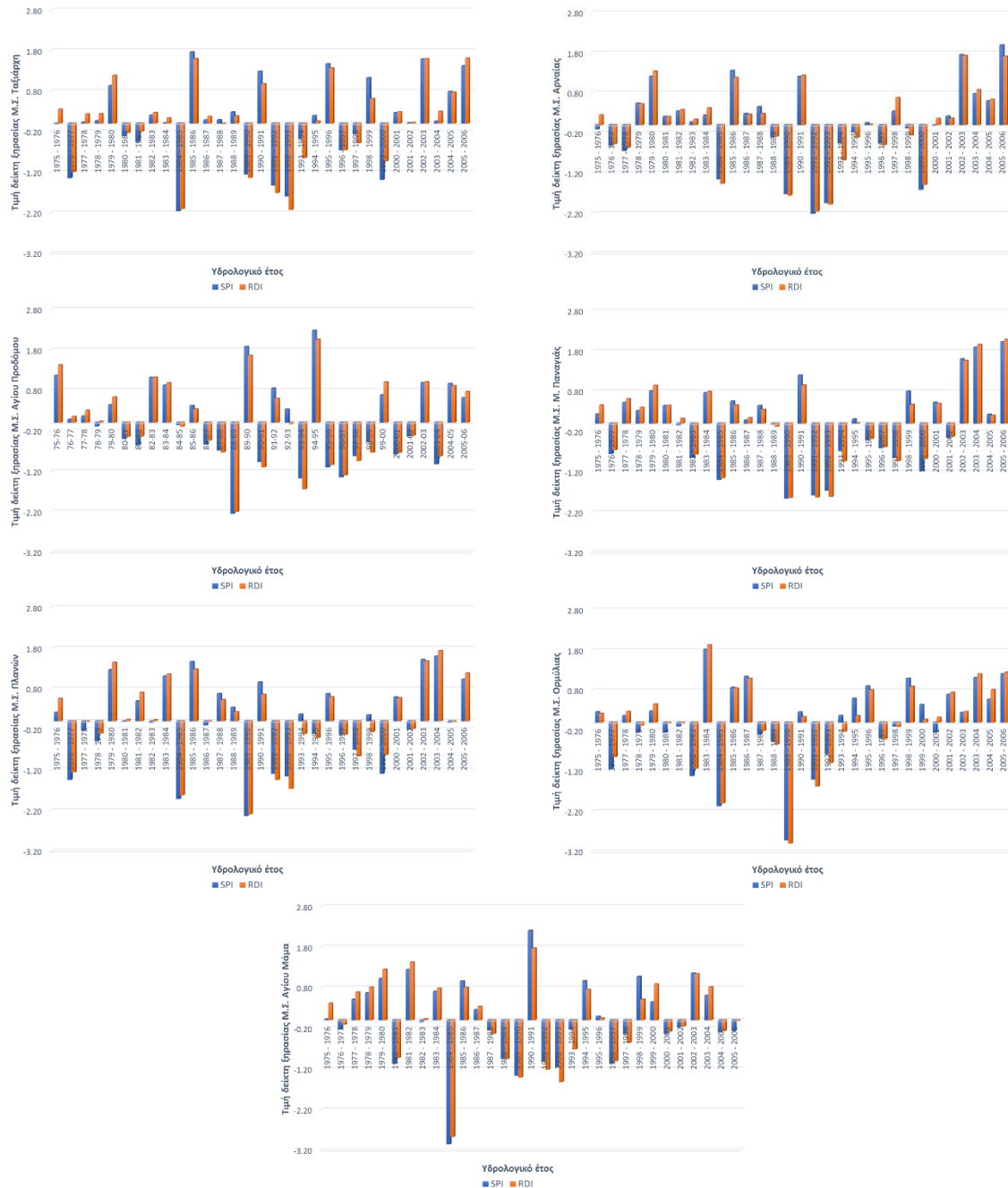
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Με τη βοήθεια του λογισμικού DrinC έγινε ο υπολογισμός των δεικτών SPI και RDI σε ετήσιο χρονικό βήμα στους επτά Μ.Σ. της περιοχής μελέτης, για τη χρονική περίοδο των υδρολογικών ετών 1975-76 μέχρι 2005-06 όπως φαίνεται στο Σχήμα 3. Όπως φαίνεται από το Σχήμα μεταξύ των δεικτών δεν υπάρχουν σημαντικές αποκλίσεις στις τιμές τους. Στον Πίνακα 4, δίνεται ο αριθμός ετών των συμβάντων κάθε κλάσης των δεικτών SPI και RDI σε όλους τους Μ.Σ. της Π.Ε. Χαλκιδικής.

Πίνακας 4. Αριθμός ετών των συμβάντων κάθε κλάσης των δεικτών SPI και RDI σε όλους τους Μ.Σ. της Π.Ε. Χαλκιδικής

	Ταξιάρχης		Αρναία		Αγ. Πρόδρομος		Μεγ. Παναγιά		Πλανά		Ορμούλια		Αγ. Μάμας	
	SPI	RDI	SPI	RDI	SPI	RDI	SPI	RDI	SPI	RDI	SPI	RDI	SPI	RDI
<i>Εξαιρετικά υγρό</i>	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0
<i>Πολύ υγρό</i>	2	3	2	2	1	1	2	2	2	1	1	1	0	1
<i>Μέτρια υγρό</i>	4	2	3	3	2	4	1	0	4	5	4	3	4	3
<i>Σχεδόν κανονικό</i>	19	21	21	21	22	20	22	24	19	18	21	22	20	22
<i>Μέτρια ξηρό</i>	3	2	1	2	4	3	2	1	4	2	3	2	5	3
<i>Πολύ ξηρό</i>	2	1	3	2	0	1	3	3	1	2	0	1	0	1
<i>Εξαιρετικά ξηρό</i>	1	2	1	1	1	1	0	0	1	1	2	2	1	1
<i>Συνολικά ξηρό</i>	6	5	5	5	5	5	5	4	6	5	5	5	6	5

Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 4, ο δείκτης SPI κατά πλειοψηφία κατατάσσει τα έτη των Μ.Σ. ως σχεδόν κανονικά (19 έως 22 έτη), ενώ τα έτη με συνολική ξηρασία είναι παρόμοια για κάθε Μ.Σ (5 ή 6). Εξαιρετικά υγρά έτη βρέθηκαν μόνο στους σταθμούς του Αγ. Προδρόμου, της Μεγάλης Παναγιάς και του Αγ. Μάμα, ενώ εξαιρετικά ξηρά έτη δεν βρέθηκαν εκτός από το σταθμό της Μεγάλης Παναγιάς.

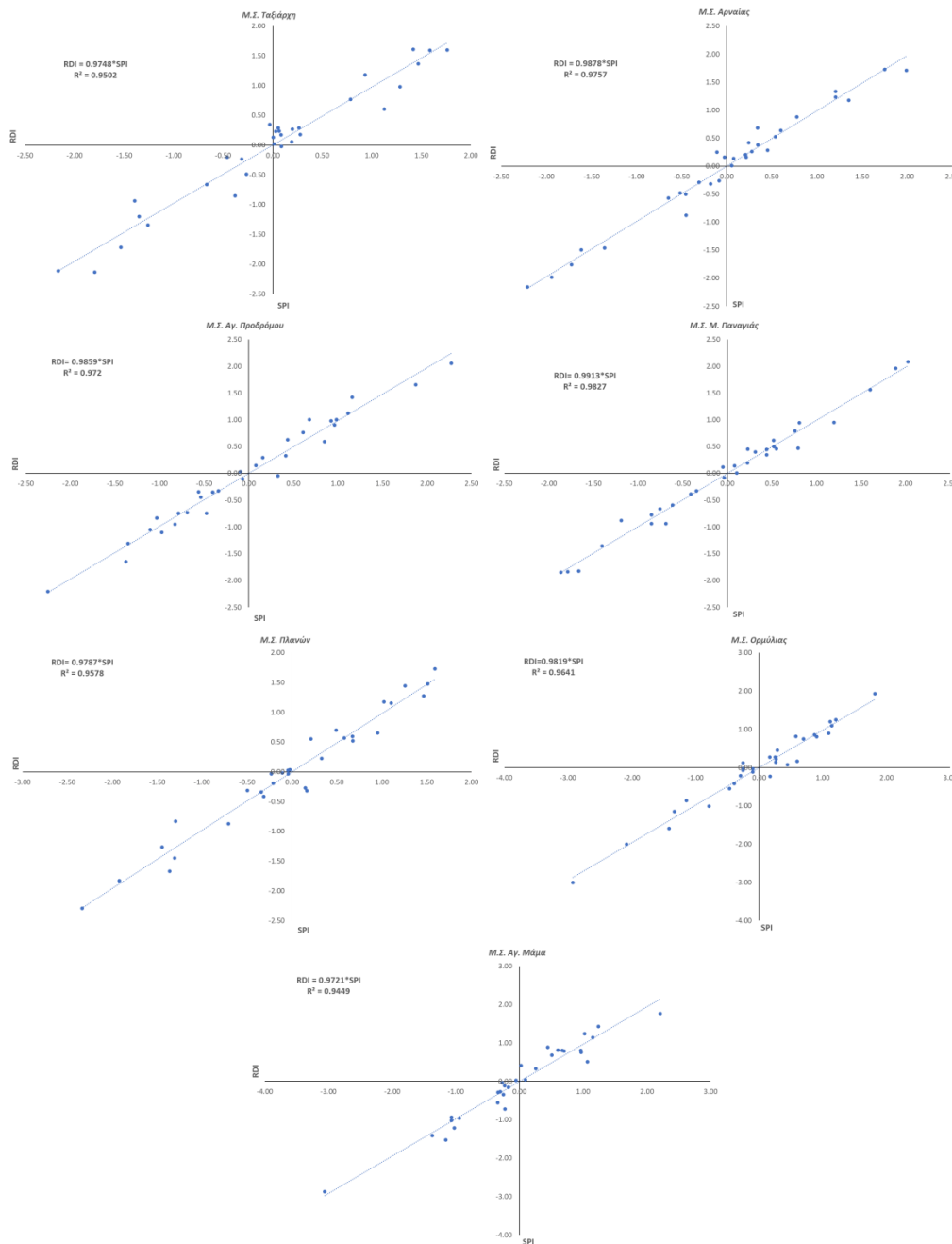


Σχήμα 3. Ετήσιες τιμές των δεικτών SPI και RDI στους επτά Μ.Σ. της περιοχής μελέτης για την περίοδο των υδρολογικών ετών 1975-76 μέχρι 2005-06

Επίσης, από τον Πίνακα 4, προκύπτει πως όπως και με τον δείκτη SPI, ο δείκτης RDI κατατάσσει τη πλειοψηφία των ετών ως σχεδόν κανονικά (18 έως 24 έτη), ενώ τα έτη με συνολική ξηρασία είναι παρόμοια σε όλους τους Μ.Σ. (4 έως 5 έτη). Επιπλέον, τα εξαιρετικά ξηρά έτη είναι σε όλους τους Μ.Σ. 1 έως 2, με εξαίρεση τον Μ.Σ. της Μεγάλης Παναγιάς που δεν έχει κανένα έτος.

Οι δύο δείκτες είναι φανερό ότι έχουν παρόμοια αποτελέσματα σε όλους τους Μ.Σ., δείχνοντας έτσι ότι υπάρχει έντονη συσχέτιση μεταξύ τους. Η συσχέτιση των τιμών των δεικτών SPI και RDI ελέγχθηκε για τους επτά Μ.Σ. όπως φαίνεται στο Σχήμα 4, ενώ σε κάθε σταθμό υπολογίστηκε και η σχέση συσχέτισης και ο συντελεστής προσδιορισμού. Όπως προκύπτει από το Σχήμα 4, εμφανίζεται ισχυρή συσχέτιση μεταξύ των δεικτών και το

γεγονός αυτό αποδεικνύεται και από τη γραμμική σχέση στην οποία ο συντελεστής είναι σχεδόν ίσος με τη μονάδα και ο σταθερός όρος μηδενικός καθώς και από τις τιμές των συντελεστών προσδιορισμού R^2 οι οποίες κυμαίνονται από 0.94 έως και 0.98.



Σχήμα 4. Συσχέτιση τιμών των δεικτών SPI και RDI στους επτά Μ.Σ. της Π.Ε. Χαλκιδικής

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι δείκτες ξηρασίας συμβάλουν στη μελέτη της ξηρασίας, στον εντοπισμό της έντασης αλλά και των γενικότερων χαρακτηριστικών της. Έτσι, με την ανάλυση των ιστορικών δεδομένων και την εύρεση των επεισοδίων ξηρασίας είναι δυνατόν να αναλυθούν τα διάφορα επεισόδια ξηρασίας του παρόντος ή ακόμα και να μπορέσουν να προβλεφθούν για το μέλλον επιτυγχάνοντας έτσι καλύτερη και έγκαιρη διαχείριση της ξηρασίας. Παρακολουθώντας τις τιμές των δεικτών ξηρασίας μπορεί να γίνει η πρόβλεψη μελλοντικών

επεισοδίων ξηρασίας και να υπολογιστεί ο κατάλληλος όγκος νερού άρδευσης που θα χρειαστεί όσο διανύεται η περίοδος ξηρασίας. Σύμφωνα με τις τιμές των δεικτών στους επτά Μ.Σ. της Π.Ε. Χαλκιδικής, η πλειοψηφία των ετών χαρακτηρίζονται ως σχεδόν κανονικά, ενώ τα έτη που χαρακτηρίζονται με ύπαρξη ξηρασίας (είτε μέτρια, είτε πολύ, είτε εξαιρετική) δεν ξεπερνούν τα 6 έτη σε κανέναν από τους Μ.Σ. για την χρονική περίοδο των 31 ετών. Επομένως, το μεγαλύτερο ποσοστό των ετών της περιόδου που μελετήθηκε δεν χαρακτηρίζεται από ύπαρξη ξηρασίας. Όσον αφορά τους δείκτες μεταξύ τους, από τους υπολογισμούς αλλά και από τους συντελεστές προσδιορισμού, είναι φανερό ότι υπάρχει εξαιρετική συσχέτιση των δεικτών όσον αφορά τις ετήσιες τιμές τους (με συντελεστή προσδιορισμού πάνω από 0.94). Εφόσον δεν παρατηρείται σημαντική απόκλιση μεταξύ των δεικτών, ακόμα και αν δεν υπάρχουν δεδομένα θερμοκρασίας για τον υπολογισμό της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, μπορεί να υπολογιστεί μόνο ο δείκτης SPI, ο οποίος δεν απαιτεί δεδομένα θερμοκρασίας, και να δώσει παρόμοια αποτελέσματα με αυτά του δείκτη RDI.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Γεωργίου, Π.Ε., Παπαμιχαήλ, Δ. και Παπάρας, Δ., 2013. *Προσομοίωση Δεικτών Ξηρασίας με τη Χρήση Στοχαστικών Μοντέλων*. Πρακτικά 8^{ου} Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, Βόλος, 103-109.
- Heim Jr, R. R. 2002. *A review of twentieth-century drought indices used in the United States*. Bulletin of the American Meteorological Society, 83(8), 1149-1166.
- Κωτσοβίνος, Ν., Αγγελίδης, Π., 2009. *Η Περιβαλλοντική σημασία του δείκτη ξηρασίας SPI: Προτάσεις εναλλακτικού στατιστικού υπολογισμού του*. Υδρογαία, Τιμητικός Τόμος στον καθηγητή κ. Χ. Τζιμόπουλο, Επ. Έκδοση: Σ. Γιαννόπουλος, Θεσσαλονίκη
- McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. 1993. *The relationship of drought frequency and duration to time scales*. In Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology (Vol. 17, No. 22, pp. 179-183).
- Μπαλτάς, Α. Ε., 2013. *Εφαρμοσμένη Μετεωρολογία*. Εκδόσεις Ζήτη, 2^η Έκδοση Αναθεωρημένη.
- Tigkas, D., Vangelis, H., & Tsakiris, G. 2015. *DrinC: a software for drought analysis based on drought indices*. Earth Science Informatics, 8(3), 697-709.
- Tsakiris, G., Pangalou, D., & Vangelis, H. 2007. *Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI)*. Water resources management, 21(5), 821-833.
- Tsakiris, G., Nalbantis, I., Vangelis, H., Verbeiren, B., Huysmans, M., Tychon, B., ... & Batelaan, O. 2013. *A system-based paradigm of drought analysis for operational management*. Water resources management, 27(15), 5281-5297.
- Vangelis, H., Tigkas, D., & Tsakiris, G. 2013. *The effect of PET method on reconnaissance drought index (RDI) calculation*. Journal of Arid Environments, 88, 130-140.
- Wilhite D. A., & Glantz N. H., 1985. *Understanding the drought phenomenon: The role of definitions*. Water International, 10, 111-120.
- WMO (World Meteorological Organization) 1986. *The Global Climate System, A Contribution to the Global Environmental Monitoring System*. CSM R84 /86. Geneva: World Meteorological Organization.

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΟΣ ΕΜΠΕΙΡΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΤΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ ΑΠΟ ΓΥΜΝΟ ΕΔΑΦΟΣ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ

Γ. Κάργας, Σ. Πάλλη-Γραβάνη, Α. Κοσίρη, Π. Λόντρα

Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής,
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ιερά Οδός 75, 11855, Αθήνα, Ελλάδα, e-mail: kargas@aua.gr

Περίληψη

Η εξάτμιση του νερού από το έδαφος αποτελεί σημαντικό παράγοντα του υδατικού ισοζυγίου της εδαφικής κατατομής, καθώς σε πολλές περιπτώσεις ένα μέρος της επιφάνειας του εδάφους παραμένει ακάλυπτο από βλάστηση κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου ή η επιφάνεια παραμένει εξ ολοκλήρου γυμνή από βλάστηση για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Η ποσοτικοποίηση όμως της εξάτμισης στον αγρό αποτελεί πολύπλοκη και δύσκολη διαδικασία. Για αυτό το λόγο, γίνεται πολλές φορές χρήση ενός μαθηματικού μοντέλου υπολογισμού της εξάτμισης, το οποίο συσχετίζει γραμμικά την αθροιστική εξάτμιση με την τετραγωνική ρίζα του χρόνου. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη του φαινομένου της εξάτμισης του νερού από ένα γυμνό έδαφος, της επίδρασης της αρχικής υγρασίας στην αθροιστική εξάτμιση και ο έλεγχος της εγκυρότητας του προαναφερθέντος μαθηματικού μοντέλου σε εργαστηριακές συνθήκες.

Λέξεις Κλειδιά: Εξάτμιση, στάδια εξάτμισης, υγρασία εδάφους, ιλοαργιλοπηλώδες έδαφος, αμμοπηλώδες έδαφος

ASSESSMENT OF AN EMPIRICAL MODEL DESCRIBING THE PHENOMENON OF EVAPORATION FROM BARE SOIL IN LABORATORY CONDITIONS

G. Kargas, S. Palli-Gravani, A. Kotsiri, P. Londra

Laboratory of Agricultural Hydraulics, Department of Natural Resources Management & Agricultural Engineering, Agricultural University of Athens, Iera Odos 75, 11855, Athens, Greece,
e-mail: kargas@aua.gr

Abstract

Soil water evaporation is an important factor in the water balance of the soil profile, as in many cases a part of the soil remains uncovered by vegetation during the growing season or remains completely bare of vegetation for long periods of time. However, quantifying evaporation in the field is a complex and difficult process. For this reason, it is preferable to use a mathematical model for calculating the evaporation that linearly correlates cumulative evaporation with the square root of time. The purpose of this work is to study the phenomenon of water evaporation from a bare soil, the effect of initial moisture content on cumulative evaporation and to check the validity of the aforementioned mathematical model in laboratory conditions.

Keywords: Evaporation, evaporation stages, soil water content, silty clay loam soil, sandy clay soil

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Εξάτμιση είναι η διεργασία κατά την οποία το νερό μετατρέπεται από υγρό σε αέριο. Συγκεκριμένα, ως εξάτμιση νερού από ένα γυμνό έδαφος ορίζεται η διαδικασία απώλειας νερού υπό τη μορφή των υδρατμών από την επιφάνεια του εδάφους προς την ατμόσφαιρα. Το φαινόμενο της εξάτμισης πραγματοποιείται συνεχώς υπό την προϋπόθεση ύπαρξης αρνητικής κλίσης της συγκέντρωσης των υδρατμών κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Βασική πηγή για την κάλυψη των αναγκών της εξάτμισης σε θερμότητα είναι η ηλιακή ακτινοβολία. Ο άνεμος είναι ο βασικός παράγοντας διατήρησης της αρνητικής κλίσης πίεσης των υδρατμών προκειμένου να συνεχισθεί η εξάτμιση (Πουλοβασίλης, 2010).

Σύμφωνα με τους Lal and Shukla (2004), όταν υπάρχει επάρκεια νερού και σχετικά σταθερές ατμοσφαιρικές συνθήκες, η εξάτμιση πραγματοποιείται σε τρία στάδια. Κατά το πρώτο στάδιο, όπου η περιεκτικότητα σε υγρασία του εδάφους είναι υψηλή, δηλαδή μετά από βροχόπτωση ή άρδευση, η ταχύτητα εξάτμισης είναι σταθερή και εξαρτάται από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες της περιοχής. Η διάρκεια του σταδίου αυτού είναι μεγαλύτερη σε λεπτόκοκκα εδάφη επειδή αυτά χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερες τιμές υγρασίας κοντά στον κορεσμό συγκριτικά με τα χονδρόκοκκα εδάφη. Η στιγμή κατά την οποία η μείωση της υδραυλικής αγωγιμότητας δεν μπορεί πλέον να αντισταθμίσει την αύξηση της υδραυλικής κλίσης σηματοδοτεί το τέλος του πρώτου σταδίου εξάτμισης (Lal and Shukla, 2004).

Η μετάβαση από το πρώτο στο δεύτερο στάδιο είναι απότομη. Σε αυτό το στάδιο, ο ρυθμός και η ταχύτητα εξάτμισης μειώνονται σταδιακά με τον χρόνο και εξαρτώνται από τις υδραυλικές ιδιότητες του εδάφους. Η μεγαλύτερη ποσότητα νερού που εξατμίζεται παρατηρείται συνήθως κατά το δεύτερο στάδιο, καθώς η εξάτμιση στο πρώτο στάδιο διατηρείται για μικρότερο χρονικό διάστημα (Brutsaert and Chen, 1995).

Το τρίτο στάδιο εξάτμισης χαρακτηρίζεται από πολύ μικρές ταχύτητες εξάτμισης και η μετάβαση από το δεύτερο στο τρίτο στάδιο γίνεται ομαλά.

Ο ρυθμός εξάτμισης κατά το δεύτερο στάδιο δίνεται από την εξίσωση (Gardner, 1959)

$$E = (\theta_i - \theta_o)(\bar{D}/\pi t)^{1/2} \quad (1)$$

όπου \bar{D} ο σταθμισμένος μέσος όρος της διαχυτικότητας, θ_i η αρχική περιεκτικότητα σε νερό, θ_o η τελική περιεκτικότητα σε νερό με $\theta_o < \theta_i$ και t ο χρόνος.

Η αθροιστική εξάτμιση δίνεται από την εξίσωση (Black et al., 1969)

$$E_c = 2(\theta_i - \theta_o)(\bar{D}/\pi t)^{1/2} \quad (2)$$

Εφόσον η \bar{D} θεωρείται σταθερή, τότε η εξίσωση παίρνει τη μορφή

$$E_c = S_d t^{1/2} \quad (3)$$

$$\text{όπου } S_d = 2(\theta_i - \theta_o)(\bar{D}/\pi)^{1/2} \quad (4)$$

Από τις σχέσεις (2) και (3) παρατηρείται πως η αθροιστική εξάτμιση κατά το δεύτερο στάδιο της εξάτμισης είναι ανάλογη της τετραγωνικής ρίζας του χρόνου. Επομένως, η σχέση που δίνει την αθροιστική εξάτμιση σε σχέση με την τετραγωνική ρίζα του χρόνου είναι γραμμική και ο συντελεστής αναλογίας ορίζεται σαν *desorptivity* S_d κατ' αναλογία με την *sorptivity* η οποία σχετίζεται με το φαινόμενο της διήθησης (Parlange et al., 1985).

Οι σχέσεις (1) και (2) αποκτήθηκαν από την επίλυση της εξίσωσης μονοδιάστατης ακόρεστης ροής σε ομοιογενές έδαφος αγνοώντας την βαρύτητα (Gardner, 1959).

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η εξέταση του φαινομένου της εξάτμισης νερού από γυμνό έδαφος σε εργαστηριακές συνθήκες και των παραγόντων που επιδρούν στο φαινόμενο. Παράλληλα, πραγματοποιείται αξιολόγηση ενός μοντέλου που περιγράφει την εξάτμιση νερού από πορώδες μέσο σε σύγκριση με τα αποτελέσματα της πειραματικής διαδικασίας. Επίσης, μελετήθηκε η επίδραση της αρχικής περιεκτικότητας σε υγρασία του

πορώδους μέσου στην μεταβολή των παραμέτρων που περιγράφουν το φαινόμενο της εξάτμισης νερού από γυμνό έδαφος. Τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη συσχετίζονται με την εξάτμιση που παρατηρείται από γυμνά εδάφη χωρίς παρουσία υδροφόρου ορίζοντα.

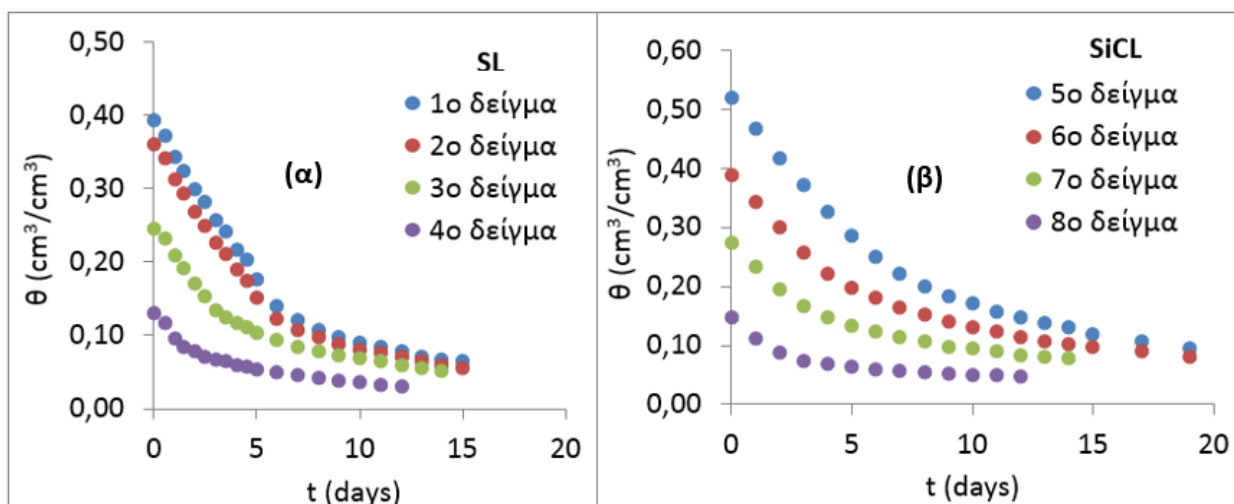
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Πραγματοποιήθηκε πείραμα όπου μελετήθηκαν τα στάδια και ο ρυθμός εξάτμισης σε δύο διαταραγμένα εδαφικά δείγματα, αμμοπηλώδους (SL) και ιλυοαργιλοπηλώδους (SiCL) κοκκομετρικής σύστασης, για τέσσερις διαφορετικές περιεκτικότητες αρχικής υγρασίας σε εργαστηριακές συνθήκες. Τα εδαφικά δείγματα τοποθετήθηκαν σε κυλίνδρους και το ύψος των δειγμάτων ήταν 100 mm ενώ η διάμετρος τους 70 mm. Σε κάθε δείγμα προστέθηκε διαφορετικός όγκος νερού με τη χρήση προχοϊδας προκειμένου να διερευνηθεί η επίδραση της αρχικής περιεκτικότητας σε υγρασία του εδάφους. Το ύψος νερού που προστέθηκε αντιστοιχούσε σε 26.2, 24.0, 16.2 και 8.1 mm για τα δείγματα 1, 2, 3, και 4 του SL, ενώ για τα δείγματα 5, 6, 7 και 8 του SiCL ήταν 48, 35.1, 23.3 12.9 mm, αντίστοιχα. Οι αρχικές υγρασίες που διαμορφώθηκαν σε κάθε έδαφος ήταν 0.392, 0.361, 0.246 και 0.130 cm^3/cm^3 για τα δείγματα 1, 2, 3, και 4 του SL, ενώ για τα δείγματα 5, 6, 7 και 8 του SiCL ήταν 0.518, 0.391, 0.271 και 0.151 cm^3/cm^3 , αντίστοιχα. Η μέτρηση της ημερήσιας εξάτμισης πραγματοποιήθηκε βαρυμετρικά. Στην αρχή του πειράματος οι μετρήσεις γίνονταν δύο φορές την ημέρα, λόγω του υψηλού ρυθμού εξάτμισης του νερού από τα δείγματα ειδικά στην περίπτωση των υψηλών αρχικών υγρασιών. Από την 6^η ημέρα και μετά οι μετρήσεις γίνονταν μία φορά την ημέρα, λόγω του σταδιακά μειούμενου ρυθμού εξάτμισης. Όταν η περιεκτικότητα σε υγρασία κατ' όγκο των δειγμάτων έφτασε σε μια τιμή μεταξύ 0.01 και 0.05 cm^3/cm^3 σταμάτησε η διαδικασία των ζυγίσεων. Το SiCL έδαφος είχε φαινομενική πυκνότητα ρ_ϕ ίση με 1.23 g/cm^3 και υγρασία στον κορεσμό θ_s ίση με 0.518 cm^3/cm^3 , ενώ το SL έδαφος είχε φαινομενική πυκνότητα ρ_ϕ ίση με 1.41 g/cm^3 και υγρασία στον κορεσμό θ_s ίση με 0.47 cm^3/cm^3 . Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας (23 °C).

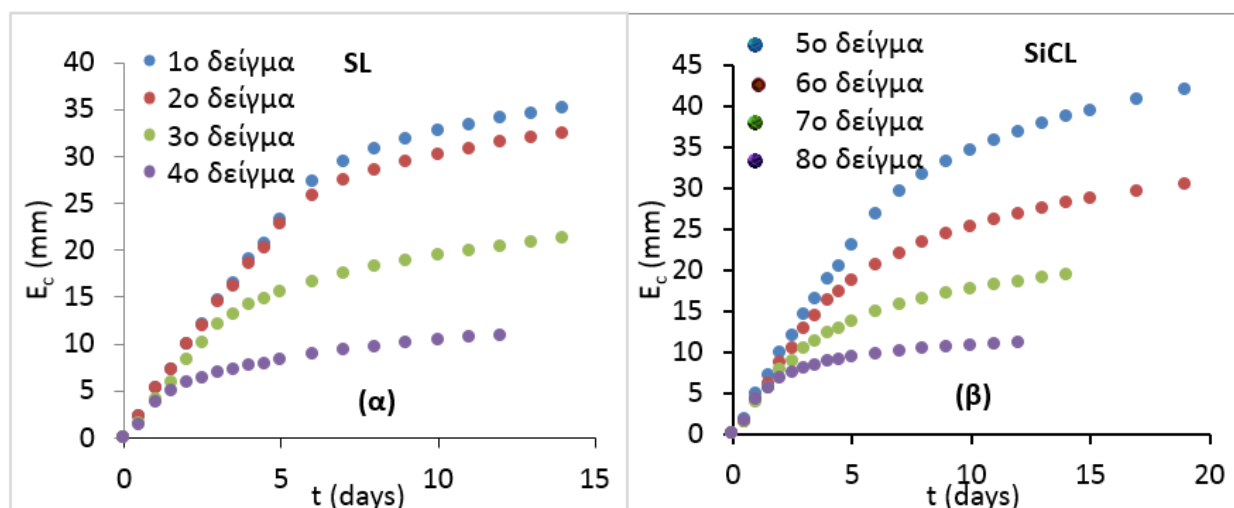
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1. Μεταβολή της υγρασίας των εδαφικών δειγμάτων με το χρόνο

Η μεταβολή της περιεκτικότητας σε υγρασία με το χρόνο είναι συνάρτηση της αρχικής περιεκτικότητας σε νερό και της κοκκομετρικής σύστασης του εδάφους. Στο Σχήμα 1 απεικονίζεται η μεταβολή της περιεκτικότητας σε υγρασία των δειγμάτων σε συνάρτηση με το χρόνο. Στο Σχήμα 2 απεικονίζεται η αθροιστική εξάτμιση E_c σε συνάρτηση με το χρόνο t για όλα τα δείγματα σε όλα τα στάδια της εξάτμισης νερού.



Σχήμα 1: Μεταβολή της περιεκτικότητας σε υγρασία (θ) των δειγμάτων συναρτήσει του χρόνου (t) για τα δείγματα: (α) 1, 2, 3, 4 του αμμοπηλώδους εδάφους (SL) και (β) 5, 6, 7, 8 του ιλυοαργιλοπηλώδους εδάφους (SiCL).



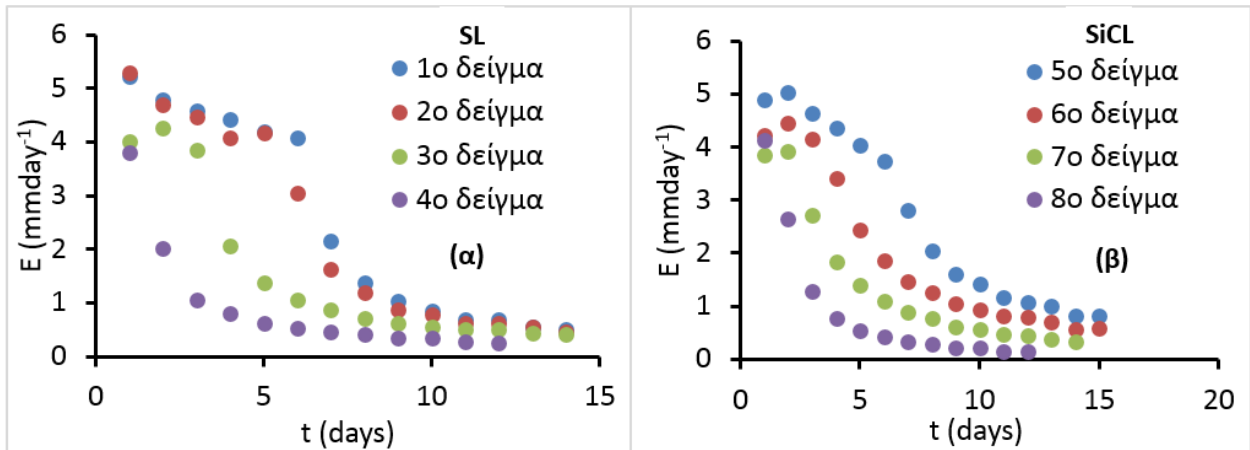
Σχήμα 2: Μεταβολή αθροιστικής εξάτμισης (E_c) συναρτήσει του χρόνου (t) σε όλα τα στάδια της εξάτμισης νερού για τα δείγματα: (α) 1, 2, 3, 4 του αμμοπηλώδους εδάφους (SL) και (β) 5, 6, 7, 8 του ιλυοαργιλοπηλώδους εδάφους (SiCL).

3.2. Προσδιορισμός πρώτου σταδίου εξάτμισης

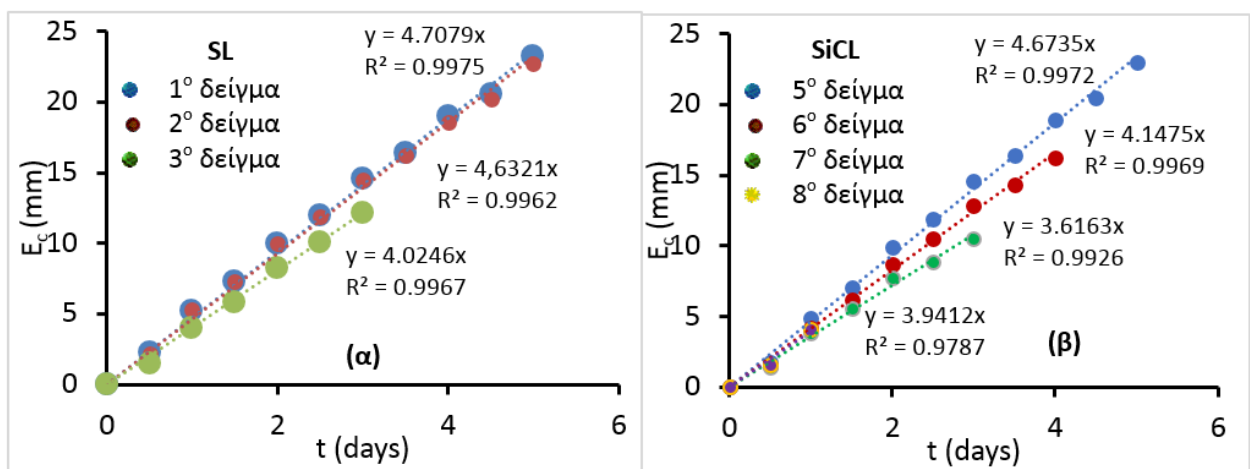
Ο προσδιορισμός των σταδίων εξάτμισης πραγματοποιείται βάσει του ρυθμού εξάτμισης του νερού από τα δείγματα. Στο Σχήμα 3 είναι εμφανής η διαφοροποίηση μεταξύ των δειγμάτων στα οποία φαίνεται ο ρυθμός εξάτμισης νερού σε συνάρτηση με τον χρόνο. Είναι φανερό ότι η διάρκεια του πρώτου σταδίου είναι συνάρτηση της αρχικής περιεκτικότητας σε νερό και διαφέρει για κάθε δείγμα. Αναλυτικότερα, η διάρκεια του σταδίου αυτού για τα δείγματα 1 και 5 με τις υψηλότερες αρχικές υγρασίες ήταν 5 ημέρες, ενώ για τα δείγματα με τις χαμηλότερες αρχικές υγρασίες, η διάρκεια του πρώτου σταδίου ήταν πολύ μικρή. Το αθροιστικό ύψος νερού που χάθηκε κατά το πρώτο στάδιο δίνεται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 8: Αθροιστικό ύψος νερού που εξατμίστηκε από τα εδαφικά δείγματα κατά το πρώτο στάδιο εξάτμισης.

Εδαφικά δείγματα	Αμμοπηλώδες έδαφος				Ιλυοαργιλοπηλώδες έδαφος			
	1	2	3	4	5	6	7	8
Αθροιστικό ύψος νερού 1 ^{ου} σταδίου (mm)	23.20	22.70	12.13	3.79	22.97	16.25	10.50	4.13



Σχήμα 3: Μεταβολή της ταχύτητας εξάτμισης (E) συναρτήσει του χρόνου (t) για τα δείγματα: (α) 1, 2, 3, 4 του αμμοπηλώδους εδάφους (SL) και (β) 5, 6, 7, 8 του ιλυοαργιλοπηλώδους εδάφους (SiCL).



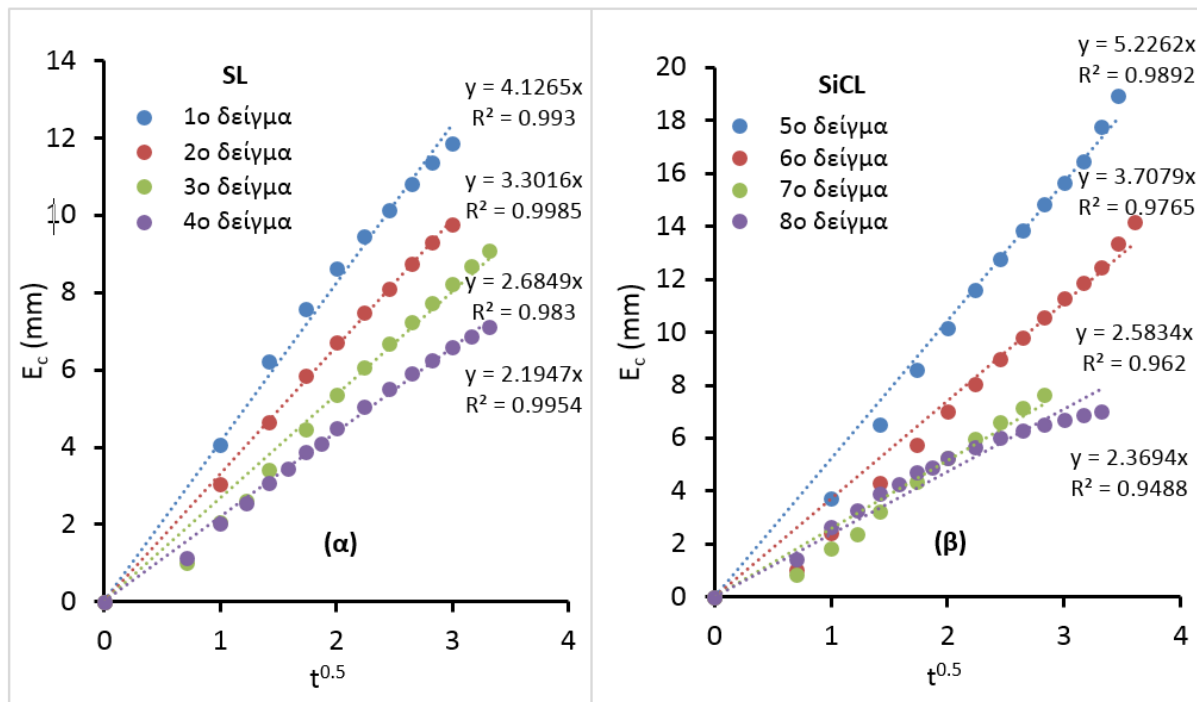
Σχήμα 4: Σχέση της αθροιστικής εξάτμισης (E_c) συναρτήσει του χρόνου (t) κατά τη διάρκεια του πρώτου σταδίου εξάτμισης για τα δείγματα: (α) 1, 2, 3, 4 του αμμοπηλώδους εδάφους (SL) και (β) 5, 6, 7, 8 του ιλυοαργιλοπηλώδους εδάφους (SiCL).

Στο Σχήμα 4 απεικονίζεται η σχέση της αθροιστικής εξάτμισης E_c με το χρόνο για κάθε εδαφικό δείγμα για το πρώτο στάδιο εξάτμισης. Παρατηρείται πως η σχέση στο στάδιο αυτό είναι γραμμική και της μορφής $y=ax$. Η κλίση a για κάθε δείγμα είναι διαφορετική και ανάλογη της αρχικής υγρασίας. Η ευθεία που περιγράφει τη σχέση της αθροιστικής εξάτμισης με το χρόνο του 1^{ου} και 5^{ου} δείγματος εμφανίζει τη μεγαλύτερη κλίση, ίση με 4.7079 και 4.6735, αντίστοιχα, ενώ η ευθεία που απεικονίζει τη σχέση του 3^{ου} και 8^{ου} δείγματος έχει τη μικρότερη κλίση, ίση με 4.0246 και 3.6163, αντίστοιχα (Σχήμα 4α,β). Για το δείγμα 4 δεν απεικονίζεται η σχέση στο Σχήμα 4α λόγω απουσίας του πρώτου σταδίου,

εξαιτίας της χαμηλής αρχικής υγρασίας. Η σχέση E_c-t είναι ισχυρά γραμμική σε όλες τις περιπτώσεις ($0.9787 < R^2 < 0.9975$).

3.3. Προσδιορισμός δεύτερου σταδίου εξάτμισης

Η περιεκτικότητα σε υγρασία των δειγμάτων στην αρχή του δεύτερου σταδίου εξάτμισης ταυτίζεται με την υγρασία που έχει το κάθε δείγμα στο τέλος του πρώτου σταδίου εξάτμισης. Πιο συγκεκριμένα, η τιμή της περιεκτικότητας σε υγρασία του δείγματος 1 κατά την πρώτη ημέρα του δεύτερου σταδίου εξάτμισης ήταν $0.163 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, και του δείγματος 2 ήταν $0.136 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$. Για τα δείγματα 3 και 4 η περιεκτικότητα σε υγρασία ήταν $0.121 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ και $0.081 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, αντίστοιχα. Όμοια, η τιμή της περιεκτικότητας σε υγρασία του δείγματος 5 ήταν $0.286 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ και του δείγματος 6 ήταν $0.225 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$. Για τα δείγματα 7 και 8 η περιεκτικότητα σε υγρασία ήταν $0.163 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ και $0.114 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, αντίστοιχα.



Σχήμα 5: Μεταβολή της αθροιστικής εξάτμισης (E_c) σε συνάρτηση με την τετραγωνική ρίζα του χρόνου ($t^{0.5}$) στο δεύτερο στάδιο εξάτμισης για τα δείγματα: (α) 1, 2, 3, 4 του αμμοπηλώδους εδάφους (SL) και (β) 5, 6, 7, 8 του ιλυοαργιλοπηλώδους εδάφους (SiCL).

Στο Σχήμα 5 παρουσιάζεται η σχέση της αθροιστικής εξάτμισης E_c με την τετραγωνική ρίζα του χρόνου $t^{0.5}$ για κάθε εδαφικό δείγμα για το δεύτερο στάδιο εξάτμισης. Διαπιστώνεται ότι η σχέση αυτή είναι γραμμική, όπως έχει διατυπωθεί και στη βιβλιογραφία. Ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 έχει υψηλές τιμές, γεγονός που δείχνει ότι η σχέση είναι ισχυρά γραμμική. Η κλίση κάθε ευθείας είναι διαφορετική και προσδιορίζει την τιμή της *desorptivity*. Οι τιμές της κλίσης των ευθειών ισούνται με 4.1265, 3.3016, 2.6849 και 2.1947 για τα δείγματα 1, 2, 3 και 4, αντίστοιχα, και 5.2262, 3.7079, 2.5834 και 2.3694 για τα δείγματα 5, 6, 7 και 8 αντίστοιχα. Παρατηρείται ότι το 1^ο και 5^ο δείγμα με τη μεγαλύτερη αρχική υγρασία εμφανίζει τη μεγαλύτερη κλίση, ενώ το 4^ο και 8^ο δείγμα με τη μικρότερη αρχική υγρασία εμφανίζει τη μικρότερη κλίση, δηλαδή είναι ανάλογη της αρχικής υγρασίας των δειγμάτων. Το αθροιστικό ύψος νερού που χάθηκε κατά το δεύτερο στάδιο δίνεται στον Πίνακα 2.

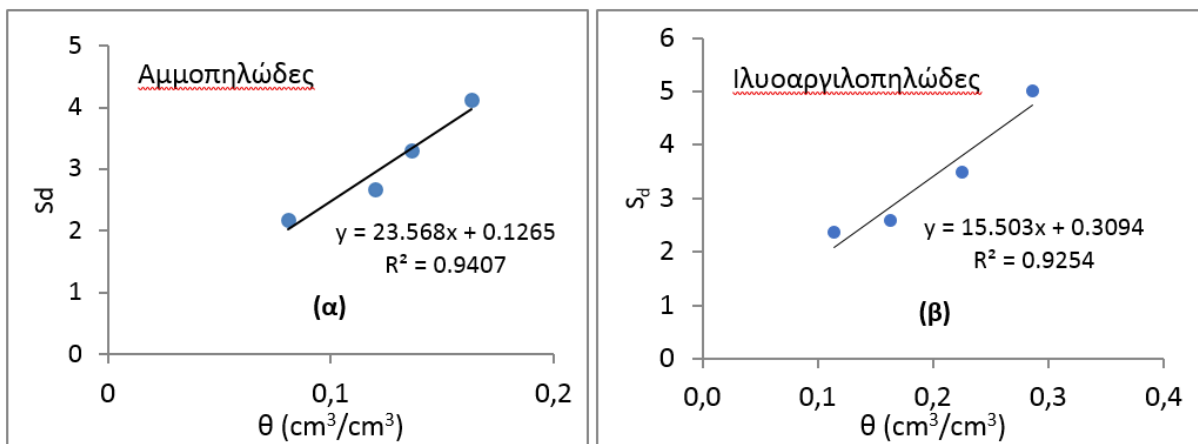
Πίνακας 2: Αθροιστικό ύψος νερού που εξατμίστηκε κατά το δεύτερο στάδιο.

Εδαφικά δείγματα	Αμμοπηλώδες έδαφος				Ιλυοαργιλοπηλώδες έδαφος			
	1	2	3	4	5	6	7	8
Αθροιστικό ύψος νερού 2 ^{ου} σταδίου (mm)	15.67	11.86	8.80	7.02	11.88	9.77	9.08	7.13

Από την σύγκριση των τιμών της αθροιστικής εξάτμισης κατά το πρώτο και το δεύτερο στάδιο της εξάτμισης φαίνεται ότι εκτός των περιπτώσεων 4 και 8 όπου υπερτερεί η αθροιστική εξάτμιση κατά το δεύτερο στάδιο σε όλες τις άλλες περιπτώσεις υπερτερεί η εξάτμιση κατά το πρώτο στάδιο. Συνεπώς στις ξηρές και ημίξηρες περιοχές όπου είναι σχετικά σπάνια η υψηλή αρχική υγρασία ειδικά λόγω βροχοπτώσεων, οι απώλειες νερού εντοπίζονται κυρίως κατά το δεύτερο στάδιο της εξάτμισης.

3.4. Διερεύνηση της σχέσης του συντελεστή αναλογίας (*desorptivity*) με την αρχική περιεκτικότητα σε υγρασία του δεύτερου σταδίου εξάτμισης

Από τη συσχέτιση της κλίσης των ευθειών στο Σχήμα 5 και της περιεκτικότητας σε αρχική υγρασία των δειγμάτων προέκυψε ισχυρή γραμμική συσχέτιση της μορφής $y=ax+b$. Για το αμμοπηλώδες έδαφος προέκυψε $a=23.568$ και $b=0.126$ (Σχήμα 6α), ενώ για το ιλυοαργιλοπηλώδες $a=15.503$ και $b=0.3094$ (Σχήμα 6β). Ο συντελεστής R^2 στις δύο γραμμικές σχέσεις είχε υψηλές τιμές, 0.9407 για το αμμοπηλώδες και 0.9254 για το ιλυοαργιλοπηλώδες έδαφος. Επομένως, η σχέση που συνδέει τη *desorptivity* με την αρχική περιεκτικότητα σε υγρασία του δεύτερου σταδίου εξάτμισης είναι γραμμική (Σχήμα 6).



Σχήμα 6: Σχέση της *desorptivity* (S_d) με την αρχική περιεκτικότητα σε υγρασία (θ) του δεύτερου σταδίου εξάτμισης για τα δείγματα του: (α) αμμοπηλώδους και (β) ιλυοαργιλοπηλώδους εδάφους.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η σχέση μεταξύ της αθροιστικής εξάτμισης και του χρόνου είναι γραμμική για το πρώτο στάδιο εξάτμισης. Το διάστημα του πρώτου σταδίου εξαρτάται από την αρχική περιεκτικότητα σε υγρασία, τις ατμοσφαιρικές συνθήκες της περιοχής και την κοκκομετρική σύσταση του εδάφους. Στο δεύτερο στάδιο εξάτμισης, ο ρυθμός εξάτμισης μειώνεται σταδιακά με το χρόνο και η σχέση της αθροιστικής εξάτμισης παρουσιάζει ισχυρά γραμμική σχέση με την τετραγωνική ρίζα του χρόνου. Η γραμμική αυτή συσχέτιση παρατηρείται ανεξαρτήτως της κοκκομετρικής σύστασης των δειγμάτων και της αρχικής περιεκτικότητας σε νερό.

Ο συντελεστής S_d , ο οποίος ισούται με την κλίση της ευθείας $E_c - t^{0.5}$ εξαρτάται από την αρχική περιεκτικότητα σε υγρασία του κάθε εδαφικού δείγματος στην αρχή του δεύτερου σταδίου εξάτμισης και τις υδραυλικές ιδιότητες του πορώδους μέσου αφού στην τιμή της S_d εμπεριέχεται η \bar{D} του πορώδους μέσου. Η γραμμική σχέση μεταξύ του συντελεστή S_d και της αρχικής περιεκτικότητας σε υγρασία για ένα συγκεκριμένο έδαφος, παρέχει τη δυνατότητα, όταν μπορεί να προσδιοριστεί η αρχική υγρασία, π.χ. με ένα διηλεκτρικό αισθητήρα, να μπορεί να προβλεφθεί η αθροιστική εξάτμιση από ένα γυμνό έδαφος.

Συμπερασματικά, τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης συμφωνούν με τα πορίσματα αντίστοιχων μελετών από τη βιβλιογραφία και διαπιστώνουν την εγκυρότητα του συγκεκριμένου μαθηματικού μοντέλου.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Black, T., Gardner, W. and Thurtell, G., 1969. *The prediction of Evaporation, Drainage, and Soil Water Storage for a Bare Soil*. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 33, 655-660.
- Brutsaert, W. and Chen, D., 1995. *Desorption and the two stages of drying of natural tallgrass prairie*. Water Resources Research, 31, 1305-1313.
- Gardner, H.R. and Gardner, W.R., 1969. *Relation of water application to evaporation and storage of soil water*. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 33, 192-196.
- Gardner, W. and Hillel, D., 1962. *The Relation of External Evaporative Conditions to the Drying of Soils*. Journal of Geophysical Research, 67, 4319-4325.
- Gardner, W.H., 1986. *Water Content*. Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Methods, 5.1, Second Edition. Arnold Klute.
- Gardner, W.R., 1959. *Solutions of the flow equation for the drying of soils and other porous media*. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 23, 183-187.
- Lal, R. and Shukla, M., 2004. *Principles of soil physics*. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Parlange, J.-Y., Vauclin, M., Haverkamp, R. and Lisle, I., 1985. *The relation between desorptivity and soil water diffusivity*. Soil Sci., 139, 458-461.
- Πουλοβασίλης, Α., 2010. *Εισαγωγή στις Αρδεύσεις*. Εκδόσεις Έμβρυο, Αθήνα.

ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΟΜΒΡΟΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΓΙΑ ΑΡΔΕΥΤΙΚΗ ΧΡΗΣΗ ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΜΠΙΓΚΟΝΙΑΣ

Π. Λόντρα¹, Ν. Θεοτοκάτος¹, Α. Θεοχάρης², Ν. Δέρκας¹

¹Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής, Γ.Π.Α., Ιερά Οδός 75, 11855, Αθήνα, Ελλάδα,

²Γενική Δ/νση Τροφίμων, ΥΠ.Α.Α.Τ., Μενάνδρου 22, 10552, Αθήνα, Ελλάδα

e-mail: v.londra@aua.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Προκειμένου να γίνει διαστασιολόγηση κλειστών ομβροδεξαμενών για άρδευση θερμοκηπιακής καλλιέργειας μπικόνιας στην Αττική, εφαρμόστηκε ένα μοντέλο ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου, χρησιμοποιώντας τα ημερήσια ύψη βροχόπτωσης χρονοσειράς 12 ετών (2008-2020) της περιοχής μελέτης και τις ημερήσιες αρδευτικές ανάγκες της καλλιέργειας. Η οροφή του θερμοκηπίου αποτέλεσε την επιφάνεια συλλογής του βρόχινου νερού και μελετήθηκαν οι περιπτώσεις επιφανειών 1000 έως 10000 m². Η ανάλυση των αποτελεσμάτων έδειξε ότι ομβροδεξαμενές χωρητικότητας από 100 έως 200 m³ ανά 1000 m² θερμοκηπίου είχαν συντελεστή αξιοπιστίας 65% έως 72%, αντίστοιχα, για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών των φυτών. Περαιτέρω αύξηση του συντελεστή αξιοπιστίας επιτυγχάνεται με δυσανάλογα μεγάλους όγκους δεξαμενών.

Λέξεις Κλειδιά: Μοντέλο υδατικού ισοζυγίου, συλλογή όμβριων υδάτων, αρδευτικές ανάγκες, αξιοπιστία, θερμοκήπιο

RAINWATER TANKS SIZING FOR IRRIGATION USE IN GREENHOUSE CULTIVATION OF BEGONIA

P. Londra¹, N. Theotokatos¹, A. Theocharis², N. Dercas¹

¹Laboratory of Agricultural Hydraulics, A.U.A., Iera Odos 75, 11855, Athens, Greece

²General Directorate of Food, Ministry of Rural Development and Food, Menandrou 22, 10552

Athens, Greece

e-mail: v.londra@aua.gr

Abstract

In order to size covered rainwater tanks for irrigation use in greenhouse cultivation of begonia in Athens (Attica, Greece), a daily water balance model was applied, using the daily rainfall depth values of a 12-year time series (2008-2020) of the study area and the daily water needs of the crop. The greenhouse roof assumed to be the rainwater collection area with values ranging from 1000 to 10000 m². The analysis of the results showed that rainwater harvesting tanks ranged from 100 to 200 m³ per 1000 m² greenhouse area had a reliability coefficient ranged from 65% to 72%, respectively, to meet the water needs of plants. Further increase of the reliability coefficient is carried out with disproportionately large volumes of tanks.

Keywords: Water balance model, rainwater harvesting, irrigation needs, reliability, greenhouse

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η συλλογή όμβριων υδάτων για αστική και γεωργική χρήση είναι μια τεχνική ευρέως διαδεδομένη σε αρκετές περιοχές του κόσμου, για πάνω από 4000 χρόνια. Αρκετοί πολιτισμοί στον κόσμο έχουν χρησιμοποιήσει την τεχνική της συλλογής του βρόχινου νερού, όπως η αρχαία Ελλάδα, η αρχαία Ρώμη και οι πολιτισμοί της Μέσης Ανατολής και της Ασίας (Angelakis, 2016; Yannopoulos et al., 2019; Londra et al., 2021).

Σήμερα, αποτελεί μια από τις πιο υποσχόμενες εναλλακτικές και αειφόρες λύσεις στο πρόβλημα της λειψυδρίας και των πιέσεων που δέχονται οι υδατικοί πόροι λόγω της κλιματικής μεταβλητότητας, της αστικοποίησης και του αυξανόμενου πληθυσμού, καθώς και της αυξημένης παραγωγής τροφίμων σε πολλές περιοχές του κόσμου και μπορεί να εφαρμοστεί σε ατομικό, αλλά και σε συλλογικό επίπεδο (Angelakis, 2016; Yannopoulos et al., 2019; Londra et al., 2021).

Στην Ελλάδα επιβάλλεται νομοθετικά η κατασκευή δεξαμενών συλλογής όμβριων υδάτων για αστική χρήση σε 27 νησιά του Αιγαίου (ΦΕΚ 732/Δ/7-7-1993, ΦΕΚ 402/Δ/17-5-2002), ενώ επιτρέπεται η κατασκευή τους σε όλες τις περιοχές της Κρήτης, με την προϋπόθεση ότι θα χρησιμοποιούν μόνο το νερό της απορροής των θερμοκηπίων ή κτιριακών εγκαταστάσεων και μόνο για την άρδευση των ίδιων θερμοκηπίων (ΦΕΚ 2055/Β/18-09-2015).

Με τη γεωργία να είναι ο κύριος καταναλωτής νερού, περίπου το 85% της ετήσιας κατανάλωσης νερού (Υπουργείο Ανάπτυξης, 2003) και την αυξημένη πίεση στους υδατικούς πόρους σε πολλές περιοχές της χώρας, η κατασκευή και η χρήση δεξαμενών ομβρίων είναι μια εναλλακτική και βιώσιμη λύση για την εξεύρεση νερού.

Σε πρόσφατη εργασία τους οι Velasco-Munoz et al. (2019) πραγματοποίησαν μια ανάλυση της παγκόσμιας έρευνας πάνω στα συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων για γεωργική χρήση τα τελευταία είκοσι χρόνια. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι ερευνητικές προσπάθειες πρέπει να αυξηθούν για να αποκτηθεί μεγαλύτερη γνώση σχετικά με την ικανότητα των συστημάτων συλλογής όμβριων υδάτων να καλύψουν ανάγκες άρδευσης σε διαφορετικούς τύπους καλλιέργειας. Επίσης, επεσήμαναν ότι οι θερμοκηπιακές καλλιέργειες έχουν πολύ χαμηλό επίπεδο υιοθέτησης της τεχνικής της ομβροσυλλογής, αν και έχουν τεράστια δυνατότητα να συλλέξουν νερό της βροχής με χαμηλό επίπεδο επενδύσεων.

Για τη διαστασιολόγηση των ομβροδεξαμενών χρησιμοποιούνται μοντέλα ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου (Fewkes and Butler, 2000; Palla et al., 2011; Campisano and Modica, 2012; Tsihrintzis and Baltas, 2014; Londra et al., 2015; Londra et al., 2018) ή στοχαστικά μοντέλα (Guo and Baetz, 2007; Basinger et al., 2010; Chang et al., 2011). Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η γνώση των βροχομετρικών δεδομένων της περιοχής εγκατάστασης των δεξαμενών, οι ανάγκες ζήτησης και οι επιφάνειες συλλογής του βρόχινου νερού (Ghisì, 2010; Palla et al., 2012).

Σκοπός της εργασίας είναι η διαστασιολόγηση κλειστών ομβροδεξαμενών για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών καλλιέργειας μπιγκόνιας σε γυάλινο τύπο θερμοκηπίου, πλήρως αεριζόμενο και θερμαινόμενο, του οποίου η οροφή χρησιμοποιείται ως επιφάνεια συλλογής των όμβριων υδάτων. Για αυτό το σκοπό χρησιμοποιήθηκε ένα μοντέλο ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Περιοχή μελέτης

Η παρούσα μελέτη, αφορά στην περιοχή των Αθηνών του Νομού Αττική, και χρησιμοποιεί δεδομένα καλλιέργειας μπιγκόνιας που έλαβε χώρα σε θερμοκήπιο του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών (Londra et al., 2012). Αξίζει να σημειωθεί, ότι η Αττική είναι μια περιοχή με έντονη παραγωγή ανθέων/καλλωπιστικών φυτών υπό κάλυψη, αφού σύμφωνα με στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ (2018) καταλαμβάνει το 32% των καλλιεργούμενων εκτάσεων θερμοκηπιακών καλλωπιστικών φυτών της χώρας.

2.2. Βροχομετρικά δεδομένα

Για τη διαστασιολόγηση των ομβροδεξαμενών απαιτούνται βροχομετρικά δεδομένα τουλάχιστον 10 ετών (Mitchell et al., 2008). Για τη συγκεκριμένη περιοχή μελέτης χρησιμοποιήθηκαν ημερήσια ύψη βροχόπτωσης μιας χρονοσειράς 12 ετών (2008-2020) από τον αντιπροσωπευτικό βροχομετρικό σταθμό 'Γκάζι' του Εθνικού Αστεροσκοπίου Αθηνών.

2.3. Μοντέλο ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου

Το μοντέλο ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου που χρησιμοποιήθηκε για τη διαστασιολόγηση των ομβροδεξαμενών, αποτυπώνεται στην παρακάτω εξίσωση

$$S_t = S_{t-1} + R_t - D_t \quad 0 \leq S_{t-1} \leq V_{\text{tank}} \quad (1)$$

όπου: S_t είναι ο αποθηκευμένος όγκος νερού στο τέλος της t ημέρας (m^3), S_{t-1} ο αποθηκευμένος όγκος στην αρχή της t ημέρας (m^3), R_t ο όγκος του νερού της βροχής που θα απορρεύσει από την οροφή του θερμοκηπίου και θα εισέλθει στη δεξαμενή την t ημέρα (m^3), D_t η ημερήσια ζήτηση (m^3) και V_{tank} η χωρητικότητα της δεξαμενής συλλογής βρόχινου νερού (m^3).

Ο όγκος του νερού που θα απορρεύσει από την οροφή του θερμοκηπίου σε ημερήσια βάση, R_t , υπολογίζεται ως εξής:

$$R_t = C \cdot A \cdot P_t \quad (2)$$

όπου: C ο συντελεστής απορροής της επιφάνειας συλλογής, A το εμβαδόν της επιφάνειας συλλογής (m^2), P_t η βροχόπτωση της t ημέρας (m).

Για γυάλινο θερμοκήπιο, η τιμή του συντελεστή απορροής C ορίσθηκε στο 0.9 (Kinkade-Levario, 2007).

Για τον υπολογισμό της ζήτησης νερού (D_t), οι αρδευτικές ανάγκες της καλλιέργειας μπιγκόνιας ελήφθησαν από προηγούμενη μελέτη καλλιέργειας φυτών μπιγκόνιας σε γυάλινο και θερμαινόμενο θερμοκήπιο στο Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών (Londra et al., 2012). Λαμβάνοντας υπόψη ότι η μπιγκόνια καλλιεργείται όλο το χρόνο στα ελληνικά θερμοκήπια, αυτό σημαίνει ότι στο θερμοκήπιο θα συνυπάρχουν φυτά διαφορετικών σταδίων ανάπτυξης. Έτσι, υποθέτουμε τέσσερα διαφορετικά στάδια ανάπτυξης και οι αντίστοιχες ημερήσιες ανάγκες νερού των φυτών, $I_{r,stage_i}$, δίνονται ως εξής:

- 1^ο στάδιο ανάπτυξης: $I_{r,stage_1} = 0.5 \text{ mm d}^{-1}$
- 2^ο στάδιο ανάπτυξης: $I_{r,stage_2} = 1.5 \text{ mm d}^{-1}$
- 3^ο στάδιο ανάπτυξης: $I_{r,stage_3} = 2.1 \text{ mm d}^{-1}$
- 4^ο στάδιο ανάπτυξης: $I_{r,stage_4} = 2.7 \text{ mm d}^{-1}$

Κατά συνέπεια, η ημερήσια ζήτηση νερού υπολογίζεται από την εξίσωση

$$D_t = \frac{1}{4} \cdot C_c \cdot A \cdot (I_{r,stage_1} + I_{r,stage_2} + I_{r,stage_3} + I_{r,stage_4}) \quad (3)$$

Ο συντελεστής C_c είναι ίσος με 0.9 και αφορά στο ποσοστό κάλυψης της έκτασης του θερμοκηπίου από φυτά (δηλ. 90%). Το υπόλοιπο 10% αφορά βοηθητικούς χώρους και διαδρόμους.

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω, η εξίσωση του ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου διαμορφώνεται ως

$$S_t = S_{t-1} + C \cdot A \cdot P_t - \frac{1}{4} \cdot C_c \cdot A \cdot (I_{r,stage_1} + I_{r,stage_2} + I_{r,stage_3} + I_{r,stage_4}) \quad (4)$$

και η διαστασιολόγηση της ομβροδεξαμενής γίνεται ακολουθώντας τον παρακάτω ευριστικό αλγόριθμο, λαμβάνοντας υπόψη τη χωρητικότητα της δεξαμενής (Tsichrintzis and Baltas, 2014; Londra et al., 2015), με την παραδοχή της πλήρως γεμάτης ομβροδεξαμενής κατά την έναρξη της υπολογιστικής διαδικασίας ($S_{t=1}=S_0=V_{tank}$ για $t=0$):

$$\text{If } S_t > V_{tank} \text{ then } V_{tank}, \text{ If } S_t < 0 \text{ then } 0 \text{ else } S_t = S_{t,tank} \quad (5)$$

όπου: $S_{t,tank}$ ο πραγματικά διαθέσιμος αποθηκευμένος όγκος βρόχινου νερού στην ομβροδεξαμενή την t ημέρα και δίνεται από τη σχέση (4).

Ο ευριστικός αλγόριθμος δίνει τη δυνατότητα τόσο του υπολογισμού του όγκου του νερού υπερχειλίσσης της δεξαμενής, O_t :

$$\text{If } S_t \geq V_{tank} \text{ then } O_t = S_t - V_{tank} \text{ else } O_t = 0 \quad (6)$$

όσο και του όγκου του νερού που θα πρέπει να καλυφθεί από άλλες πηγές, T_t , στην περίπτωση αδυναμίας κάλυψης της ζήτησης από το αποθηκευμένο βρόχινο νερό:

$$\text{If } S_{t,tank} < D_t \text{ then } T_t = D_t - S_{t,tank} \text{ else } T_t = 0 \quad (7)$$

2.4. Συντελεστής αξιοπιστίας Re

Επίσης, χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής αξιοπιστίας, Re, ως μέτρο της αποδοτικότητας των ομβροδεξαμενών:

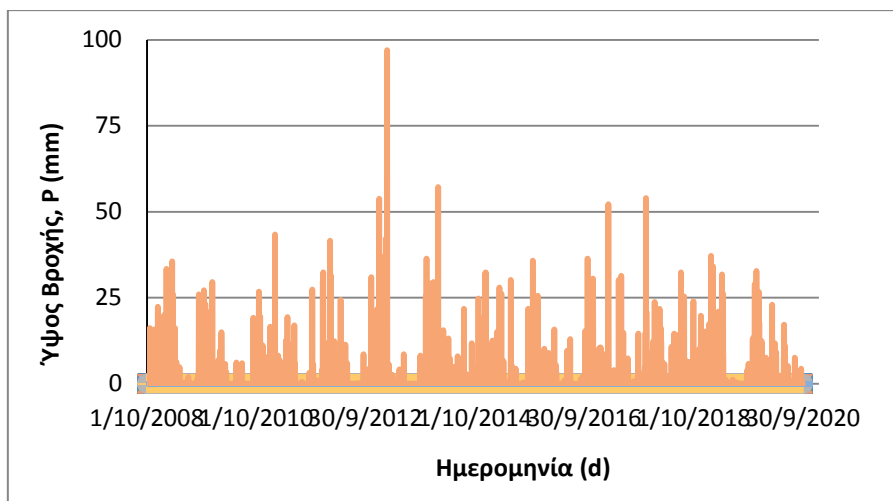
$$\text{Re} = N_{days} / N_{tot} \cdot 100 (\%) \quad (8)$$

όπου: N_{days} ο αριθμός των ημερών όπου υπάρχει πλήρης ικανοποίηση της ζήτησης από το αποθηκευμένο βρόχινο νερό και N_{tot} ο συνολικός αριθμός των ημερών (4745 ημέρες) που χρησιμοποιήθηκε για τους υπολογισμούς του μοντέλου.

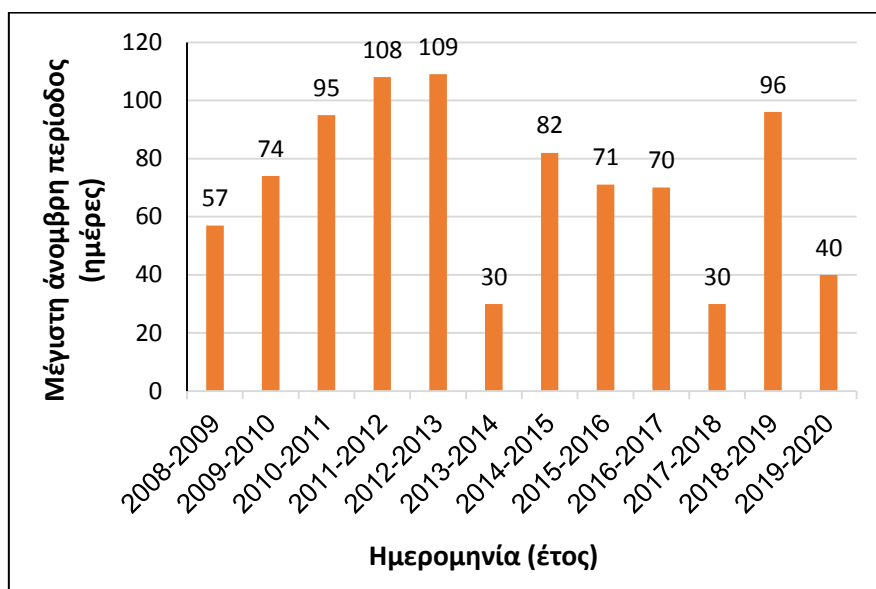
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τόσο τα ημερήσια ύψη βροχής όσο και οι ημέρες ανομβρίας είναι καθοριστικοί παράγοντες στη διαστασιολόγηση της ομβροδεξαμενής. Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται η κατανομή των βροχοπτώσεων σε ημερήσια βάση για την περίοδο 2008-2020. Παρατηρείται μια μέγιστη τιμή βροχόπτωσης ύψους 97 mm για τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο, ενώ γενικά οι τιμές είναι μικρότερες των 50 mm και καταγράφονται κατά τη χειμερινή περίοδο κάθε έτους. Η μέση ετήσια βροχόπτωση της περιοχή μελέτης για τη περίοδο των 12 ετών, υπολογίζεται σε 447.56 mm.

Στο Σχήμα 2, που απεικονίζεται η κατανομή των μέγιστων ετήσιων άνομβρων περιόδων της χρονοσειράς μελέτης, φαίνεται ότι η μεγαλύτερη μέγιστη άνομβρη περίοδος καταγράφηκε το διάστημα 14/6/2013–30/9/2013 και αφορά σε 109 ημέρες ανομβρίας. Η μέγιστη ετήσια άνομβρη περίοδος ορίζεται ως η μέγιστη περίοδος σε ημέρες χωρίς βροχή ή με βροχή ύψους μικρότερο ή ίσο του 1 mm (Londra et al., 2015).



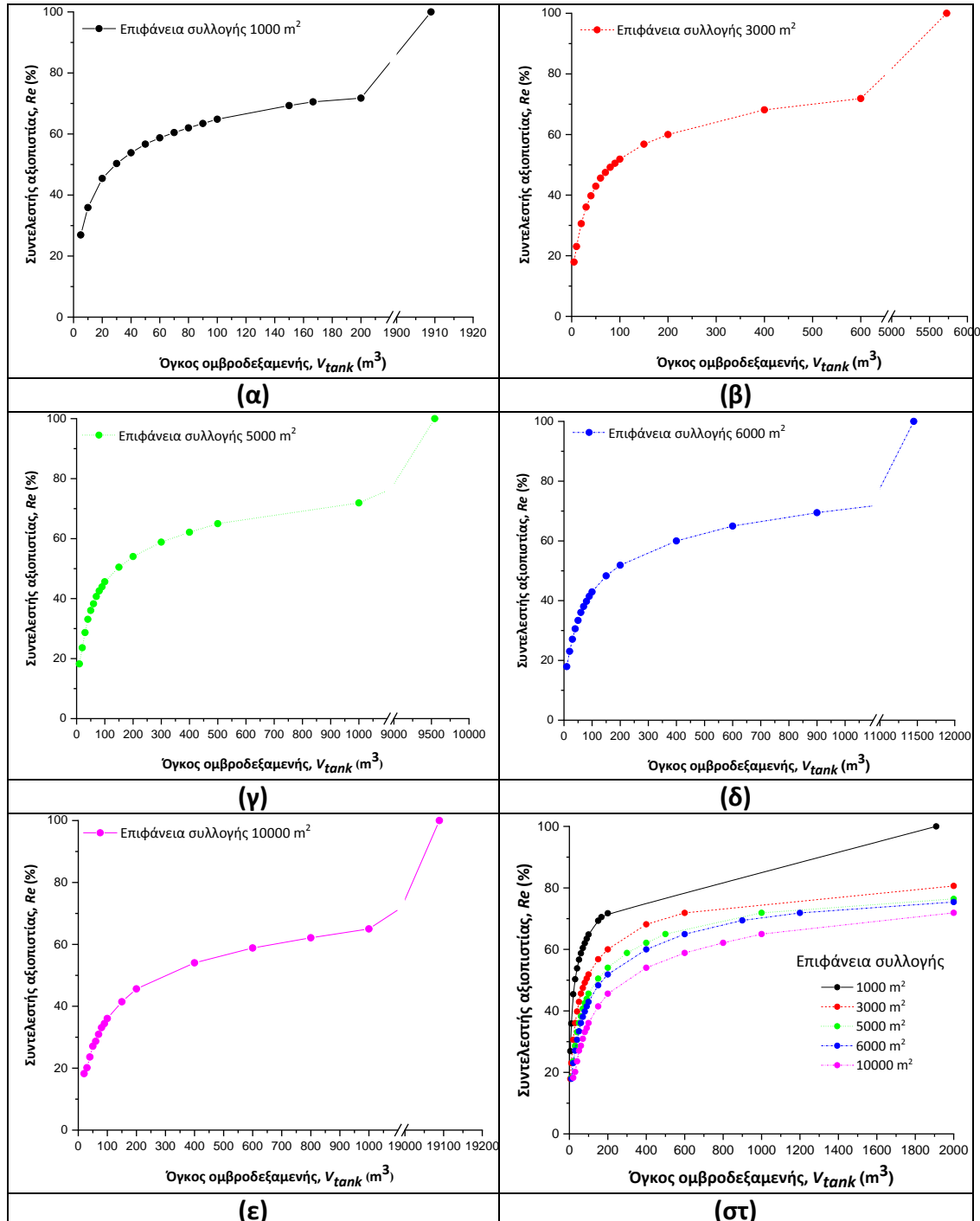
Σχήμα 1. Κατανομή ημερήσιου ύψους βροχόπτωσης για την χρονική περίοδο 2008-2020 στο βροχομετρικό σταθμό 'Γκάζι' Αττικής.



Σχήμα 2. Μέγιστη διάρκεια ανομβρίας ανά υδρολογικό έτος της χρονικής περιόδου 2008-2020 στην περιοχή μελέτης.

Στο Σχήμα 3 απεικονίζονται οι καμπύλες αξιοπιστίας σε σχέση με τον όγκο της ομβροδεξαμενής και της επιφάνειας συλλογής του βρόχινου νερού για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών της καλλιέργειας μιγκόνιας. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3α, για επιφάνεια θερμοκηπίου 1000 m^2 (1 στρέμμα) διερευνήθηκαν όγκοι ομβροδεξαμενής από 5 έως 200 m^3 , οι οποίοι έδωσαν συντελεστές αξιοπιστίας που κυμαίνονταν από 27% έως 72%, αντίστοιχα. Αξίζει να σημειωθεί ότι για δεξαμενή όγκου 30 m^3 το ποσοστό αξιοπιστίας φτάνει το 50% και για δεξαμενή 100 m^3 που χρησιμοποιείται συνήθως για καλλιέργειες καλλωπιστικών φυτών σε θερμοκήπια της Περιφέρειας Αττικής, το ποσοστό αξιοπιστίας φτάνει το 65%. Ενώ, για διπλάσιο όγκο ομβροδεξαμενής (200 m^3) η αξιοπιστία του συστήματος αυξάνεται μόνο κατά 7%. Ωστόσο, ο απαιτούμενος όγκος δεξαμενής για την πλήρη κάλυψη των αρδευτικών αναγκών ($Re = 100\%$) είναι δυσανάλογα μεγάλος και φτάνει περίπου την τιμή των 1900 m^3 .

Παρόμοια αποτελέσματα παρουσιάζονται και στην περίπτωση όλων των επιφανειών συλλογής που εξετάστηκαν (Σχήμα 3β-ε). Συμπερασματικά, η σύγκριση μεταξύ Re και V_{tank} όλων των επιφανειών συλλογής (Σχήμα 3στ) έδειξε ότι απαιτείται όγκος δεξαμενής 100 m^3 /στρέμμα θερμοκηπίου για να επιτευχθεί αξιοπιστία 65% και 200 m^3 /στρέμμα θερμοκηπίου για 72%.



Σχήμα 3. Συγκριτική απεικόνιση καμπυλών αξιοπιστίας για διάφορους όγκους ομβροδεξαμενών και εκτάσεων θερμοκηπίου για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών καλλιέργειας μπιγκόνιας για επιφάνειες ομβροσυλλογής: (α) 1000 m^2 , (β) 3000 m^2 , (γ) 5000 m^2 , (δ) 6000 m^2 και (ε) 10000 m^2 .

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Εφαρμόστηκε ένα μοντέλο ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου με δεδομένα εισόδου τις ημερήσιες τιμές βροχόπτωσης μιας χρονοσειράς 12 ετών για τη διαστασιολόγηση κλειστών ομβροδεξαμενών κάλυψης των αρδευτικών αναγκών 12-μηνιαίας καλλιέργειας μπιγκόνιας σε θερμοκήπιο έκτασης 1000 έως 10000 m².

Ομβροδεξαμενές όγκου 100 έως 200 m³ ανά στρέμμα θερμοκηπίου, εμφάνισαν αξιοπιστία κάλυψης της ζήτησης σε ποσοστό 65% έως 72%, αντίστοιχα.

Για πλήρη κάλυψη των αρδευτικών αναγκών απαιτούνται δυσανάλογα μεγάλοι όγκοι δεξαμενών (1900 m³/στρέμμα θερμοκηπίου).

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Angelakis, A.N. 2016. *Evolution of rainwater harvesting and use in Crete, Hellas, through the millennia*. Water Science and Technology: Water Supply, 16(6), 1624–1638.
- Basinger, M., Montalto, F. and Lall, U. 2010. *A rainwater harvesting system reliability model based on nonparametric stochastic rainfall generator*. Journal of Hydrology, 392, 105-118.
- Campisano, A. and Modica, C. 2012. *Optimal sizing of storage tanks for domestic rainwater harvesting in Sicily*. Resources, Conservation and Recycling, 63, 9–16.
- Chang, N., Rivera, B.J. and Wanielista, M.P. *Optimal design for water conservation and energy savings using green roofs in a green building under mixed uncertainties*. Journal of Cleaner Production, 19, 1180-1188.
- Fewkes, A. and Butler, D. 2000. *Simulating the performance of rainwater collection systems using behavioural models*. Building Services Engineering Research and Technology, 21(2), 99–106.
- Ghisi, E. 2010. *Parameters influencing the sizing of rainwater tanks for use in houses*. Water Resources Management, 24, 2381-2403.
- Guo, Y. and Baetz, B. 2007. *Sizing of rainwater storage units for green building applications*. Journal of Hydrologic Engineering, 12(2), 197-205.
- Kinkade-Levario, H. 2007. *Design for Water Rainwater Harvesting, Stormwater Catchment and Alternate Water Reuse*. New Society Publishers: P.O. Box 189, Gabriola Island, BC V0R 1X0, Canada, pp. 38.
- Londra, P.A., Antoniou, G.P., Theocharis, A.T., Dalezios, N.R. and Angelakis, A.N. 2021. *Evolution of Small-Scale Rainwater Harvesting in the Hellenic World through the Millennium*. In: S. Eslamian and F. Eslamian (Editors), Handbook of Water Harvesting and Conservation: Case Studies and Application Examples. John Wiley & Sons, Inc., Chichester, UK, pp. 103-117.
- Londra, P.A., Paraskevopoulou, A.T. and Psychoyou, M. 2012. *Evaluation of water-air balance of various substrates on begonia growth*. HortScience, 47(8), 1153–1158.
- Londra, P.A., Theocharis, A.T., Baltas, E. and Tsihrintzis, V.A. 2015. *Assessment of rainwater harvesting tank size for livestock use*. Water Science and Technology: Water Supply, 18.2, 555-566.
- Londra, P.A., Theocharis, A.T., Baltas, E. and Tsihrintzis, V.A. 2018. *Assessment of rainwater harvesting tank size for livestock use*. Water Science and Technology: Water Supply, 18.2, 555-566.
- Mitchell, V.G., McCarthy, D.T., Deletic, A. and Fletcher, T.D. 2008. *Urban stormwater harvesting – sensitivity of a storage behaviour model*. Environmental Modelling and Software, 23, 782–793.

- Palla, A., Gnecco, I. and Lanza, L.G. 2011. *Non-dimensional design parameters and performance assessment of rainwater harvesting systems*. Journal of Hydrology, 401, 65-76.
- Palla, A., Gnecco, I., Lanza, L.G. and La Barbera, P. 2012. *Performance analysis of domestic rainwater harvesting systems under various European climate zones*. Resources Conservation and Recycling, 62, 71-80.
- Tsihrintzis, V.A. and Baltas E. 2014. *Determination of rainwater harvesting tank size*. Global NEST Journal, 16(5), 822-831.
- Yannopoulos, S., Giannopoulou, I. and Kaiafa-Saropoulou, M. 2019. *Investigation of the current situation and prospects for the development of rainwater harvesting as a tool to confront water scarcity worldwide*. Water, 11, 2168.
- ΕΛΣΤΑΤ, 2018. Ετήσια Γεωργική Στατιστική Έρευνα, Πίνακας 3β. <https://www.statistics.gr/el/statistics/-/publication/SPG06/2018>
- Υπουργείο Ανάπτυξης. 2003. Σχέδιο διαχείρισης υδάτων.

ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΛΗΨΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΚΡΗΤΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΚΑΙΝΟΤΟΜΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ

Ν. Κουργιαλάς¹, Γ. Μοριανού¹, Α. Χλιαουτάκης¹, Α. Βουλγαράκης¹, Α. Αργυρίου², Ν. Παπαδόπουλος², Ε. Κόκκινου³, Ι. Δαλιακόπουλος³, Δ. Καλδέρης³, Θ. Μανιός³, Α. Παυλάκη³, Α. Βαφείδης⁴

¹Ινστιτούτο Ελιάς Υποτροπικών Φυτών και Αμπέλου, ΕΛ.Γ.Ο. «ΔΗΜΗΤΡΑ», 73100, Χανιά, Ελλάδα

²ΙΤΕ - Ινστιτούτο Μεσογειακών Σπουδών

³Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο - Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Τμήμα Γεωπονίας

⁴Πολυτεχνείο Κρήτης - Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων

e-mail: kourgialas@elgo.iosv.gr

Περίληψη

Αντικείμενο της εργασίας είναι η δημιουργία ενός ολοκληρωμένου συστήματος λήψης αποφάσεων σε μεγάλη χωρική κλίμακα (Υδατικό Διαμέρισμα Κρήτης) με σκοπό: α) τον ακριβή προσδιορισμό των αρδευτικών αναγκών, με γνώμονα τη βέλτιστη απόδοση των καλλιεργειών και την ορθή διαχείριση του υδατικού δυναμικού, β) το σχεδιασμό σεναρίων βέλτιστης προσαρμογής του γεωργικού τομέα στο πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής, και γ) τη δυναμική ενοποίηση των παραπάνω πληροφοριών μέσω της δημιουργίας ψηφιακής πλατφόρμας στοχεύοντας στην άμεση και σε πραγματικό χρόνο ενημέρωση. Με βάση τη συγκεκριμένη πλατφόρμα, οποιοσδήποτε παραγωγός/φορέας θα έχει τη δυνατότητα σε συγκεκριμένη τοποθεσία στην Κρήτη να γνωρίζει τις αρδευτικές ανάγκες των καλλιεργειών σε πραγματικό χρόνο.

Λέξεις κλειδιά: **άρδευση, τηλεπισκόπηση, χάρτης μηχανικής σύστασης εδάφους, πλατφόρμα ενημέρωσης**

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του έργου "DEcision system For Irrigation in Crete based on Innovative Technologies" - DE.F.I.C.I.T (ΕΣΠΑ 2014-2020), που στόχο έχει τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου συστήματος λήψης αποφάσεων στο επίπεδο της Περιφέρειας Κρήτης για τον ακριβή προσδιορισμό, σε πραγματικό χρόνο, των αρδευτικών αναγκών των κύριων καλλιεργειών για την Κρήτη όπως είναι η ελιά, τα εσπεριδοειδή, το αβοκάντο καθώς και το αμπέλι. Για τον υπολογισμό των αρδευτικών αναγκών λαμβάνονται υπόψη σημαντικές παράμετροι όπως: α) η μηχανική σύσταση εδάφους, β) τα μετεωρολογικά δεδομένα και γ) η πληροφορία για το είδος της καλλιέργειας.

Ο χάρτης μηχανικής σύστασης του εδάφους (κατανομή του ποσοστού άμμου, ιλύος και αργίλου), σε επίπεδο Κρήτης, αποτελεί ζητούμενο πολλών ετών από φορείς διαχείρισης υδατικών πόρων στην Κρήτη. Η μόνη σχετική πληροφορία, μέχρι σήμερα, δινόταν από τους χάρτες της ESDAC (Panagos et al., 2012) και του ΟΠΕΚΕΠΕ (ΟΠΕΚΕΠΕ and Aristotle University of Thessaloniki, 2015) οι οποίοι α) παρουσιάζουν μικρή ακρίβεια στη χωρική κατανομή της μηχανικής σύστασης του εδάφους και β) δεν καλύπτουν το σύνολο των γεωργικών εκτάσεων της Κρήτης.

Η χωρική κατανομή της διαφορετικής μηχανικής σύστασης του εδάφους μέσω της εφαρμογής παραδοσιακών μεθόδων όπως είναι οι επιτόπιες δειγματοληψίες, κυρίως για μεγάλης κλίμακας μελέτες, αποτελούν χρονοβόρες και υψηλού κόστους προσέγγιση (Coleman et al., 1991; Dematte et al., 2009). Λύση σε αυτό μπορεί να δώσει η συνδυασμένη χρήση/εφαρμογή γεωλογικών, γεωφυσικών και εδαφολογικών μεθόδων που σε συνδυασμό με τη χρήση της τηλεπισκόπησης μπορούν να μειώσουν το κόστος προσδιορισμού της μηχανικής σύστασης του εδάφους στην περίπτωση εφαρμογών μεγάλης κλίμακας. Η παραπάνω προσέγγιση υλοποιήθηκε στο πλαίσιο του έργου DE.F.I.C.I.T .

Εκτός από τα εδαφικά χαρακτηριστικά, για τον ακριβή προσδιορισμό των αρδευτικών αναγκών είναι απαραίτητη η χωρική κατανομή των αγροτεμαχίων σε επίπεδο Κρήτης καθώς και η λεπτομερής και σε πραγματικό χρόνο μετεωρολογική πληροφορία.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για τον προσδιορισμό σε πραγματικό χρόνο των αρδευτικών αναγκών χρησιμοποιήθηκαν:

α) Η μηχανική σύσταση του εδάφους

Για την δημιουργία του χάρτη μηχανικής σύστασης έγινε συνδυαστική χρήση τεχνολογιών επίγειας και δορυφορικής τηλεπισκόπησης. Η περιοχή του Κάμπου Χανίων (έκτασης περίπου 200 km²) επιλέχθηκε ως περιοχή αναλυτικής μελέτης καθώς θεωρείται ως μια αντιπροσωπευτική περιοχή που καλύπτει τα διαφορετικά χαρακτηριστικά του Υ.Δ. της Κρήτης όσον αφορά τη γεωμορφολογία και τις χρήσεις γης. Στην περιοχή αναλυτικής μελέτης πραγματοποιήθηκε γεωλογική διερεύνηση και πάνω από 100 επιτόπιες εδαφολογικές και γεωφυσικές μετρήσεις, ομοιόμορφα κατανεμημένες στους διαφορετικούς εδαφικούς τύπους που δομούν την περιοχή. Τα αποτελέσματα αυτών των μετρήσεων συνέβαλαν στη βαθμονόμηση των δορυφορικών εικόνων καθώς και στο συσχετισμό φασματικών τιμών ανάκλασης δορυφορικών εικόνων με τις διάφορες μεταβλητές των εδαφοϋδατικών πόρων και της μηχανικής σύστασης του εδάφους. Στη συνέχεια, έγινε επέκταση (παρεμβολή) του αποτελέσματος της μηχανικής σύστασης σε όλο το Υ.Δ. της Κρήτης με παράλληλες μετρήσεις επαλήθευσης στο πεδίο.

Εκτός από τις μετρήσεις μηχανικής σύστασης - κοκκομετρική ανάλυση, στα δείγματα που ελήφθησαν από την περιοχή αναλυτικής μελέτης (Κάμπος Χανίων) πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις pH, αγωγιμότητας, προσδιορισμός αζώτου, φωσφόρου, ασβεστίου και μαγνησίου. Επίσης, πραγματοποιήθηκε γεωλογική αναγνώριση που κατέγραψε την επιφανειακή στρωματογραφία, τα τεκτονικά στοιχεία, τον τεχνικογεωλογικό χαρακτήρα των επιφανειακών ιζημάτων και το υδρογραφικό δίκτυο.

β) Η μετεωρολογική πληροφορία

Η μετεωρολογική πληροφορία λαμβάνεται από το δίκτυο των μετεωρολογικών σταθμών της Αποκεντρωμένης Διοίκησης Κρήτης καθώς και των μετεωρολογικών σταθμών του Αστεροσκοπείου και του Ινστιτούτου Ελιάς Υποτροπικών Φυτών και Αμπέλου σε όλη την Κρήτη. Πενήντα τέσσερις (54) μετεωρολογικοί σταθμοί χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό σε πραγματικό χρόνο των μετεωρολογικών συνθηκών στο Νησί της Κρήτης. Οι συγκεκριμένοι σταθμοί έχουν τη βέλτιστη χωρική κατανομή, καλύπτοντας ικανοποιητικά όλες τις κρίσιμες γεωργικές περιοχές του Υ.Δ. Κρήτης.

γ) Η πληροφορία για το είδος της καλλιέργειας

Η πληροφορία για την κατανομή των διαφορετικών ειδών/καλλιεργειών γίνεται με τη χρήση της βάσης δεδομένων των αγροτεμαχίων του ΟΠΕΚΕΠΕ σε επίπεδο Κρήτης, όπου προσδιορίζονται χωρικά οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις ανά είδος.

Όλα τα παραπάνω χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα εισόδου σε έναν GIS διακομιστή, όπου με χρήση μεθόδων προγραμματισμού και των κατάλληλων αλγορίθμων δημιουργήθηκε πρότυπο (μοντέλο) προσδιορισμού των αρδευτικών αναγκών σε εβδομαδιαία βάση και σε επίπεδο αγροτεμαχίου για όλη την Κρήτη. Το πρότυπο αυτό ενσωματώθηκε σε μια δυναμική και ελεύθερης πρόσβασης πλατφόρμα ενημέρωσης.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Ο χάρτης μηχανικής σύστασης του εδάφους για το Υ.Δ. Κρήτης δημιουργήθηκε με τη χρήση μεθόδων τηλεπισκόπησης, προτύπων παλινδρόμησης και γεωστατιστικών τεχνικών. Η κατηγοριοποίηση του τελικού αρχείου (raster) μηχανικής σύστασης του εδάφους έγινε με βάση τις πέντε κατηγορίες ταξινόμησης της USDA. Το τελικό αποτέλεσμα αξιολογήθηκε και επαληθεύτηκε με στατιστικά πρότυπα και χρήση επιπλέον σημείων από δειγματοληψίες.

Η Κρήτη είναι μια περιοχή που ήδη αντιμετωπίζει σοβαρά προβλήματα με τα υδατικά της αποθέματα, συνεπώς η ορθή διαχείριση του νερού άρδευσης αποτελεί προτεραιότητα. Η δημιουργία ενός πρωτοποριακού συστήματος/πλατφόρμας ελεύθερης πρόσβασης για την άρδευση ακριβείας για κάθε αγροτεμάχιο σε όλη την Κρήτη αποτελεί ένα καινοτόμο εργαλείο που θα συμβάλλει στην ορθή διαχείριση του νερού άρδευσης. Στην πλατφόρμα αυτή υπάρχει η δυνατότητα σε συγκεκριμένη τοποθεσία/αγροτεμάχιο (με συντεταγμένες) να γνωρίζουμε σε πραγματικό χρόνο τις αρδευτικές ανάγκες των καλλιεργειών. Επίσης, λαμβάνοντας υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του κάθε αγροτεμαχίου, προτείνονται κατάλληλες καλλιεργητικές πρακτικές και σενάρια προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή με γνώμονα την αύξηση της αποδοτικότητας χρήσης νερού.

Επιπλέον, το παραπάνω πρωτοποριακό σύστημα, ενσωματώνει και αξιολογεί για κάθε αρδευτική περίοδο πληροφορίες σχετικά με τα υδατικά αποθέματα της κάθε περιοχής λαμβάνοντας υπόψη ιστορικά μετεωρολογικά δεδομένα καθώς και τις υπάρχουσες εγγειοβελτιωτικές υποδομές της κάθε περιοχής. Υποστηρίζει την πρόσβαση σε σημαντικές πληροφορίες, όπως συμβουλές και στρατηγικές προσαρμογής (π.χ. ελλειμματική άρδευση σε περιοχές με χαμηλά υδατικά αποθέματα).

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ηλεκτρονική διεύθυνση της πλατφόρμας/εφαρμογής για ελεύθερη πρόσβαση από όλους τους ενδιαφερόμενους χρήστες θα ανακοινωθεί στο πλαίσιο του 12ου ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟΥ ΣΥΝΕΔΡΙΟΥ ΕΓΜΕ 2021, 21-22 Οκτωβρίου 2021. Η εφαρμογή αυτή θα αποτελέσει ένα ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο όχι μόνο για μεμονωμένους παραγωγούς αλλά και ιδιωτικές επιχειρήσεις, φορείς διαχείρισης υδάτων όπως ΟΑΚ, τους τριάντα έξι (36) Τοπικούς Οργανισμούς Εγγείων Βελτιώσεων (ΤΟΕΒ) της Κρήτης, τους δήμους της Κρήτης, καθώς και πλήθος γεωργικών συνεταιρισμών που δραστηριοποιούνται στην Κρήτη. Παράλληλα το προτεινόμενο σύστημα λήψης αποφάσεων σε επίπεδο Υ.Δ. Κρήτης ίσως αποτελέσει παράδειγμα έμπνευσης για υλοποίηση αντίστοιχων δράσεων και σε άλλα Υ.Δ. της Ελλάδας.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία υλοποιήθηκε στο πλαίσιο του έργου ΕΣΠΑ (2014-2020): «Ολοκληρωμένο σύστημα λήψης αποφάσεων για την άρδευση καλλιεργειών σε επίπεδο Κρήτης με χρήση καινοτόμων τεχνολογιών» (κωδικός ΟΠΣ 5028242) - Συγχρηματοδοτείται από το Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Κρήτη 2014-2020 και το Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης (ΕΤΠΑ), Δράση 1.β.1: Έργα επίδειξης – πειραματικής ανάπτυξης RIS3Crete.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Coleman, T.L., Agbu, P.A., Montgomery, O.L., Gao, T. and Prasad, S., 1991. *Spectral band selection for quantifying selected properties in highly weathered soils*. *Soil Science*, 151(5), 355-361.
- Dematte, J.A.M., Fioriob, P.R., and Ben-Dorc, E., 2009. *Estimation of soil properties by orbital and laboratory reflectance means and its relation with soil classification*. *The Open Remote Sensing Journal*, 2(1), 12-23.
- ΟΡΕΚΕΡΕ and Aristotle University of Thessaloniki, 2015. Soil Map of Greece 1:30000 (.pdf) <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/resource-type/national-soil-maps-eudasm>
- Panagos, P., Van Liedekerke, M., Jones, A. and Montanarella, L., 2012. *European Soil Data Centre: Response to European policy support and public data requirements*. *Land use policy*, 29(2), 329-338.



12^ο Πανελλήνιο Συνέδριο
Γεωργικής Μηχανικής

ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ & ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ



ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΗΘΗΑ ΜΕ ΑΤΜΟ ΓΙΑ ΚΑΛΥΨΗ ΑΝΑΓΚΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΑΠΟΡΡΙΠΤΟΜΕΝΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΤΟΥ CO₂ ΤΩΝ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ

Β. Φιρφιρης¹✉, Α. Μαρτζοπούλου², Ivan Zlatanovic³ και Θ.Κωτσόπουλος¹

¹Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωπονίας, Εργ. Γεωργικών Κατασκευών & Εξοπλισμού, 54124, Θεσσαλονίκη

² Τομέας Πολεοδομίας, Χωροταξίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης, Τμήμα Αρχιτεκτόνων, Πολυτεχνική Σχολή Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

³ Department for Agricultural Engineering, University of Belgrade-Faculty of Mechanical Engineering
✉firfiris@agro.auth.gr

Περίληψη

Η χρήση απορριπτόμενης θερμότητας από μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μεγάλης κλίμακας έχει αξιοποιηθεί διαχρονικά για τη θέρμανση θερμοκηπίων με δίκτυα τηλεθέρμανσης. Τα τελευταία χρόνια εγκαθίστανται και λειτουργούν μονάδες συμπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας μικρής δυναμικότητας, όπου η αποκρυπτόμενη θερμική ενέργεια και το CO₂, αξιοποιούνται ώστε να υποστηρίξουν τις ανάγκες θερμοκηπίων σε θέρμανση και να βοηθήσουν στην ανάπτυξη της καλλιέργειας. Οι μικρές μονάδες συμπαραγωγής που χρησιμοποιούνται, είναι είτε εμβολοφόρες μηχανές ή μονάδες αεριοστρόβιλων. Στη συγκεκριμένη εργασία εξετάζεται η αξιοποίηση μικρών μονάδων που λειτουργούν με ατμοστρόβιλους, υπό τον θερμοδυναμικό κύκλο Rankine και εξετάζεται η συνεισφορά που μπορεί να έχουν τόσο στις θερμικές ανάγκες όσο και στο απαραίτητο CO₂ των θερμοκηπίων.

Λέξεις κλειδιά: Θερμοκήπιο, Μονάδες συμπαραγωγής, Ατμοστρόβιλοι, Κύκλος Rankine, CO₂

THEORETICAL EVALUATION OF STEAM CHP SYSTEM FOR COVERING THE HEATING ENERGY NEEDS OF A GREENHOUSE THROUGH WASTE HEAT AND CO₂ NEEDS THROUGH THE COMBUSTION EXHAUST

V. Firfiris¹✉, A. Martzopoulou², I.Zlatanovic³, T.Kotsopoulos¹

¹ Aristotle University of Thessaloniki, Department of Agriculture, Laboratory of Agricultural Structures and Equipment, 54124, Thessaloniki

² Aristotle University of Thessaloniki, School of Architecture, Faculty of Engineering, Department of Urban Planning

³ Department for Agricultural Engineering, University of Belgrade-Faculty of Mechanical Engineering
✉firfiris@agro.auth.gr

ABSTRACT

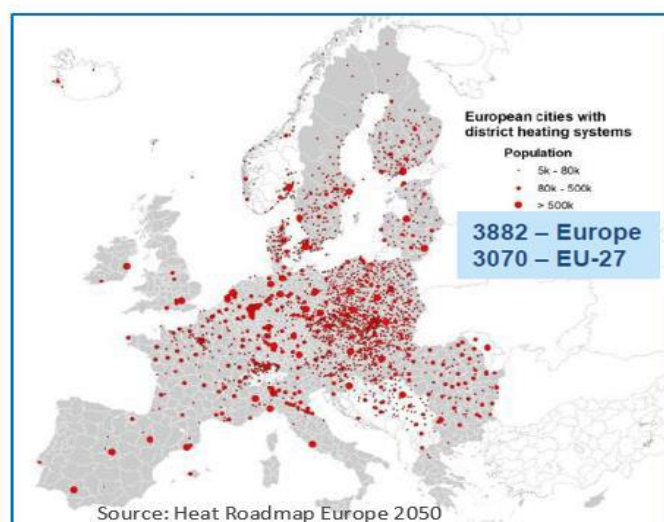
The use of waste heat by large-scale electricity generation plants has been used over time for greenhouse heating with district heating networks. In recent years, low-capacity CHP units have been installed and operated, where wasted heat energy and CO₂ are utilized to support the greenhouse needs for heating and crop growth. The small CHP units used are either piston engines or gas turbine units. In this work, the use of small CHP units that operate with steam turbines, under the Rankine thermodynamic cycle, is examined for contributing to the heating and CO₂ needs of a greenhouse.

Keywords: Greenhouse, CHP units, Steam turbines, Rankine Cycle, CO₂

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα σύγχρονα θερμοκήπια πρέπει να υποστηρίζονται από ένα πλήθος λειτουργιών ώστε να μπορούν να πετύχουν τη μέγιστη απόδοση λειτουργίας. Οι συνηθέστερες εξ' αυτών είναι η θέρμανση, ο δροσισμός, ο μηχανικός αερισμός, αυτόματη άρδευση, συστήματα εμπλουτισμού CO₂, φωτισμός κτλ. Οι λειτουργίες αυτές συνοδεύονται από την κατανάλωση πόρων και ενέργειας. Συγκεκριμένα η ενέργεια θέρμανσης μπορεί να αντιπροσωπεύει το 70-80% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας και η ηλεκτρική ενέργεια για τη χρήση του εξοπλισμού το 10-15% (S.Sanford, 2011). Ένα μεγάλο μέρος της έρευνας έχει επικεντρωθεί στην ανάπτυξη συστημάτων εξοικονόμησης ενέργειας. Ορισμένα συστήματα έχουν ενταχθεί στις κατασκευές και αποτελούν πλήρως ανεπτυγμένες τεχνολογικά λύσεις όπως η θερμοκουρτίνα, το διπλό φουσκωτό πλαστικό για εξοικονόμηση ενέργειας για θέρμανση (J.J. Hanan, 1988). Επιπλέον εξοικονόμηση ενέργειας επιτυγχάνεται και στην περίπτωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της χρήσης ρυθμιστών στροφών (inverters) σε ανεμιστήρες κτλ. Εκτός της εξοικονόμησης ενέργειας μέσω συστημάτων που εφαρμόζονται στο θερμοκήπιο- υπάρχει και ένα σημαντικό δυναμικό ενέργειας που απορρίπτεται από άλλες διεργασίες και θα μπορούσε να αξιοποιηθεί, εκτός των άλλων σε κατασκευές θερμοκηπίων. Η κυριότερη μορφή ενέργειας η οποία απορρίπτεται είναι η ενέργεια υπό τη μορφή θερμότητας. Αυτή η μορφή ενέργειας συνήθως είναι ενέργεια υψηλής εντροπίας που είναι αδύνατον να μετατραπεί εκ' νέου σε κάποια άλλη μορφή ενέργειας (π.χ μηχανική, χημική κτλ) (Cengel και Boles, 1998). Συνεπώς, αξιοποιείται για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης χώρων.

Η πιο συνηθισμένη περίπτωση αξιοποίησης απορριπτόμενης θερμότητας που αξιοποιείται για θέρμανση χώρων και κατ' επέκταση θερμοκηπίων είναι εκείνη από τις μονάδες ηλεκτροπαραγωγής. Με δεδομένο ότι η λειτουργία των μονάδων βασίζεται στον θερμοδυναμικό κύκλο Rankine, η απόδοση του κυμαίνεται μεταξύ 30-35% και μόνο υπό λειτουργία σε περιοχές κρίσιμων πιέσεων ή την εφαρμογή των μεθόδων της αναθέρμανσης και της αναγέννησης μπορούν να επιτευχθούν υψηλότεροι βαθμοί απόδοσης (I.Dincer,2018),(Cengel και Boles, 1998), (Mechanicalboost.com). Συνεπώς από την καταναλισκόμενη ενέργεια για την παραγωγή του υπέρθερμου ατμού, μόνο το ένα τρίτο μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια, ενώ το υπόλοιπο απορρίπτεται στον συμπυκνωτή ώστε να μπορέσει ο ατμός να αποκτήσει τα χαρακτηριστικά εκείνα που είναι απαραίτητα ώστε να επαναληφθεί η κυκλική διαδικασία. Αυτή η απορριπτόμενη θερμότητα έχει αξιοποιηθεί στην πράξη σε θερμοκήπια τα οποία εγκαθίστανται στο σύστημα τηλεθέρμανσης που εξυπηρετεί την περιοχή δίπλα από τη μονάδα. Παράλληλα και άλλες μορφές απορριπτόμενης θερμότητας από μονάδες ηλεκτροπαραγωγής (όπως από τους πύργους ψύξης) έχουν αξιοποιηθεί για τη θέρμανση θερμοκηπίων (Bredenbeck.H, 1992). Στην Εικόνα 1 φαίνονται τα ενεργά δίκτυα τηλεθέρμανσης στην Ευρώπη ανεξάρτητα από την ενεργειακή πηγή που χρησιμοποιείται στις μονάδες ηλεκτροπαραγωγής. Η περίπτωση της τηλεθέρμανσης εφαρμόζεται τόσο στην περίπτωση λιγνιτικών μονάδων ηλεκτροπαραγωγής, σε πυρηνικά εργοστάσια και σε μονάδες ηλεκτροπαραγωγής με γεωθερμία.



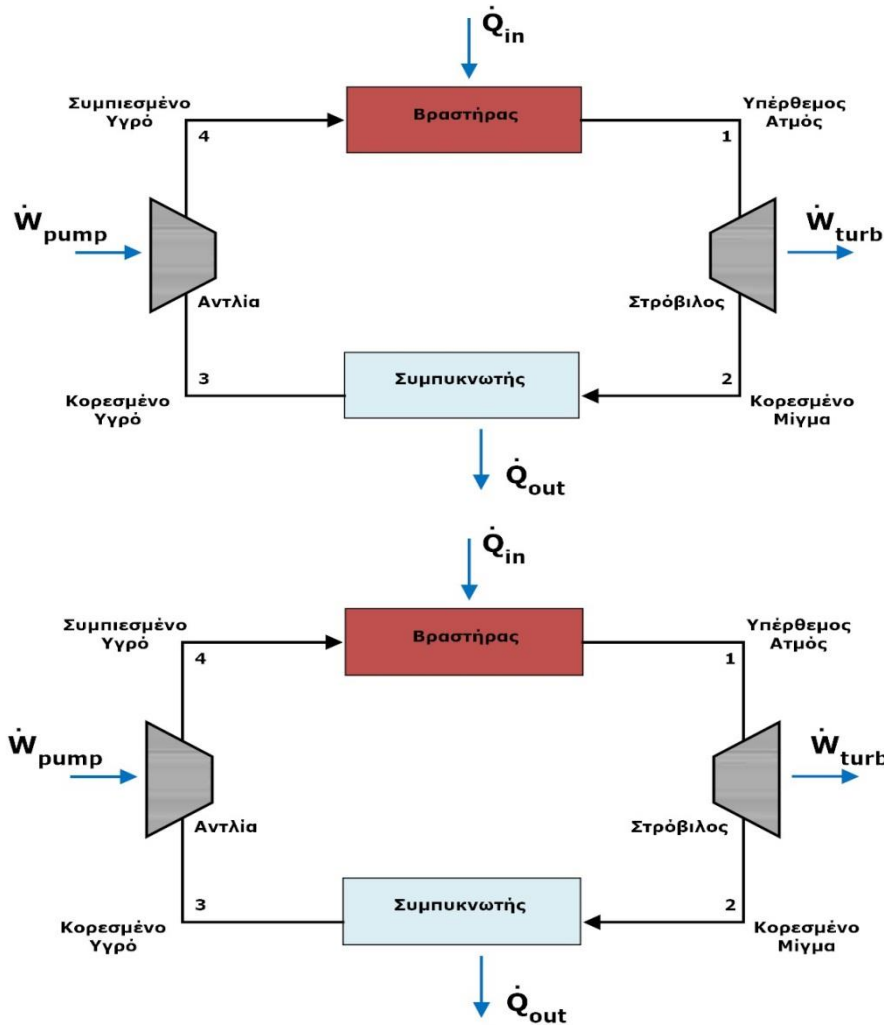
Εικόνα 1. Δίκτυα τηλεθέρμανσης στην Ευρώπη (G.A. Jóhannesson et al.,2016)

Εκτός των μεγάλων μονάδων ηλεκτροπαραγωγής, οι οποίες καλύπτουν ένα μεγάλο μέρος των αναγκών ηλεκτροπαραγωγής μίας περιοχής, έχουν εγκατασταθεί μικρές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής ισχύος της τάξης των 1-2MW για κάλυψη περιορισμένων αναγκών του δικτύου. Αυτές οι μονάδες είναι κατά κανόνα μονάδες αεριοστροβίλων που λειτουργούν υπό τον θερμοδυναμικό κύκλο Brayton ή εμβολοφόρες μηχανές. Οι μονάδες αυτές διαθέτουν ενσωματωμένο και το σύστημα ψύξης της μηχανής, με την απορριπτόμενη θερμότητα να είναι δυνατόν να αξιοποιηθεί υπό τη μορφή θερμού νερού. Μάλιστα, στην Ελλάδα, βάσει Νόμου η τιμή πώλησης του ηλεκτρικού ρεύματος τέτοιες μονάδες ηλεκτροπαραγωγής συνδέεται με την αξιοποίηση τόσο της απορριπτόμενης θερμότητας όσο και του CO₂ των καυσαερίων της καύσης (ΦΕΚ 4414/2016). Στις μηχανές αυτές η ποσότητα της απορριπτόμενης θερμότητας είναι περίπου ίδια με εκείνη της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Συνεπώς για μία μηχανή 1MW ηλεκτρικής ισχύος αντιστοιχεί ανάλογη ποσότητα θερμικής ισχύος που μπορεί να αξιοποιηθεί σε ένα θερμοκήπιο. Η θερμική ισχύς αυτή μπορεί να καλύψει ανάγκες θέρμανσης ανάλογα με την περιοχή και το επίπεδο του εγκατεστημένου εξοπλισμού από 5-10 στρ στην Ελλάδα.

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται από θερμοδυναμικής και τεχνικής άποψης η δυνατότητα λειτουργίας μονάδων συμπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας (ΣΗΘΥΑ) μικρής κλίμακας που λειτουργούν με εργαζόμενο μέσο τον ατμό, υπό τον κύκλο Rankine. Τα αποτελέσματα της μελέτης θα δείξουν κατά πόσο αξίζει να εξεταστεί ως εναλλακτική λύση η εγκατάσταση τέτοιων μονάδων έναντι των μονάδων που εγκαθίστανται κατά κύριο λόγο για τέτοιου τύπου εφαρμογές.

2. ΥΠΟΘΕΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ- ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΜΙΚΡΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΗΘΥΑ ΜΕ ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΜΕΣΟ ΤΟΝ ΑΤΜΟ

Η λειτουργία μίας τέτοιας μονάδας λειτουργεί υπό τον θερμοδυναμικό κύκλο Rankine. Στο Σχήμα 1 απεικονίζεται η διάταξη του θερμοδυναμικού κύκλου και απεικονίζονται οι συσκευές οι οποίες συνεργάζονται για την υλοποίηση της διεργασίας. Επίσης στο Σχήμα 1 σημειώνονται οι φάσεις στις οποίες εμφανίζεται το εργαζόμενο μέσο στα διάφορα σημεία του κύκλου. Στον κύκλο δεν εμφανίζεται η πηγή από την οποία προέρχεται η θερμότητα στη συσκευή παραγωγής του υπέρθερμου ατμού όπου θα αναλυθεί στη συνέχεια.



Σχήμα 1. Σχηματική απεικόνιση του συστήματος ηλεκτροπαραγωγής με ατμό

Οι συσκευές οι οποίες συμμετέχουν στη διεργασία είναι ο βραστήρας-λέβητας, στον οποίο παράγεται ο υπέρθερος ατμός. Ο στρόβιλος στον οποίο παράγεται το μηχανικό έργο το οποίο εν' συνεχεία μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια. Στον συμπυκνωτή το κορεσμένο μίγμα χάνει μέρος της ενέργειας του ώστε να γίνει κορεσμένο υγρό και να μπορεί να επαναλάβει τον κύκλο. Η αντλία πρακτικά έχει τον ρόλο να κυκλοφορεί το μέσο με τη σωστή πίεση και παροχή στον σύνολο της κυκλικής διεργασίας. Στην πράξη για να υλοποιηθεί ένα τέτοιο σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας απόδοσης 1MW θα πρέπει να εγκατασταθούν συσκευές οι οποίες θα είναι δυνατόν να επιτευχθεί το αποτέλεσμα αυτό βάσει των βαθμών απόδοσης του θερμοδυναμικού κύκλου Rankine. Έτσι για τους σκοπούς της μελέτης θα επιλεγούν οι συσκευές οι οποίες περιγράφονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Ενδεικτικά χαρακτηριστικά συσκευών για την εγκατάσταση μονάδας ηλεκτροπαραγωγής μικρής κλίμακας (περίπου 1MW) για υποστήριξη αναγκών θερμοκηπίου

A/A	Τμήμα θερμοδυναμικού κύκλου	Περιγραφή χαρακτηριστικά	εξοπλισμού	Ενεργειακά χαρακτηριστικά
1	Βραστήρας- Μονάδα παραγωγής υπέρθερμου ατμού (Zosen official webiste)	-Παροχή ατμού: ≤20tn/hour -Πίεση λειτουργίας:0,7-2MPa -Θερμοκρασία: ≤204°C		-Βαθμός απόδοσης:88%
2	Ατμοστρόβιλος ηλεκτροπαραγωγής (Siemens-Energy official website)	-Πίεση λειτουργίας: ≤6,3MPa -Θερμοκρασία ατμού:≤482°C	εισόδου	-Ισχύς εξόδου≤3,5MW -Βαθμός απόδοσης: 90%
3	Συμπυκνωτής εναλλάκτης κελύφους/αυλών (Watco group official website)	-Θερμοκρασία συμπύκνωσης: 25°C -Ικανότητα παροχής: ≤50tn/hour		-Βαθμός απόδοσης: 85%
4	Αντλία/κυκλοφορητής	Η ισχύς θα προκύψει από τους υπολογισμούς		

3. ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Η προτεινόμενη διάταξη λειτουργεί υπό τον θερμοδυναμικό κύκλο Rankine. Σύμφωνα με τον ιδανικό κύκλο στον βραστήρα η διεργασία είναι ισοβαρής θέρμανση. Η διεργασία στον στρόβιλο είναι ισεντροπική παραγωγή έργου. Η συμπύκνωση αποτελεί επίσης μία ισοβαρής απόρριψη θερμότητας, ενώ η συμπίεση που λαμβάνει χώρα στην αντλία θεωρείται ισεντροπική. Τα ενεργειακά μεγέθη που απεικονίζονται στο Σχήμα 1 , όπως και ο βαθμός απόδοσης του κύκλου περιγράφονται στις Εξισώσεις [1]-[5]. Οι Εξισώσεις [1]-[4], προκύπτουν από την εφαρμογή του 1^{ου} θερμοδυναμικού νόμου σε κάθε συσκευή ξεχωριστά. Στην Εξίσωση [6], δίνεται το ενεργειακό ισοζύγιο του κύκλου.

$$\dot{Q}_{in} = \dot{m}(h_4 - h_1) \quad [1]$$

$$\dot{W}_{turb} = \dot{m}(h_2 - h_1) \quad [2]$$

$$\dot{Q}_{out} = \dot{m}(h_3 - h_2) \quad [3]$$

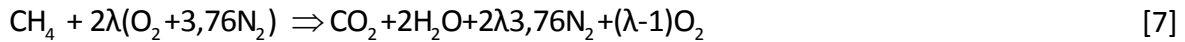
$$\dot{W}_{pump} = v_3(p_4 - p_3) \quad [4]$$

$$\eta_{th} = \frac{\dot{W}_{turb} - \dot{W}_{pump}}{\dot{Q}_{in}} \quad [5]$$

$$\dot{W}_{turb} + \dot{Q}_{out} = \dot{W}_{pump} + \dot{Q}_{in} \quad [6]$$

Οι ποσότητες h_i είναι η ειδική ενθαλπία του ατμού σε κάθε σημείο του κύκλου και λαμβάνεται από θερμοδυναμικούς πίνακες ανάλογα με τη θερμοκρασία ή την πίεση στην οποία βρίσκεται το μέσο. Η ποσότητα v_3 είναι ο ειδικός όγκος του κορεσμένου υγρού κατά την είσοδο του στην αντλία. Μέσω των παραπάνω Εξισώσεων είναι δυνατόν μέσω και του βαθμού απόδοσης της κάθε μίας εξ' αυτών να βρεθούν από την ποσότητα \dot{W}_{turb} η εξερχόμενη ηλεκτρική ισχύς από το σύστημα και η απορριπτόμενη θερμότητα στον συμπυκνωτή. Αυτά είναι δύο από τα μεγέθη που έχουν ενδιαφέρον στην παρούσα ανάλυση καθώς μπορούν να αξιοποιηθούν είτε ως προς πώληση (ηλεκτρική ενέργεια) , είτε ως προς κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του θερμοκηπίου (απορριπτόμενη θερμότητα ή ηλεκτρική ενέργεια).

Ένα δεύτερο σημαντικό κομμάτι, ώστε να θεωρηθεί η λύση συγκρίσιμη με εκείνη των ΣΗΘΥΑ που εργάζονται με αεριοστροβίλους ή εμβολοφόρες μηχανές είναι η αξιοποίηση του CO₂ που προκύπτει από την καύση που πραγματοποιείται στη διεργασία 4 -> 1. Εδώ θα γίνει η υπόθεση ότι ο θερμοαντήρας δουλεύει με φυσικό αέριο, ώστε η υπόθεση να είναι πιο κοντά στην περίπτωση των ΣΗΘΥΑ που δουλεύουν με αεριοστροβίλους ή εμβολοφόρες μηχανές. Η καύση με λόγο αέρα λ, περιγράφεται στην Εξίσωση [7].



Για να εκτιμηθεί η ποσότητα παραγόμενου CO₂ θα πρέπει να καθοριστεί η ποσότητα CH₄ που πρέπει να διοχετευθεί στον θάλαμο καύσης ώστε να παραχθεί η απαραίτητη θερμική ισχύς που χρειάζεται για να παραχθεί ο υπέρθερμος ατμός. Η θερμική ισχύς αυτή προκύπτει από τον βαθμό απόδοσης του θερμοαντήρα και της θερμικής ισχύος όπως θα προκύψει από το ισοζύγιο της Εξίσωσης [6]. Για τον καθορισμό της θερμικής ισχύος που εκλύεται κατά την καύση θα πρέπει να εφαρμοστεί το ενεργειακό ισοζύγιο της καύσης. Το ενεργειακό ισοζύγιο της καύσης περιγράφεται από την Εξίσωση [8]. Για τον καθορισμό της ενθαλπίας του κάθε στοιχείου είναι απαραίτητη η γνώση της ενθαλπίας αναφοράς ή μέσης ειδικής θερμοχωρητικότητας της ένωσης, που είναι πρακτικά το ενεργειακό περιεχόμενο της ένωσης όπως έχει μετρηθεί σε συγκεκριμένη θερμοκρασία και η θερμοκρασία στην οποία βρίσκεται κατά την εκτέλεση της χημικής αντίδρασης (Baehr, 2001). Η λογική περιγράφεται στην Εξίσωση [9], όπου c_p η μέση ειδική θερμοχωρητικότητα του καυσίμου σε θερμοκρασία αναφοράς T_j. Γίνεται αντιληπτό ότι η μεταβολή της θερμοκρασίας παίζει σημαντικό ρόλο στην περίπτωση των καυσαερίων όπου η θερμοκρασία τους μπορεί να μεταβληθεί σημαντικά από τη θερμοκρασία αναφοράς η οποία είναι μία συνηθισμένη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Οι τιμές της ειδικής θερμοχωρητικότητας λαμβάνονται από σχετικούς θερμοδυναμικούς πίνακες από τη βιβλιογραφία.

$$q_{\text{καύσης}} + (h_{\text{καυσ}(T_{\text{καυσ}})}) = (h_{\text{καυσίμου}(T_{\text{καυσίμου}})}) + (h_{\text{αέρα}(T_{\text{αέρα}})}) \quad [8]$$

$$h_{i(T_j)} = (c_{p_i})T_j \quad [9]$$

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στον Πίνακα 2 περιγράφονται τα ενεργειακά μεγέθη όπως αυτά υπολογίστηκαν βάσει των Εξισώσεων [1]-[7] και των δεδομένων του Πίνακα 1.

Πίνακας 2. Αποτελέσματα θερμοδυναμικής ανάλυσης

Διεργασία	Περιγραφή	Ρεισόδου	Ρεξόδο	Παροχή	Ενεργειακός υπολογισμός	Βαθμός απόδοσης
4 -> 1	Ισοβαρής θέρμανση	1,4MPa	1,4MPa	5tn/hr	Q _{in} =3,68MW	88%
1 -> 2	Ισεντροπική εκτόνωση	1,4MPa	10kPa	5tn/hr	W _{turb} =1,14MW	90%
2 -> 3	Ισοβαρής απόρριψη θερμότητας	10kPa	10kPa	5tn/hr	Q _{out} =2,52MW	85%
3 -> 4	Ισεντροπική συμπίεση	10kPa	1,4MPa	5tn/hr	W _{ump} =1,9kW	90%

*Ο ατμός θεωρείται ότι εξέρχεται από το μίγμα σε μορφή κορεσμένου μίγματος με βαθμό ξηρότητας x=0,7 σε πίεση 10kPa

*Στην είσοδο του στροβίλου ο υπέρθερμος ατμός θεωρείται ότι έχει θερμοκρασία 200°C

*Οι διεργασίες λαμβάνουν χώρα ιδανικά- οι βαθμοί απόδοσης αφορούν στην μετέπειτα μετατροπή τους

*Οι τιμές των μεγεθών των ενθαλπιών *h_i* λαμβάνονται από τη βιβλιογραφία (Cengel.Y.A και M. A. Boles, 1998)

Σε επίπεδο διεργασίας καύσης, με δεδομένο ότι η αποδιδόμενη θερμική ισχύς στον βραστήρα πρέπει να είναι 3,86MW και με δεδομένο ότι ο βαθμός απόδοσης είναι 88% προκύπτει ότι η προσδιδόμενη θερμότητα από τον λέβητα προς τη συσκευή παραγωγής ατμού πρέπει να είναι 4,38MW. Θεωρώντας θερμοκρασία καυσαερίων 700-750°C (Cengel.Y.A και M. A. Boles, 1998) και λόγο αέρα λ=1,2 για να επιτευχθεί πλήρης καύση προκύπτουν τα δεδομένα του Πίνακα 3. Μέσω της απαιτούμενης ισχύος θα προκύψει η παροχή του καυσίμου και κατ' επέκταση η παροχή του CO₂.

Πίνακας 3. Δεδομένα καύσης

Ένωση	Ενθαλπία καύσης (kJ/kmol)	Ειδική ενθαλπία (7°C) (kJ/kmol)	Ειδική ενθαλπία (25°C) (kJ/kmol)	Ειδική ενθαλπία (727°C)
CH ₄	-74,21	-	-	-
O ₂	-	8150	8682	31,389
N ₂	-	8144	8669	30,129
CO ₂	-393,52	-	9364	42,76
H ₂ O	-241,82	-	9904	35,882

Από την εκτέλεση του υπολογισμού προκύπτει ειδική θερμότητα καύσης 103,440 (kJ/kmol) ή 1655,04 (kJ/kg). Με δεδομένη την ισχύς προκύπτει απαιτούμενη παροχή 2,645 (kg/sec). Ακριβώς ίδια είναι και η απαιτούμενη ποσότητα CO₂ που παράγεται από τον θάλαμο καύσης υπό τη μορφή καυσαερίων.

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτει συγκεντρωτικά ότι προς μία υποτιθέμενη θερμοκηπιακή μονάδα παρέχονται:

1. Θερμική ισχύς υπό τη μορφή θερμού νερού (2142kW)
2. Ηλεκτρική ισχύς προς το δίκτυο (1026kW)
3. CO₂ (2,645 kg/sec)

Η θερμική ισχύς που προκύπτει μπορεί να καλύψει ανάγκες θέρμανσης θερμοκηπίου ανάλογα με την περιοχή εγκατάστασης, το υλικό κάλυψης, τα συστήματα εξοικονόμησης ενέργειας κτλ. Θεωρώντας ότι οι ανάγκες θέρμανσης στην Ελλάδα κυμαίνονται από 100-300 kW/στρέμμα η διαθέσιμη θερμική ισχύς μπορεί να καλύψει θερμοκήπια από 7-20 στρέμματα. Αντίστοιχα μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να καλύψει πλήρως τις ανάγκες του θερμοκηπίου, έστω και θεωρητικά καθώς από το κόστος πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας είναι δυνατόν να καλυφθεί το κόστος αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας. Τέλος ανάλογα με το είδος και τις ανάγκες της καλλιέργειας είναι δυνατόν να αξιοποιηθεί η συνεχόμενη παροχή CO₂ για τη βελτίωση των αποδόσεων.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα μελέτη διερευνήθηκε η απόδοση ενός συστήματος συμπαραγωγής με ατμό μικρής κλίμακας για την κάλυψη αναγκών ενέργειας CO₂ θερμοκηπίου. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο συνδυασμός εμπορικών συσκευών μικρής κλίμακας μπορεί να επιτύχει αποτελέσματα παρόμοια με εκείνα των μηχανών που λειτουργούν με αεριοστρόβιλους. Η εφαρμογή τέτοιων συστημάτων είναι πιο συμφέρουσα στην περίπτωση θερμοκηπίων μεγάλης αξίας με εξοπλισμό και καλής ποιότητας κατασκευή. Παρόλα τα θετικά αποτελέσματα από ενεργειακής άποψης θα πρέπει να εξεταστεί η βιωσιμότητα του συστήματος από οικονομικής και τεχνικής σκοπιάς, κυρίως γιατί αποτελείται από πλήθος διαφορετικών συσκευών ενώ απαιτεί και σημαντικό αριθμό συμπληρωματικού εξοπλισμού που δεν αποτελεί αντικείμενο της παρούσας εργασίας.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Baehr H.D, Θερμοδυναμική-Εισαγωγή στα θεμελιώση και στις τεχνικές εφαρμογές, Γιαχούδη-Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη 2001
- Bredenbeck.H, *The use of waste heat from a power plant for greenhouse heating in commercial application in Germany*, ISHS Acta Horticulturae 312, (1992)
- Cengel.Y.A και M. A. Boles, *Thermodynamics: An Engineering Approach*. Thessaloniki-Greece, Tziolas Publications (1998)
- Davies P. A., Hossain A. K., Lychnos, G, Pato.C, *Energy saving and solar electricity in fan-ventilated greenhouses*, ISHS International Workshop on Greenhouse Environmental Control and Crop Production in Semi-Arid Regions, Acta Horticulturae,, 797, 95-101 (2008)
- Dincer.I, *Energy Fundamentals-Steam Rankine Cycle*, Comprehensive Energy Systems-Elsevier (2018)
- Hanan J.J., *Greenhouses-Advanced Technology for Protected Horticulture*. USA, CRC Press, (1988)
- Jóhannesson, G.A., H.P. Ingólfsson, G.Siddiqi, P.Ramsak, G.Breembroek, A.Manzella, E.Trumpy, S.Schreiber, B.Pétursson, A.W. Stoklosa, S.Björnsson, P.Calcagno, M.Lacirignol, A.Lapanje, A.Nador, M.Cunha, J.Stadtruckerová, Karaoz, *European cooperation on geothermal research through the GEOTHERMAL ERA NET*, European Geothermal Congress (2016)
- Mechanicalboost official website, *Rankine Cycle | How to Calculate the Efficiency of the Rankine Cycle?*, URL: <https://mechanicalboost.com/rankine-cycle/>
- Sanford.S, *Reducing greenhouse energy consumption-an overview*, A3907-1/University of Wisconsin -USDA, (2011)
- Siemens- Energy official website, *Dresser-Rand steam turbines*, URL: <https://www.siemens-energy.com/global/en/offerings/power-generation/steam-turbines/d-r-steam-turbines.html>
- Watco Group official website, *Surface condenser and its function in thermal power plant*, URL: <https://www.watco-group.co/surface-condenser-in-thermal-power-plant/>
- Zezon official website, *DZL series biomass-fired steam boiler- DZL6-1.60-M*, URL: <https://en.zozen.com/products/dzl-series-biomass-fired-steamboiler.html?5xyFrom=google-gg#div1>
- Νόμος 4414/2016 : *Νέο καθεστώς στήριξης των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης - Διατάξεις για το νομικό και λειτουργικό διαχωρισμό των κλάδων προμήθειας και διανομής στην αγορά του φυσικού αερίου και άλλες διατάξεις.*

MASS DEPLOYMENT OF PLANT FACTORIES AS A SOURCE OF LOAD FLEXIBILITY IN THE GRID UNDER AN ENERGY-FOOD NEXUS. A TECHNOECONOMICS-BASED COMPARISON

Dafni D. Avgoustaki^{1,2}, George Xydis¹, Thomas Bartzanas²

¹ *Center of Energy Technologies, Department of Business Development and Technology, Aarhus University, Herning, Denmark*

² *Department of Natural Resources and Agricultural Engineering, Agricultural University of Athens, Iera Odos 75, Athens, Greece, e-mail: dafni_av@hotmail.com*

Abstract

There is no clear solution to deal with the severe consequences of rapid and intense urbanisation. An Energy-Food Nexus could optimise the way that cities interact, while simultaneously meeting the energy and food demands in the intense urban environments. This research studies how vertical farms could act as a source of load flexibility through a wind energy project. Different scenarios were developed and analysed for a specific case in Central Greece, while it was revealed that the possible investors in both wind energy and vertical farms, for most of the cases, would have a full payback of their investment in less than 8 years, while in some other scenarios in only 4 years.

Keywords: Vertical Farms, Energy-Food Nexus, Load flexibility, Techno economics

ΜΑΖΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΘΕΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΩΣ ΠΗΓΗ ΕΥΕΛΙΞΙΑΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΥΠΟ ΤΗ ΣΥΝΔΕΣΗ ΕΝΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ – ΤΡΟΦΙΜΩΝ. ΜΙΑ ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Δ. Αυγουστάκη^{1,2}, Γ. Ξύδης¹, Θ. Μπαρτζάνας²

¹ *Center of Energy Technologies, Department of Business Development and Technology, Aarhus University, Herning, Denmark*

² *Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών, Τμήμα Γεωπονίας, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα, Ελλάδα, e-mail: dafni_av@hotmail.com*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Δεν υπάρχει σαφής λύση για την αντιμετώπιση των σοβαρών συνεπειών της ταχείας αστικοποίησης. Ένα δίκτυο Ενέργειας-Τροφίμων θα μπορούσε να βελτιστοποιήσει τον τρόπο που οι πόλεις αλληλεπιδρούν και παράλληλα ικανοποιούν τη ζήτηση των ενεργειακών και τροφικών τους απαιτήσεων. Αυτή η εργασία μελετάει μία ολοκληρωμένη λύση, εισάγοντας τις κάθετες καλλιέργειες (VFs) ως τοπικές μονάδες παραγωγής καθώς και ως συστήματα υποστήριξης του δικτύου. Εξετάζεται πως τα VFs μπορούν να λειτουργήσουν ως πηγή ευελιξίας του φορτίου μέσω των έργων αιολικής ενέργειας. Κάτω από διάφορα σενάρια, αποκαλύφθηκε ότι πιθανοί επενδυτές τόσο σε αιολική ενέργεια όσο και σε VFs μπορούν να έχουν πλήρη αποπληρωμή της επένδυσής τους σε λιγότερο από 8 έτη.

Λέξεις κλειδιά: Κάθετες Καλλιέργειες, Δίκτυο Ενέργειας-Τροφίμων, Ευελιξία Φορτίου, Τεχνοοικονομικά

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μέχρι το 2050, οι επιστήμονες αναμένουν μία ραγδαία αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού, ο οποίος θα σκαρφαλώσει στα 10 εκατομμύρια ανθρώπους περίπου. Παράλληλα, ο περισσότερος πληθυσμός όλο και πιο έντονα τα τελευταία χρόνια συγκεντρώνεται σε μεγάλα αστικά κέντρα (70% του παγκόσμιου πληθυσμού μέχρι το 2050, UNESDA, 2014) δημιουργώντας τεράστιες απαιτήσεις υψηλής ποιότητας και ποσότητας φρέσκιας τροφής.

Ένας νέος και πρωτοποριακός τρόπος καλλιέργειας εισήχθη πριν λίγα χρόνια στην αγορά με το όνομα κάθετες καλλιέργειες (Vertical Farms). Στις VFs, τα φυτά αναπτύσσονται σε ελεγχόμενο περιβάλλον θερμοκρασίας, υγρασίας και CO₂ και με υδροπονικά ή αεροπονικά συστήματα υποστήριξης, τα οποία επιτρέπουν της συλλογή, καθαρισμό, ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση του νερού και των θρεπτικών συστατικών στην καλλιέργεια. Οι θάλαμοι καλλιέργειας παρουσιάζουν υψηλή μόνωση, έτσι ώστε να είναι δυνατή η διατήρηση των επιθυμητών καλλιεργητικών συνθηκών και τα φυτά μεγαλώνουν σε πολλαπλά κάθετα ράφια. Ταυτόχρονα, υπάρχει πλήρης αντικατάσταση του φυσικού ηλιακού φωτισμού από τεχνητό φωτισμό (LED λάμπες) ο οποίος προσφέρει στα φυτά τα βέλτιστα χαρακτηριστικά φωτονίων που τους χρειάζονται για την καλύτερη και μέγιστη ανάπτυξή τους. Οι VFs παρουσιάζουν μεγάλη ευελιξία εγκατάστασης σε μέγεθος και τεχνολογία, αφού μπορούν να τοποθετηθούν σε διαφορετικά μέρη μίας αστικής περιοχής, προσφέροντας υψηλής θρεπτικής ποιότητας, φρέσκα λαχανικά στους τοπικούς καταναλωτές. Σημαντικά είναι ωστόσο και τα περιβαλλοντικά οφέλη που προκύπτουν από την εφαρμογή και χρήση VFs αφού τα τρόφιμα που προέρχονται από παραδοσιακή γεωργία στον αγρό καταναλώνουν 4 με 17 φορές περισσότερα καύσιμα και εκπέμπουν 5 με 17 περισσότερο CO₂ σε σύγκριση με τα τρόφιμα που καλλιεργούνται σε τοπικές μονάδες παραγωγής (Jill, 2008).

Ωστόσο, οι κάθετες καλλιέργειες ως νέα ακόμα τεχνολογία έχει σημαντικές προκλήσεις να αντιμετωπίσει που επηρεάζουν την βιωσιμότητα και την κερδοφορία της. Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα είναι η αυξημένη ημερήσια χρήση των LED λαμπών που συνεπάγεται με υψηλή ενεργειακή κατανάλωση αλλά και μεγάλα λειτουργικά κόστη για τις φάρμες (40% του κόστους παραγωγής) (Kozai, 2016). Η παρούσα εργασία στοχεύει στη συμβολή της επέκτασης της γνώσης σχετικά με τη σύνθετη δυναμική που θα μπορούσε να προκύψει μέσω υβριδικών ενεργειακών συστημάτων κατοικήσιμων περιοχών σε συνδυασμό με τοπικές VFs. Ο κύριος σκοπός αυτής της έρευνας είναι η αξιολόγηση τη δυνατότητας βέλτιστης εγκατάστασης VFs σε συνδυασμό με ενεργειακές λύσεις εντός πόλεων, την παράλληλη τοπική παραγωγή λαχανικών όταν η ενέργεια του παρόχου είναι φτηνή με βάση την απόκριση ζήτησης (Demand Response – DR) ή με βάση τις αποφάσεις περιορισμού της ισχύος και τη χρήση συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

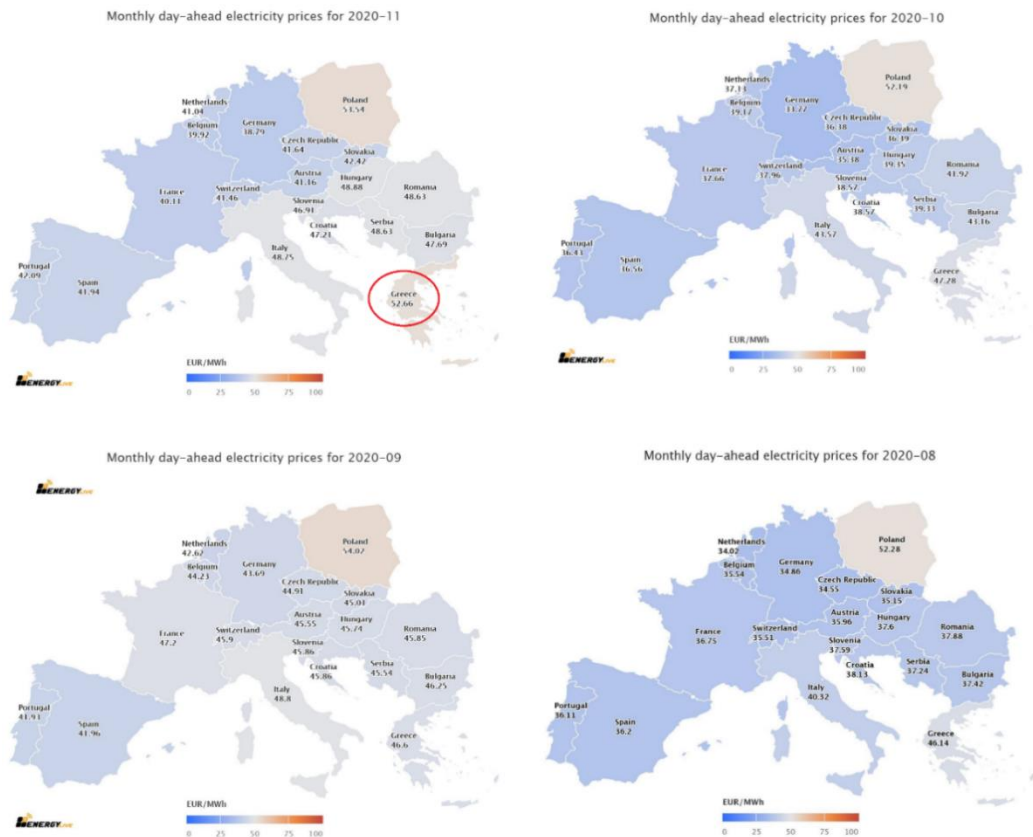
Για τον ολιστικό μετασχηματισμό του ενεργειακού συστήματος, είναι απαραίτητη η στροφή προς μία έξυπνη πόλη όπου υπάρχουν περισσότεροι από ένα τομείς που αλληλεπιδρούν και οι πηγές ενέργειας συνδέονται με τη βιώσιμη λειτουργία των μεταφορών και του αγροτικού τομέα. Το επιχειρηματικό σχέδιο για κάθε μεγάλη ή μικρή αγροτική επιχείρηση βασίζεται σε ένα οικοσύστημα πολλαπλών αξιών προς την πράσινη μετάβαση. Μία τέτοια σύνδεση μπορεί να συμβάλει αποτελεσματικά στην αύξηση της ολοκλήρωσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μέσω της απορρόφησης της απορριφθείσας ενέργειας και ταυτοχρόνως να υποστηρίζει την αύξηση της τοπικής

παραγωγής λαχανικών. Η πλεονάζουσα ενέργεια που θα έπρεπε να περιορίζεται ή να προσφέρεται βάση ενός καθεστώτος κινήτρων αρνητικών τιμών – σύμφωνα με τον TSO – μπορεί να προσφέρεται στην τοπική βιομηχανία VF για παραγωγή και διανομή, προσεγγίζοντας μία πολλαπλή ροή εσόδων.

2.1. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ

Αυτή η μελέτη έλαβε υπόψιν της την ενεργειακή ζήτηση συγκεκριμένης παράκτιας περιοχής στην Ελλάδα (Γαλαξίδι), τις τιμές πώλησης επιλεγμένων αγροτικών προϊόντων, τις ανάγκες σε μικρής κλίμακας VFs και την αγορά και δυνατότητα παραγωγής αιολικής ενέργειας.

Η Ελλάδα έχει περίπου 4.000MW αιολικής ενέργειας (2020), ενώ ο στόχος του 2020 ήταν 7.500 MW. Αυτό σημαίνει ότι τα επόμενα χρόνια αναμένεται μαζική πραγματοποίηση επενδύσεων και ενσωμάτωση υψηλότερων ποσών ανανεώσιμης ενέργειας στο σύστημα. Επιπλέον, σε σχέση με άλλες Ευρωπαϊκές χώρες, στην Ελλάδα παρουσιάζει λίγες διαθέσιμες ευέλικτες μονάδες που περιορίζουν τις επιλογές για βοηθητικές υπηρεσίες στη χώρα, τη ΔΕΗ και τους ιδιώτες μετόχους, οι οποίοι υπερτιμολογούν τα αποθέματά τους. Αυτό έχει άμεσο αντίκτυπο στην υπερφόρτωση των περιθωριακών τιμών του συστήματος και κατά συνέπεια στους λογαριασμούς του ηλεκτρικού ρεύματος για τους τελικούς χρήστες. Όπως παρατηρείται στο Γράφημα 1, μεταξύ Αυγούστου 2020-Οκτώβρη 2020, το σύστημα ήταν οριακό με τιμές που κυμαίνονταν μεταξύ 46 και 47 €/MWh, ενώ το Νοέμβριο του 2020 ολοκληρώθηκε περίπου στα 53 €/MWh. Ο ανεξάρτητος φορέας εκπομπής ενέργειας (ΑΔΜΗΕ) ζήτησε την αύξηση της ποσότητας ενέργειας από υδροηλεκτρικό δύναμη για να καλύψει την ημερήσια ζήτηση, δεδομένου ότι οι παραγωγοί των θερμικών μονάδων κάνουν προσφορές σε πολύ υψηλές τιμές. Ως αποτέλεσμα, τα αποθέματα του νερού, τα οποία κανονικά θα πρέπει να διατηρούνται ως αποθεματικά για τους καλοκαιρινούς μήνες, μειώθηκαν στο σημείο όπου εκφράζονται ανησυχίες για το ενδεχόμενο αστάθειας του συστήματος το καλοκαίρι λόγω έλλειψης αποθεματικών και τις ανάγκες άρδευσης.



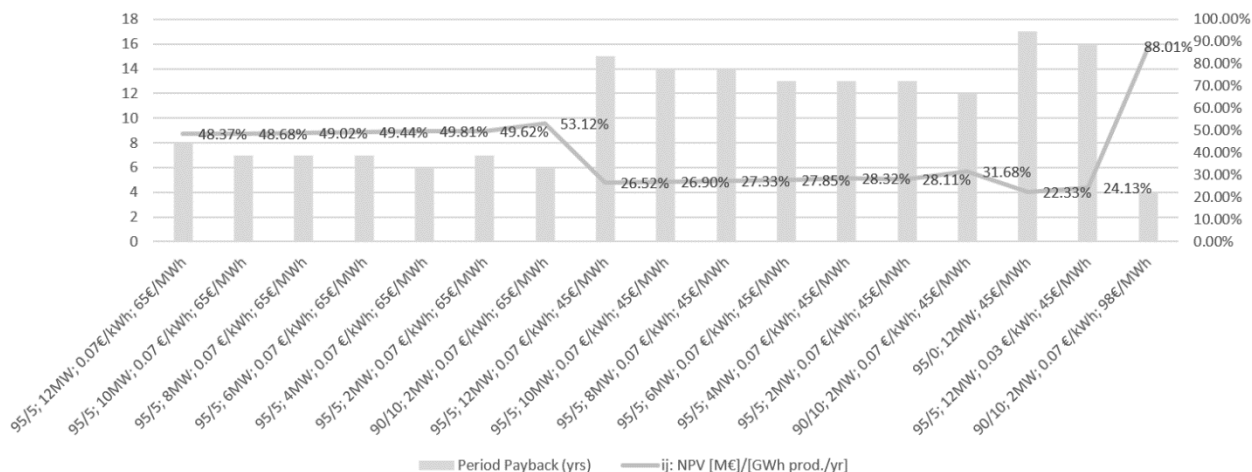
Γράφημα 1. Μηνιαίες τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας της επόμενης ημέρας Αυγούστου-Νοεμβρίου 2020 σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες (δεδομένα: προσφέρονται από την ENERGYLive).

Έτσι, όταν οι ιδιώτες παραγωγοί προσφέρουν υψηλές τιμές, η ανάσχυση για κάλυψη της ζήτησης, αυτόματα πέφτει σε υδροηλεκτρική ενέργεια. Οι τιμές συγκρατούνται αλλά οι δεξαμενές παράλληλα αδειάζουν. Το πρόβλημα θα παραμείνει, εκτός αν δημιουργηθούν νέες επενδύσεις σε εύκαμπτες μονάδες ηλεκτρικών οχημάτων, αντλιών θερμότητας ή μέσων αποθήκευσης. Στο πλαίσιο μιας τέτοιας προσέγγισης, τόσο ο ΔΣΜ όσο και ο ΑΔΜΗΕ θα πρέπει να αρχίσουν να απορρίπτουν υψηλές ποσότητες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που δεν είναι βιώσιμες για την εθνική πολιτική δικτύου.

Σύμφωνα με μία σειρά σεναρίων που δοκιμάστηκαν, προσφέρθηκαν διαφορετικές τιμές ηλεκτρικής ενέργειας και διαφορετικές οριακές τιμές. Η ανάλυση των ταμιακών ροών για κάθε σενάριο, ανάλογα με το μερίδιο ηλεκτρικής ενέργειας στην αγορά και της ηλεκτρικής ενέργειας προς τις μονάδες VF αλλά και οι διαφορετικές ικανότητές των αιολικών πάρκων, αποκάλυψαν ποιά είναι τα βέλτιστα σενάρια και ποιά θα μπορούσαν να είναι βιώσιμα μακροπρόθεσμα.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Μετά την ανάλυση των ταμιακών ροών με πολλαπλές προσεγγίσεις ροής εσόδων, 34 σενάρια αναλύθηκαν μέσω μίας ολιστικής τεχνοοικονομικής ανάλυσης (Γράφημα 2). Το «90/10» (ή «95/5» ή «95/0») σημαίνει το 95% του ΑΕΠ παραδόθηκε στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και το 10% (ή 5% ή 0%) περιορίστηκε και προσφέρθηκε στις μονάδες VF στην περιοχή των δημοτικών ενοτήτων Τολοφώνου και Γαλαξιδίου, σε φθηνότερη τιμή σε σύγκριση με τα σχέδια ηλεκτρικής ενέργειας που ανακοινώθηκε από διάφορους παρόχους (Energy Exchange Group, 2020).



Γράφημα 2. Παρουσίαση των διαφόρων σεναρίων: περίοδος αποπληρωμής.

Σε γενικές γραμμές, φαίνεται ότι σε όλα τα σενάρια, ο χρόνος αποπληρωμής δεν μπορεί να είναι κάτω από 17 έτη. Στο ίδιο σενάριο όταν τα κέρδη προστίθενται, η περίοδος αποπληρωμής γίνεται σε 15-16 χρόνια. Ωστόσο, σε ένα πιο κανονικοποιημένο σύστημα κερδών με 65 €/MWh, μία τέτοια επένδυση θα χρειαζόταν πιθανώς 6-8 χρόνια αποπληρωμής στις περισσότερες περιπτώσεις, κάτι που είναι επιθυμητό από την πλευρά του επενδυτή με IRR από 13 έως 18%. Φυσικά, στην περίπτωση του 98 €/MWh, αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει σε περιόδους αποπληρωμής 4 έτη και IRR πάνω από 30%. Όπως μπορεί να φανεί, έργα με ισχύ 8-12 MW μπορούν να καλύψουν το 96-100% των αναγκών των κατοικιών.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση την ανάλυση αυτής της έρευνας αποδείχτηκε ότι ένα πολυδύναμο επιχειρηματικό μοντέλο μπορεί να ενισχύσει την βιομηχανία και να συνδέσει τις VFs με αυτό που χρειάζονται τα δίκτυα ισχύος, δηλαδή την ευελιξία υπό την σύνδεση ενός δικτύου Ενέργειας-Τροφίμων. Μία μεγάλης κλίμακα ανάπτυξη τέτοιου δικτύου θα συνεπαγόταν με την εξοικονόμηση εκατομμύρια τόνων CO₂ στο παγκόσμιο αστικό περιβάλλον.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Energy Exchange Group, 2020. Online. Available: <https://www.enexgroup.gr/w eb/guest/home> (Accessed: 20 June 2021).
- Jill, H., 2008. Food Miles: Background and Marketing. Attra. 1-800-346-9140.
- Kozai, T., Niy, G., Takagaki, M., 2016. In: Takagaki (Ed.), Plant Factory: An indoor vertical farming system for efficient quality food production. Academic Press, San Diego.
- UNESDA, 2014. World's population increasingly urban with more than half living in urban areas | UN DESA | United Nations Department of Economic and Social Affairs. [world-urbanization-prospects-2014.html](http://www.un.org/en/development/desa/urbanization-prospects-2014.html) (accessed April 1, 2018).

ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΑΙΚΗ ΕΝΩΣΗ

Π. Γιατσίδης & Ζ. Ανδρεοπούλου

Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος Α.Π.Θ., Τομέας Σχεδιασμού και Ανάπτυξης
Φυσικών Πόρων, 55133, Θεσσαλονίκη, e-mail: giatsidis@for.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη και η καταγραφή διαφόρων χαρακτηριστικών των ενεργειακών πολιτικών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ώστε να γίνει αντιληπτή η συνεισφορά της ΕΕ στους πολίτες της. Εξαιτίας της υπερκατανάλωσης των συμβατικών πηγών ενέργειας, δημιουργήθηκε η ανάγκη για επιπλέον χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας παγκοσμίως, ώστε να συνεχιστεί η χρήση της ενέργειας, που είναι τόσο σημαντική για την ύπαρξη της ανθρώπινης ζωής. Η ενέργεια μπορεί να αντληθεί πλέον σε μεγάλο βαθμό από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή ενέργεια. Για αυτό το λόγο, στην Ευρώπη, η Ευρωπαϊκή Ένωση αποφάσισε να επενδύσει στην ενέργεια θεσμοθετώντας διάφορες ενεργειακές πολιτικές. Οι πολιτικές αυτές, μέχρι το τέλος του 2020, φτάνουν σε αριθμό τις 84 και στοχεύουν κυρίως σε πρωτοβουλίες και δράσεις, ώστε η ενέργεια να είναι προσιτή σε όλους. Ακόμα, η ΕΕ αποφάσισε την ίδρυση της Ενεργειακής Ένωσης, προκειμένου να συνεχίσει με πιο εντατικό ρυθμό το έργο της στον ενεργειακό τομέα.

Λέξεις κλειδιά: Ευρωπαϊκή Ένωση, ενεργειακές πολιτικές, Ενεργειακή Ένωση

STUDY AND ANALYSIS OF ENERGY POLICIES IN THE EUROPEAN UNION

P. Giatsidis & Z. Andreopoulou

School of Forestry and Natural Environment A.U.Th. , Department of Natural Resources
Planning and Development, 55133, Thessaloniki, e-mail: giatsidis@for.auth.gr

ABSTRACT

The purpose of this work is to study and document various elements of the European Union's energy policies, in order to understand the EU contribution to its citizens. Due to the over-consumption of conventional energy sources, the need for additional use of renewable energy sources has arisen worldwide, in order to continue the use of energy, which is so important for the existence of human life. The energy can be pumped now in high percentages from renewable energy sources, such as solar energy. That is why, in Europe, the European Union has decided to invest in energy by institutionalizing various energy policies. By the end of 2020, these policies reached 84 and they mainly focus on initiatives and actions to make energy accessible to all. The EU has also decided to set up the Energy Union in order to pursue its energy work more intensively.

Keywords: European Union, energy policies, Energy Union

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας παράγονται από τους φυσικούς πόρους, όπως ο άνεμος, το φως του ήλιου, η βροχή, οι παλίρροιες και η γεωθερμική θερμότητα. Είναι οι φυσικοί διαθέσιμοι πόροι-πηγές ενέργειας, που υπάρχουν σε αφθονία στο φυσικό μας περιβάλλον, που δεν εξαντλούνται αλλά διαρκώς ανανεώνονται και δύνανται να μετατρέπονται σε ηλεκτρική ή θερμική ενέργεια. Τέτοιες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) είναι:

- Η αιολική ενέργεια είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας η οποία παρέχει δυναμικό για μεγάλης κλίμακας παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση ανεμογεννητριών χωρίς σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις.
- Η βιομάζα, που είναι τα κατάλοιπα διαφόρων διεργασιών που άμεσα ή έμμεσα προέρχονται από το φυτικό κόσμο. Με κατάλληλη επεξεργασία η βιομάζα μετατρέπεται σε καύσιμο αέριο και με την καύση του παράγεται ηλεκτρική ενέργεια με μεγάλη απόδοση.
- Η γεωθερμική ενέργεια, η οποία παράγεται με τη μετατροπή ζεστού νερού ή υδρατμού που βρίσκεται σε αρκετό βάθος από την επιφάνεια της γης σε ηλεκτρική ενέργεια.
- Η ηλιακή ενέργεια, δηλαδή η ηλιακή ακτινοβολία, η οποία χρησιμοποιείται τόσο για την θέρμανση των κτιρίων με άμεσο ή έμμεσο τρόπο και με τη χρήση ενεργητικών ή και παθητικών συστημάτων, όσο και για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Η ωκεάνια - Κυματική ενέργεια, είναι η μορφή ενέργειας που προκύπτει από την κινητική ενέργεια των κυμάτων. Το φαινόμενο των ανέμων έχει ως συνέπεια το σχηματισμό κυμάτων τα οποία είναι εκμεταλλεύσιμα σε περιοχές με υψηλό δείκτη ανέμων και σε ακτές ωκεανών
- Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι η ενέργεια από την πτώση του νερού που μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια.

(Αργυρού, 2008; Αχνιώτης, 2012; Τσιτλάκου, 2015)

Για την αξιοποίησή τους, η ΕΕ έθεσε πέντε κύριους στόχους, μέσω της ενεργειακής πολιτικής της, επιδιώκοντας:

- Τη διασφάλιση της λειτουργίας της εσωτερικής αγοράς ενέργειας και τη διασύνδεση των ενεργειακών δικτύων.
- Την εξασφάλιση του ενεργειακού εφοδιασμού της Ένωσης.
- Την προώθηση της ενεργειακής απόδοσης και της εξοικονόμησης ενέργειας.
- Την απαλλαγή της οικονομίας από τις ανθρακούχες εκπομπές και τη μετάβαση σε μια οικονομία χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα σύμφωνα με τη συμφωνία του Παρισιού.
- Την προώθηση της ανάπτυξης νέων και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με σκοπό την καλύτερη ευθυγράμμιση και ενσωμάτωση των στόχων που συνδέονται με την κλιματική αλλαγή στον νέο σχεδιασμό της αγοράς.
- Την προώθηση της έρευνας, της καινοτομίας και της ανταγωνιστικότητας.

(Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, 2020)

Προς αυτή την κατεύθυνση λοιπόν, ίδρυσε την Ενεργειακή Ένωση, που ο στόχος της είναι τριπλός:

- Η παροχή οικονομικής ενέργειας στις επιχειρήσεις και τους καταναλωτές
- Η εξασφάλιση ενέργειας για όλες τις χώρες της ΕΕ μειώνοντας την ενεργειακή της εξάρτηση
- Η παραγωγή περισσότερης πράσινης ενέργειας και συνέχιση του αγώνα κατά της κλιματικής αλλαγής. (Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, 2020).

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής διατριβής είναι η μελέτη και η καταγραφή διαφόρων χαρακτηριστικών των ενεργειακών πολιτικών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, με έμφαση στην αξιοποίηση των Τεχνολογιών Πληροφορικής, ώστε να γίνει αντιληπτή η συνεισφορά της ΕΕ στους πολίτες της.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η ΕΕ ουσιαστικά ξεκίνησε να εφαρμόζει ενεργειακές πολιτικές από το 1992 και έπειτα. Η έρευνα, ασχολήθηκε σε βάθος με όλες τις ενεργειακές πολιτικές, καθώς και με τις τεχνολογίες που προτάθηκαν. Οι ενεργειακές πολιτικές καταγράφηκαν και αξιολογήθηκαν παρακάτω.

Το πρώτο βήμα της έρευνας ήταν η καταγραφή χαρακτηριστικών σε πίνακα excel. Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν, συλλέχθηκαν από τον ιστότοπο της ΕΕ (https://europa.eu/european-union/topics/energy_el), κατά την περίοδο Δεκέμβριος 2020-Ιανουάριος 2021. Αρχικά, αναζητήθηκαν οι ενεργειακές πολιτικές της ΕΕ, οι οποίες σε αριθμό έφτασαν τις 84. Στη συνέχεια, οι πολιτικές καταγράφηκαν μία προς μία σε ένα αρχείο excel, το οποίο μπορούσε να συνεισφέρει αρκετά στην ευκολότερη ανάγνωση, κατανόηση και ομαδοποίηση των δεδομένων. Τέλος, έγινε καταγραφή στοιχείων, όπως:

Α) Η χρονολογία, όπου ενδιέφερε μόνο το έτος.

Β) Το είδος κειμένου, δηλαδή αν έχουμε να κάνουμε με ανακοίνωση, απόφαση, έκθεση, κανονισμό, οδηγία, στρατηγική ή στρατηγικό σχέδιο.

Γ) Το αντικείμενο ενασχόλησης, που ήταν και ο λόγος θέσπισης της συγκεκριμένης πολιτικής.

Δ) Το είδος τεχνολογίας πληροφορικής που προτείνεται, όπως για παράδειγμα μία ΒΔ ή η δημιουργία ενός φόρουμ.

Ε) Το προτεινόμενο είδος τεχνολογίας για κάθε πολιτική, όπως για παράδειγμα η χρηματοδότηση ενός έργου.

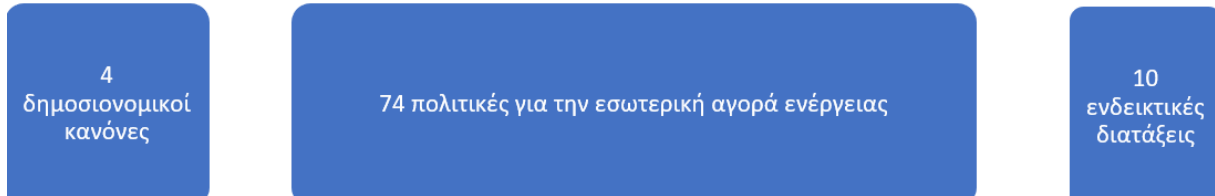
Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης, τα δεδομένα ελέγχθηκαν αρκετές φορές για την αποφυγή λανθασμένων καταγραφών.

Το δεύτερο βήμα ήταν η ομαδοποίηση και η στατιστική ανάλυση των δεδομένων με σκοπό την εξαγωγή αποτελεσμάτων, που κρίθηκαν αναγκαία και άξια να τονισθούν.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

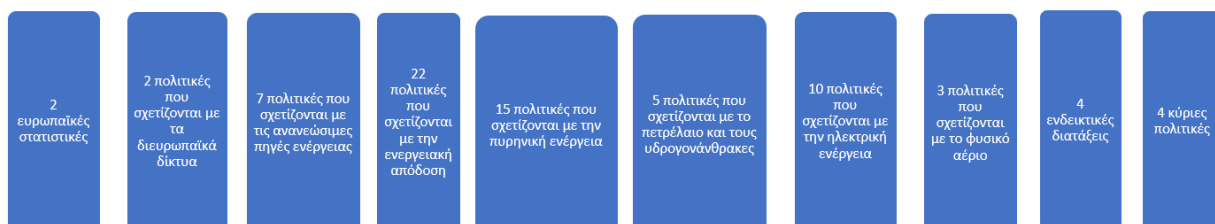
Οι ενεργειακές πολιτικές της Ευρωπαϊκής Ένωσης ανέρχονται στις 84. Για την ευκολότερη κατανόηση των πολιτικών μπορούμε να τις ομαδοποιήσουμε ανάλογα με την ενέργεια που αναφέρονται, είτε με βάση τη σημαντικότητά τους. Σύμφωνα με τον ιστότοπο της ΕΕ μπορούν να διακριθούν, όπως φαίνονται στα παρακάτω σχήματα:

84 Ενεργειακές πολιτικές



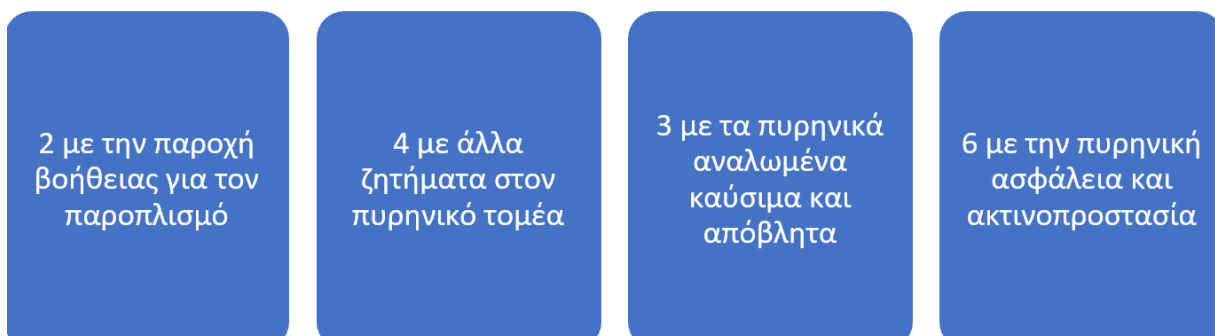
Σχήμα 1α. Διάκριση ενεργειακών πολιτικών

74 πολιτικές για την εσωτερική αγορά ενέργειας



Σχήμα 1β. Διάκριση ενεργειακών πολιτικών

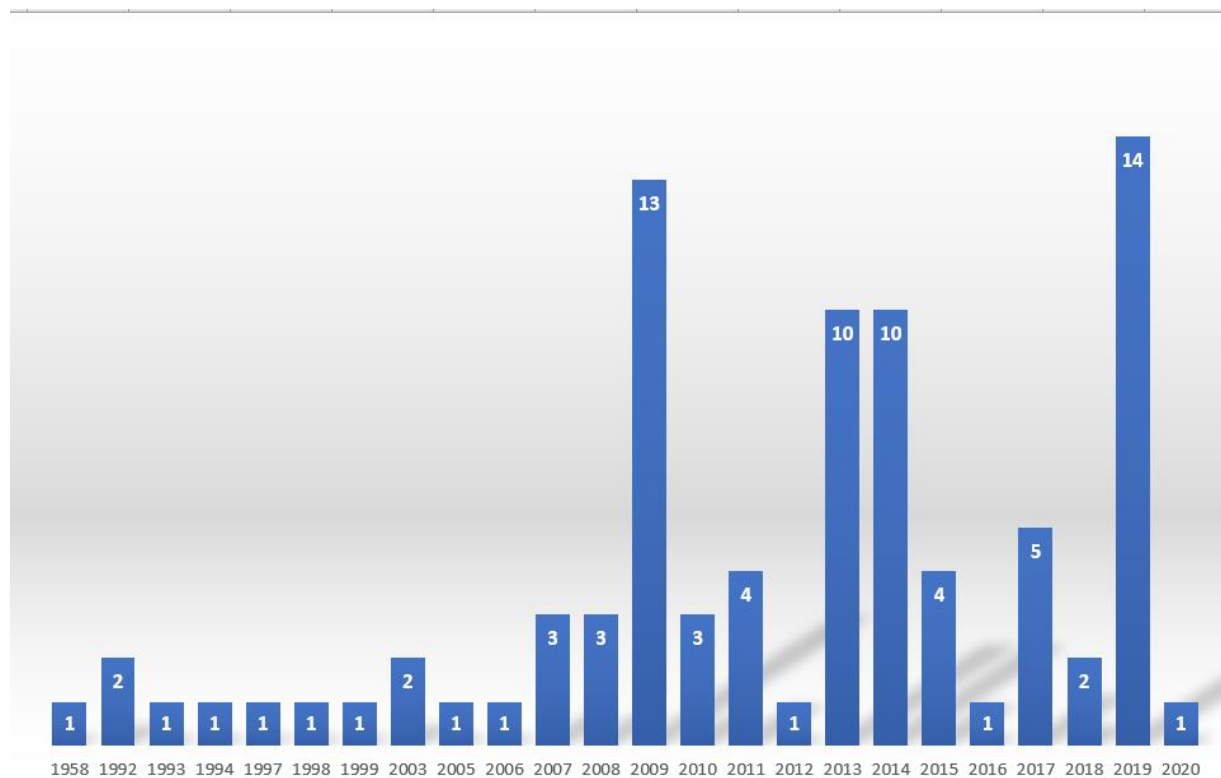
15 πολιτικές που σχετίζονται με την πυρηνική ενέργεια



Σχήμα 1γ. Διάκριση ενεργειακών πολιτικών

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι η ΕΕ στον ιστότοπο της έχει εντάξει 4 πολιτικές σε δύο κατηγορίες. Μία (1) που εντάσσεται στους δημοσιονομικούς κανόνες και στις ενδεικτικές διατάξεις εσωτερικής ενέργειας και τρεις (3) που εντάσσονται στις πολιτικές της ηλεκτρικής ενέργειας και στις πολιτικές της ενεργειακής απόδοσης.

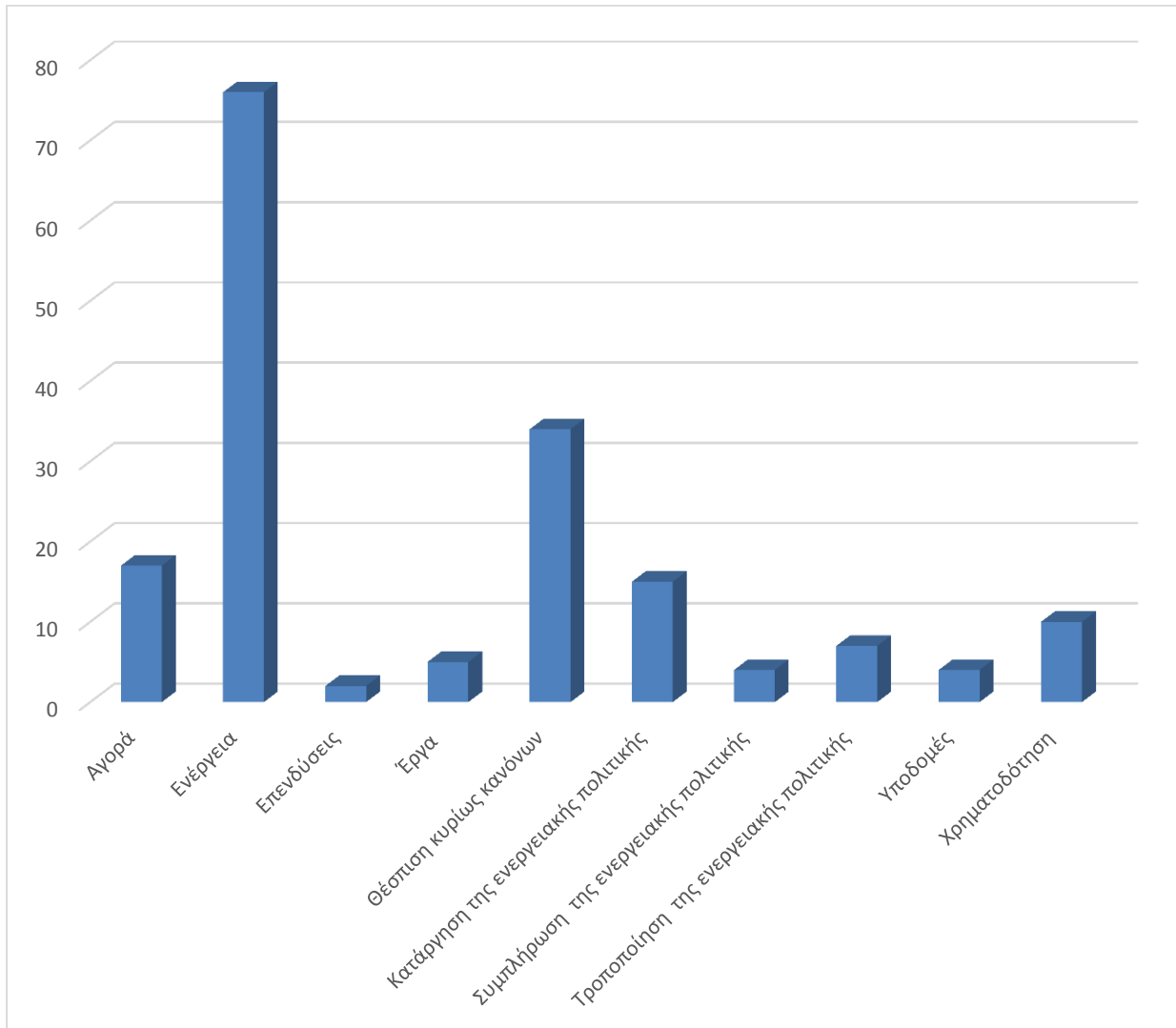
Οι ενεργειακές πολιτικές της Ευρωπαϊκής Ένωσης ξεκινούν λίγο μετά την ίδρυσή της, δηλαδή το 1958, όπου η συγκεκριμένη πολιτική αποσκοπεί στην προστασία των διαβαθμισμένων γνώσεων της Ευρατόμ. Ουσιαστικά όμως, οι ενεργειακές πολιτικές ξεκινούν στις αρχές της δεκαετίας του 1990 και πιο συγκεκριμένα το 1992. Τη δεκαετία αυτή εφαρμόστηκαν 6 πολιτικές, ενώ τη δεκαετία του 2000 εφαρμόστηκαν 23, με αποκορύφωμα το 2009, όπου είχαμε 13. Τη δεκαετία του 2010 εφαρμόστηκαν 53 πολιτικές, με τις χρονιές 2013,2014 και 2019 να συναντάμε τις 34. Τέλος, στο 2020 εφαρμόστηκε μόλις 1 πολιτική. Συνολικά, λοιπόν έχουν εφαρμοστεί 84 ενεργειακές πολιτικές, οι χρονολογίες των οποίων απεικονίζονται στο διάγραμμα 1. Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονιστεί πως στο διάγραμμα υπάρχουν 86 χρονολογίες, μιας και η Συνθήκη και πρωτόκολλο για το Χάρτη Ενέργειας πραγματοποιήθηκε το 1997 και το 1998, καθώς και η Ενεργειακή απόδοση το 2012 και το 2018.



Διάγραμμα 1. Οι ενεργειακές πολιτικές της ΕΕ ανά έτος.

Στο Διάγραμμα 1, που αναφέρεται στη χρονολογία των ενεργειακών πολιτικών της ΕΕ, παρατηρείται μία αυξημένη δραστηριότητα από το 2009 και έπειτα. Αυτό συνέβη, εξαιτίας της αναγκαιότητας για λήψη μέτρων που αποσκοπούν στην επίτευξη μιας ολοκληρωμένης αγοράς ενέργειας, στην ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού και στη βιωσιμότητα του τομέα της ενέργειας. Ακόμα, η ΕΕ προωθεί ενεργά τη μετάβαση της Ευρώπης προς μια κοινωνία χαμηλών εκπομπών άνθρακα και επικαιροποιεί τους κανόνες της για να διευκολύνει τις ιδιωτικές και δημόσιες επενδύσεις που απαιτούνται για τη μετάβαση σε καθαρή ενέργεια. Αυτό θα πρέπει να είναι επωφελές όχι μόνο για τον πλανήτη, αλλά και για την οικονομία και τους καταναλωτές.

Οι 84 ενεργειακές πολιτικές προτείνουν συνολικά 172 τεχνολογίες. Κάθε τεχνολογία μπορεί να αναφέρεται σε παραπάνω από ένα αντικείμενο. Επομένως, 17 εξ' αυτών αναφέρονται στην αγορά(πχ ενέργειας), 76 αναφέρονται σε μία μορφή ενέργειας, 2 αναφέρονται σε επενδύσεις, 5 αναφέρονται σε έργα, 34 αναφέρονται στη θέσπιση κυρίως κανόνων, 15 αναφέρονται σε κατάργηση ενεργειακής πολιτικής, 4 αναφέρονται σε συμπλήρωση ενεργειακής πολιτικής, 7 αναφέρονται σε τροποποίηση ενεργειακής πολιτικής, 4 αναφέρονται σε υποδομές και 10 αναφέρονται σε χρηματοδοτήσεις.



Διάγραμμα 2. Το είδος προτεινόμενης τεχνολογίας των ενεργειακών πολιτικών Ε.Ε.

Επομένως, οι 172 τεχνολογίες αναφέρονται κατά:

- 9,9% σε αγορά
- 44,2 σε μορφή ενέργειας
- 1,2% σε επενδύσεις
- 2,9% σε έργα
- 19,8 σε θέσπιση κυρίως κανόνων
- 8,7% σε κατάργηση ενεργειακής πολιτικής
- 2,3 σε συμπλήρωση ενεργειακής πολιτικής
- 4,1% σε τροποποίηση ενεργειακής πολιτικής
- 2,3% σε υποδομές

- 5,8% σε χρηματοδοτήσεις.

Η παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στην ΕΕ πρέπει να εξακολουθήσει να αυξάνεται έως το 2030 και εφεξής. Τα σενάρια που περιλαμβάνει ο οδικός χάρτης, για την απομάκρυνση του ενεργειακού τομέα από τον άνθρακα, προβλέπουν την επίτευξη μεριδίου ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές τουλάχιστον 30% ως το 2030. Ωστόσο, ο οδικός χάρτης προβλέπει επίσης ότι η ανάπτυξη του τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας θα σημειώσει κάμψη μετά το 2020, αν δεν υπάρξει περαιτέρω καινοτομία. Αναμένεται, λοιπόν ότι οι δεσμευτικοί εθνικοί στόχοι για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου θα ευνοήσουν την ανάπτυξη στον τομέα της ενέργειας. Με τη βοήθεια του διαγράμματος 4 συμπεραίνουμε ότι είναι επιθυμητή η περαιτέρω ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας κι όχι μόνο. Ακόμα, στόχους αποτελούν:

- Η ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην παροχή θέρμανσης και ψύξης
- Η απαλλαγή από τις ανθρακούχες εκπομπές και διαφοροποίηση στον τομέα των μεταφορών
- Η ενημέρωση των πελατών και ενίσχυση των δυνατοτήτων τους
- Η ενίσχυση των κριτηρίων βιωσιμότητας της ΕΕ για τη βιοενέργεια
- Η εξασφάλιση της επίτευξης του δεσμευτικού σε επίπεδο ΕΕ στόχου με τρόπο έγκαιρο και αποδοτικό από άποψη κόστους.

Επομένως, είναι λογικό το 44,2% των τεχνολογιών που προτείνονται στις ενεργειακές πολιτικές της ΕΕ, να αναφέρονται στις διάφορες μορφές ενέργειας. (Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, 2020).

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση όλα τα παραπάνω καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η ενέργεια μπορεί να αξιοποιηθεί και να συνδράμει τα μέγιστα στον τρόπο που έχει επιλέξει να ζει σήμερα ο άνθρωπος. Παρ' όλα αυτά, υπάρχει ακόμα η ανάγκη για περαιτέρω προώθηση της ανάπτυξης νέων και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Μέσω της προώθησης της έρευνας, της καινοτομίας και της ανταγωνιστικότητας είναι εφικτή η παραγωγή περισσότερης πράσινης ενέργειας, προκειμένου να επιτευχθεί η επιθυμητή ενεργειακή απόδοση και η εξοικονόμηση ενέργειας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα για τη χώρα μας αποτελεί η Μακροχρόνια Στρατηγική για το 2050. Στόχος της είναι να παρουσιάζει τις διαθέσιμες τεχνολογικές λύσεις με δυνατότητα εφαρμογής στο εγχώριο πεδίο, αποφεύγοντας τη μοναδιαία επιλογή κάποιων εξ' αυτών, ώστε σε επίπεδο ενεργειακής πολιτικής να υπάρχει η δυνατότητα και η ευελιξία για προσαρμογή των μέτρων ανάλογα με την τεχνολογική πρόοδο και τη διάρθρωση της τελικής κατανάλωσης ενέργειας στους κλάδους οικονομικής δραστηριότητας μετά το έτος 2030. Ακόμα, εξετάζει το φάσμα των διαθέσιμων επιλογών και των διαφορετικών σεναρίων εξέλιξης του ενεργειακού συστήματος, για την απαραίτητη ενεργειακή μετάβαση με τον πιο οικονομικά ανταγωνιστικό τρόπο για την εθνική οικονομία, προκειμένου να επιτευχθεί δραστική μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και εκσυγχρονισμός της οικονομίας. (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2020)

Με τη βοήθεια της παρούσας έρευνας, είναι δυνατόν να γίνουν αντιληπτοί οι λόγοι που η ΕΕ επέλεξε να εντείνει τα τελευταία χρόνια την ενασχόλησή της στον τομέα της ενέργειας, μιας και οφείλει:

- Μια ολοκληρωμένη αγορά ενέργειας και για αυτό καταβάλλει προσπάθειες για να μειωθούν τα τεχνικά και κανονιστικά εμπόδια, ώστε να επιτευχθεί η απρόσκοπτη ροή

ενέργειας μεταξύ των κρατών μελών και ο ανταγωνισμός μεταξύ των παρόχων ενέργειας σε όλη την ΕΕ.

- Ασφάλεια όσον αφορά τον ενεργειακό εφοδιασμό και για αυτό περιόρισε την εξάρτησή της από τις εισαγωγές ενέργειας, χάρη στην αποτελεσματικότερη χρήση της εγχώριας ενέργειας και την παράλληλη διαφοροποίηση των πηγών ενέργειας και του ενεργειακού εφοδιασμού.

- Βιωσιμότητα στον τομέα της ενέργειας, απέναντι στους πολίτες που την απαρτίζουν και για αυτό συντονίζει τις προσπάθειες των κρατών μελών για επίτευξη των εθνικών τους στόχων. Επίσης, προωθεί τη χρήση εναλλακτικών μορφών ενέργειας στις μεταφορές.

Μελετώντας αυτή την έρευνα κανείς, μπορεί να μελετήσει ένα προς ένα τα προτεινόμενα είδη τεχνολογίας και να κατανοήσει την καίρια σημασία τους στην εποχή που προτάθηκαν, καθώς και την έλλειψη που υπήρχε στο νομοθετικό πλαίσιο.

Όποιος ενδιαφέρεται να ασχοληθεί περαιτέρω, έχει την επιλογή να μελετήσει τα αποτελέσματα που είχε κάθε ενεργειακή πολιτική, μιας και είναι γνωστό πως δεν πάρθηκαν όλες με το σωστό τρόπο. Εξάλλου, η ίδια η ΕΕ έχει συμπληρώσει, τροποποιήσει ή καταργήσει ορισμένες πολιτικές της. Ακόμα, υπάρχει η δυνατότητα για μελέτη της βοήθειας που προσέφερε ο τομέας της πληροφορικής, ειδικά η ψηφιοποίηση, η οποία προσφέρει και θα συνεχίσει να προσφέρει τη δυνατότητα να προσπελαστούν συγκεντρωμένα δεδομένα. Τέλος, μπορεί κανείς να ασχοληθεί με το ποιες επιπλέον τεχνολογίες μπορούν ή/και πρέπει να προταθούν τα επόμενα χρόνια από την ΕΕ, μιας και υπάρχουν αρκετά άλυτα προβλήματα στον τομέα της ενέργειας, όπως η διογκούμενη παγκόσμια ενεργειακή ζήτηση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Andreopoulou, Z., & Koliouka, C. (2018). Benchmarking internet promotion of renewable energy enterprises: is sustainability present?. *Sustainability*, 10(11), 4187.

Andreopoulou, Z., Koliouka, C., Galariotis, E., & Zorounidis, C. (2018). Renewable energy sources: Using PROMETHEE II for ranking websites to support market opportunities. *Technological Forecasting and Social Change*, 131, 31-37.

Ανδρεοπούλου Ζ. 2021, Εισαγωγή στη δασική πληροφορική.

<https://opencourses.auth.gr/courses/OCRS205/>

Αργυρού Ε. 2008, Πετρέλαιο – Χθες, Σήμερα & στο Μέλλον, Πτυχιακή Διατριβή, ΤΕΙ ΑΜΘ.

Αχνιώτης Χ. 2012, Υδροποιημένο φυσικό αέριο παραγωγή, μεταφορά, αποθήκευση. Πτυχιακή Διατριβή, ΤΕΙ ΑΜΘ.

Γερογιάννης Β. 2016, Πράσινες τεχνολογίες πληροφορικής και επικοινωνιών (Green ICT) εφαρμογές & πρακτικές οδηγίες.

http://library.tee.gr/digital/m2526/m2526_gerogiannis.pdf

Γερογιάννης Β. 2017, Η συνεισφορά των «πράσινων» τεχνολογιών πληροφορικής και επικοινωνιών στην προστασία του Περιβάλλοντος.

<http://gerogian.blogspot.com/2010/09/blog-post.html>

Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων 2005. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/ALL/?uri=CELEX%3A32009R1069>

Ευρωπαϊκή Ένωση 2020. https://europa.eu/european-union/law/legal-acts_el
https://europa.eu/european-union/topics/energy_el

Ευρωπαϊκή Επιτροπή 2020.

https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/el/IP_18_4043

https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/el/IP_19_1876

https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-strategy/energy-union_en

https://ec.europa.eu/regional_policy/el/policy/themes/ict/

Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο 2020.

<https://www.europarl.europa.eu/factsheets/el/sheet/68/ενεργειακη-πολιτικη-γενικες-αρχες>

<https://www.europarl.europa.eu/factsheets/el/sheet/70/renewable-energy>

Ευρωπαϊκό Συμβούλιο 2020. <https://www.consilium.europa.eu/el/policies/energy-union/>

Κοντούλη Μ. 2007, Ενέργεια και περιβάλλον, Πτυχιακή διατριβή, ΤΕΙ ΑΜΘ.

Τάλαρου Χ. & Κανακά Χ. 2007, Η κοινωνία της πληροφορίας, Πτυχιακή διατριβή, ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας.

Τσιτιλάκου Χ. 2015, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Πτυχιακή διατριβή, ΤΕΙ ΑΜΘ.

Τσολιά Α. 2018, Ψηφιακή καινοτομία στη ναυτιλία- Μελέτη της περίπτωσης στην Εταιρεία Danaos, Πτυχιακή διατριβή, Πανεπιστήμιο Αιγαίου.

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας 2020. <https://ypen.gov.gr/energeia/esek/lts/>

Ψιστάκη Κ. 2011, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας-Φωτοβολταϊκά, Πτυχιακή διατριβή, ΑΠΘ.



**12^ο Πανελλήνιο Συνέδριο
Γεωργικής Μηχανικής**

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ & ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ



ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΡΟΦΗΣΗΣ ΦΩΣΦΟΡΟΥ ΚΑΙ ΑΜΜΩΝΙΑΚΟΥ ΑΖΩΤΟΥ ΑΠΟ ΑΝΑΕΡΟΒΙΩΣ ΧΩΝΕΜΕΝΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΣΕ ΖΕΟΛΙΘΟ ΚΑΙ ΙΠΤΑΜΕΝΗ ΤΕΦΡΑ

Δ. Μητρόγιαννης¹, Μ. Ψυχογιού¹, Δ. Παλλές², Ε. Ι. Καμίτσος², Ν. Κούκουζας³, Κ. Μαυρογόνατος⁴, Ι. Μπαζιώτης¹

¹Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα ΑΦΠ-ΓΜ, Ιερά Οδός 75, 11855, Αθήνα

²Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών, Ινστιτούτο Θεωρητικής και Φυσικής Χημείας, Λ. Βασιλέως Κωνσταντίνου 48, 11635, Αθήνα

³Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης (ΕΚΕΤΑ)/Ινστιτούτο Χημικών Διεργασιών και Ενεργειακών Πόρων (ΙΔΕΠ), Αιγιαλείας, 15125 Μαρούσι, Αθήνα

⁴Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Πανεπιστημιούπολη, 15784, Ζωγράφου, Αθήνα
mitrogdimi@gmail.com

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αναερόβια χώνευση γεωργοκτηνοτροφικών αποβλήτων παρουσιάζει σημαντικά οφέλη οδηγώντας στην παραγωγή βιοαερίου και ενός χωνεμένου υπολειμματος που θεωρείται εδαφοβελτιωτικό υλικό (Battista et al., 2019). Εκτιμάται ότι 56 εκατομμύρια τόνοι χωνεμένων υπολειμμάτων, πλούσιων σε θρεπτικά στοιχεία, παράγονται ετησίως στην Ευρώπη από περίπου 17200 αναερόβιους χωνευτήρες (Battista & Bolzonella, 2019; Battista et al., 2019).

Η ανάκτηση θρεπτικών στοιχείων σε συμπυκνωμένη μορφή από τα παραπάνω απόβλητα είναι ένας στόχος του μοντέλου της κυκλικής οικονομίας και τρόπος αντιμετώπισης της νιτρορύπανσης σε πολλές περιοχές της Ευρώπης εξαιτίας της άμεσης διάθεσης των χωνεμένων υπολειμμάτων σε εδάφη (Battista & Bolzonella, 2019).

Ορυκτά υλικά που περιέχουν ασβέστιο, όπως η ασβεστιτική ιπτάμενη τέφρα η οποία παράγεται σε εκατομμύρια τόνους ετησίως στους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς (ΑΗΣ) της ΔΕΗ, μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη ρόφηση φωσφόρου (P). Ο ζεόλιθος αποτελεί επίσης ένα φτηνό υλικό που χρησιμοποιείται στη γεωργία ως εδαφοβελτιωτικό με υψηλή ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (ΙΑΚ).

Σκοπός της εργασίας είναι: (α) η εκτίμηση της πραγματικής προσροφητικής ικανότητας του τροποποιημένου ζεόλιθου (CaT-Z) και την ιπτάμενης τέφρας (FA) για PO₄-P και αμμωνιακό άζωτο (NH₄-N) σε αναερόβιως χωνεμένα απόβλητα, και (β) η διερεύνηση των μηχανισμών ρόφησης των θρεπτικών στοιχείων. Η επίτευξη του πρώτου σκοπού βασίστηκε σε δοκιμές εκρόφησης (τριών σταδίων για τον PO₄-P και ενός για το NH₄-N), ενώ για τον δεύτερο πραγματοποιήθηκαν επίσης αναλύσεις περιθλασιμετρίας ακτίνων Χ (XRD) και φασματοσκοπίας υπερύθρου (IR-ATR).

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Προσροφητικά υλικά

Η ιπτάμενη τέφρα συλλέχθηκε από τον ΑΗΣ της Καρδιάς (Πτολεμαΐδα). Στα πειράματα ρόφησης χρησιμοποιήθηκε κλάσμα μεγέθους μικρότερου των 0,2 mm μετά από κοσκίνισμα. Ο ζεόλιθος πέρασε από κόσκινο με διάμετρο οπών 1-2 mm και τροποποιήθηκε σε διάλυμα 0,25 mol/L Ca(OH)₂ (Mitrogiannis et al., 2017).

2.2. Αναεροβίως χωνεμένα απόβλητα

Στα πειράματα ρόφησης χρησιμοποιήθηκαν τρία δείγματα εκροής από αναερόβιους χωνευτήρες γεωργοκτηνοτροφικών αποβλήτων. Οι φυσικοχημικές ιδιότητες των αποβλήτων (ADWW) παρουσιάζονται στον **Πίνακα 1**.

Πίνακας 1. Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των αναεροβίως χωνεμένων αποβλήτων (ADWW) που χρησιμοποιήθηκαν στις δοκιμές ρόφησης (n = 3).

Παράμετρος	ADWW-1	ADWW-2	ADWW-3
pH	8.15 ± 0.02	8.12 ± 0.08	6.34 ± 0.02
EC (mS/cm)	5.65 ± 0.01	41.9 ± 0.2	7.66 ± 0.01
PO ₄ -P (mg P/L)	76.67 ± 3.72	204.87 ± 5.11	34.93 ± 0.27
NH ₄ -N	0.78 ± 0.01*	5525 ± 35	169.28 ± 1.29
COD (g/L O ₂)	5.32**	45.17 ± 1.54	4.66 ± 0.11
Total alkalinity (mg/L CaCO ₃)	2803 ± 14**	-	-
TS (wt%)	0.67 ± 0.00	4.26 ± 0.00	0.57 ± 0.00
VS (wt%)	0.40 ± 0.00	2.48 ± 0.00	0.31 ± 0.00

* Εκφρασμένο σε g/kg, ** μία επανάληψη.

2.3. Πειράματα ρόφησης

Οι δοκιμές ρόφησης πραγματοποιήθηκαν σε πλαστικά δοχεία των 100 mL χρησιμοποιώντας τρεις επαναλήψεις (χωρίς μηχανική ανάδευση), συγκέντρωση προσροφητικού υλικού 10 g/L και θερμοκρασία 25 °C. Στο τέλος κάθε πειράματος, η στερεά φάση διαχωρίστηκε ώστε να χρησιμοποιηθεί στην εκρόφηση των θρεπτικών στοιχείων.

Στα πειράματα ρόφησης υπολογίστηκαν η ποσοστιαία απομάκρυνση (*R*%) των θρεπτικών στοιχείων από την υγρή φάση και η προσροφητική ικανότητα κάθε υλικού (*q_{ads}*, mg/g).

2.4. Δοκιμές εκρόφησης

Η εκρόφηση του PO₄-P έγινε σε τρία διαδοχικά στάδια χρησιμοποιώντας: 0,5 M NaHCO₃ σε pH 8,5, 0,1 M NaOH και 0,5 M HCl. Η εκρόφηση του NH₄-N έγινε σε 0,1 g στερεού υλικού ανά 10 mL διαλύματος 1 M NaCl. Η εκροφημένη ποσότητα PO₄-P ή NH₄-N εκφράστηκε ανά μονάδα μάζας στερεού υλικού (*q_{des}*).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1. Ρόφηση από υδατικά διαλύματα

Τα πειράματα ρόφησης σε υδατικό διάλυμα 100 mg N/L έδειξαν ότι ο CaT-Z προσρόφησε πολύ περισσότερο NH₄-N από ότι η FA. Για τον CaT-Z η ισορροπία της προσρόφησης επιτεύχθηκε στις 7 ημέρες (4,13 mg/g), ενώ για την FA σε μία ημέρα (0,87 mg/g). Αυτή η διαφορά στην *q_{ads}* οφείλεται στην τετραπλάσια ΙΑΚ του CaT-Z (0,86 meq/g) σε σύγκριση με αυτή της FA (0,20 meq/g).

Στο διάλυμα των 100 mg P/L, η FA απομάκρυνε 99,6% του P σε μία ημέρα, προφανώς λόγω της σχετικά υψηλής περιεκτικότητας σε ασβεστούχες ορυκτές φάσεις (CaCO₃ και CaSO₄·2H₂O). Η ρόφηση στον CaT-Z ανήλθε σε 5,96 mg P/g στις 7 ημέρες (*R*% = 59,6%) και συνέχισε με αργό ρυθμό για εβδομάδες φτάνοντας τα 8,38 mg P/g στις 56 ημέρες.

3.2. Απομάκρυνση του P από τα χωνεμένα απόβλητα

Η επαφή του CaT-Z και της FA με το απόβλητο ADWW-1 για 5 ημέρες προκάλεσε $R\%$ του P κατά 71,8% και 86,2%, αντίστοιχα, ενώ παράλληλα στο μάρτυρα (δείγμα αποβλήτου χωρίς προσροφητικό υλικό) παρατηρήθηκε 55,3% απομάκρυνση. Το ενδεχόμενο σημαντικής μείωσης του P στον μάρτυρα υποδεικνύει τον κίνδυνο υπερεκτίμησης της προσροφητικής ικανότητας (q_{ads}) κάθε υλικού εάν οι υπολογισμοί γίνουν με βάση την υπολειμματική συγκέντρωση του P στην υγρή φάση. Σε αυτήν την περίπτωση, η διαδοχική ή απευθείας εκρόφιση του P από ένα προσροφητικό υλικό είναι ένας πολύ πιο αξιόπιστος τρόπος για την εκτίμηση της πραγματικής προσροφημένης ποσότητας του P στη στερεά φάση.

3.3. Εκρόφιση $PO_4\text{-P}$

Η ολική ποσότητα P που εκροφήθηκε από τον CaT-Z και την FA στα τρία στάδια εκχύλισης, δείχνει σαφώς ότι η FA προσρόφησε πολύ περισσότερο P από τον τροποποιημένο ζεόλιθο. Συγκεκριμένα, 4,51, 16,96 και 0,87 mg P/g FA και 1,29, 0,48 και 0,38 mg P/g CaT-Z εκροφήθηκαν συνολικά μετά την επαφή με το απόβλητο ADWW-1, ADWW-2 και ADWW-3, αντίστοιχα. Η κυρίαρχη μορφή του P στον CaT-Z ήταν ο χαλαρά δεσμευμένος και φυτοδιαθέσιμος P ($NaHCO_3\text{-P}$), ενώ στην FA ο P που συνδέεται με το Ca ($HCl\text{-P}$). Η συνεισφορά του $NaHCO_3\text{-P}$ στην FA ήταν επίσης σημαντική με 1,41, 4,54 και 0,51 mg P/g.

3.4. Εκρόφιση $NH_4\text{-N}$

Οι δοκιμές εκρόφισης με διάλυμα 1 M NaCl, το οποίο εκχυλίζει το $NH_4\text{-N}$ που προσροφήθηκε μέσω ιοντο-ανταλλαγής, έδειξαν ότι και στα τρία δείγματα αποβλήτων ο CaT-Z προσρόφησε πολύ περισσότερο $NH_4\text{-N}$ ($q_{des} = 3,03\text{-}3,76$ mg N/g) από την FA (0,04-0,26 mg N/g). Τα αποτελέσματα αυτά οφείλονται στη χαμηλότερη ΙΑΚ της FA σε σύγκριση με αυτή του CaT-Z.

3.5. Αναλύσεις XRD

Τα ακτινοδιαγράμματα XRD του CaT-Z και της FA μετά την επώαση στο απόβλητο ADWW-1 δεν έδειξαν κάποια ορυκτή φάση που να περιέχει $PO_4\text{-P}$ ή $NH_4\text{-N}$. Στον CaT-Z ανιχνεύθηκε χαλαζίας (SiO_2), κλινοπτιλόλιθος, ιλλίτης και σανίδινος, ενώ στην FA ασβεστίτης ($CaCO_3$), χαλαζίας, γύψος ($CaSO_4\cdot 2H_2O$) και ολιγόκλαστο.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι δοκιμές εκρόφισης των θρεπτικών στοιχείων ανέδειξαν διαφορές στην ικανότητα προσρόφισης των δύο υλικών και στη χημική μορφή του προσροφημένου P. Σύμφωνα με την ολική ποσότητα P που εκροφήθηκε, η FA προσρόφησε πολύ περισσότερο P από τον CaT-Z. Αντίθετα, ο CaT-Z προσρόφησε πολύ περισσότερο $NH_4\text{-N}$.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Battista, F., Bolzonella, D. 2019. Exploitation of Solar Energy for Ammonium Sulfate Recovery from Anaerobic Digestate of Different Origin. *Waste and Biomass Valorization*, **10**(12), 3701-3709.

Battista, F., Frison, N., Bolzonella, D. 2019. Energy and Nutrients' Recovery in Anaerobic Digestion of Agricultural Biomass: An Italian Perspective for Future Applications. *Energies*, **12**(17), 3287.

Mitrogiannis, D., Psychoyou, M., Baziotis, I., Inglezakis, V.J., Koukouzas, N., Tsoukalas, N., Pales, D., Kamitsos, E., Oikonomou, G., Markou, G. 2017. Removal of phosphate from aqueous solutions by adsorption onto $\text{Ca}(\text{OH})_2$ treated natural clinoptilolite. *Chemical Engineering Journal*, **320**, 510-522.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ ΑΜΜΩΝΙΑΣ ΣΕ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΟΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΔΕΥΣΗΣ ΥΠΟ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΧΑΜΗΛΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΟΡΓΑΝΙΚΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

Μ.Α. Τσιτσιμπίκου¹, Χ. Τζένος¹, Θ. Κωτσόπουλος¹

¹Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών & Εξοπλισμού, Τμήμα Γεωπονίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 54124, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα
e-mail: tsimareva@agro.auth.gr

Περίληψη

Η υψηλή συγκέντρωση της αμμωνίας αποτελεί έναν από τους πιο κοινούς αναστολείς της αναερόβιας αποικοδόμησης. Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η επίδραση της τοξικότητας της αμμωνίας σε 3 αντιδραστήρες συνεχούς ροής και ανάδευσης (CSTR) οι οποίοι λειτούργησαν με χαμηλό οργανικό φορτίο ($1.72 \text{ gVS d}^{-1} \text{ L}^{-1}$). Η αύξηση της συγκέντρωσης της αμμωνίας στα 5000 ppm έγινε με απευθείας προσθήκη NH_4Cl και η παραγωγή μεθανίου ($\text{mLCH}_4 \text{ gVS}^{-1} \text{ d}^{-1}$) μειώθηκε κατά 10.39%. Στη συνέχεια, προκειμένου να μελετηθεί η ανταπόκριση του μικροβιακού πληθυσμού σε συνθήκες έντονης τοξικότητας, πραγματοποιήθηκε διεργασία βιοενίσχυσης. Τέλος, για δεύτερη φορά, αυξήθηκε η συγκέντρωση της αμμωνίας στα 8500 ppm όπου παρατηρήθηκε πτώση της παραγωγής κατά 38.72% και έπειτα ανάκαμψη κατά 22.74%.

Λέξεις κλειδιά: Αναερόβια Αποικοδόμηση, Βιοαέριο, Τοξικότητα Αμμωνίας, Ρυθμός Οργανικής Φόρτισης

Abstract

High ammonia concentration is one of the most common inhibitors of anaerobic digestion (AD). In the present study, the effect of ammonia toxicity in 3 Continuously Stirred Tank Reactors (CSTR) under low Organic Loading Rate ($1.72 \text{ gVS d}^{-1} \text{ L}^{-1}$) was investigated. The ammonia concentration was increased to 5000 ppm by adding directly NH_4Cl and the production of methane ($\text{mLCH}_4 \text{ gVS}^{-1} \text{ d}^{-1}$) was reduced by 10.39%. Then, bioaugmentation process was performed in order to study the response of the microbial population to conditions of intense toxicity. Finally, for second time, ammonia concentration increased at 8500 ppm where there was a decrease by 38.72% and after that, production recovered by 22.74%.

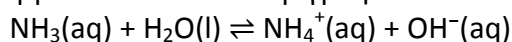
Keywords: Anaerobic Digestion (AD), Biogas, Ammonia Toxicity, Organic Loading Rate (OLR)

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διαρκής παραγωγή οργανικών αποβλήτων και η μη αποτελεσματική διαχείρισή τους, αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς λόγους αύξησης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Μία πολλά υποσχόμενη και διαρκώς αναπτυσσόμενη μέθοδος αξιοποίησης των οργανικών αποβλήτων αποτελεί η αναερόβια επεξεργασία τους. Η αναερόβια επεξεργασία ή αποικοδόμηση είναι μία διαδικασία που καταλύεται από έναν μεγάλο αριθμό μικροοργανισμών και στην οποία ο οργανικός άνθρακας μετατρέπεται σε διοξείδιο του άνθρακα και σε μεθάνιο, σε συνθήκες απουσίας οξυγόνου (Scarlat et al., 2018).

Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες αναστολής της αναερόβιας αποικοδόμησης αποτελεί η συγκέντρωση αμμωνίας καθώς αυξημένες συγκεντρώσεις μπορούν να οδηγήσουν σε ολική παύση της μικροβιακής δραστηριότητας (Rajagopal et al., 2013).

Στα υδατικά διαλύματα, οι μορφές της αμμωνίας που βρίσκονται σε ισορροπία είναι η ελεύθερη αμμωνία και το αμμωνιακό ιόν και περιγράφονται από τη σχέση:



Οι παραπάνω μορφές της αμμωνίας, αναφέρονται ευρέως στη βιβλιογραφία ως 'Ολικό Αμμωνιακό Άζωτο (Total Ammonia Nitrogen - TAN)' το οποίο περιλαμβάνει την ελεύθερη, μη ιονισμένη μορφή της αμμωνίας (NH_3 , Free Ammonia Nitrogen - FAN) και το αμμωνιακό ιόν (NH_4^+) (Jiang et al., 2019). Η μορφή η οποία μας ενδιαφέρει, καθώς επηρεάζει σχεδόν εξολοκλήρου την μικροβιακή κοινότητα, είναι η ελεύθερη αμμωνία. Τέλος, πρέπει να σημειωθεί πως η εμφάνιση τοξικότητας δεν εξαρτάται μόνο από τη συγκέντρωση της ελεύθερης αμμωνίας, αλλά και από άλλους παράγοντες όπως είναι ο ρυθμός οργανικής φόρτισης (Organic Loading Rate – OLR), ο λόγος C/N κ.α. (Christou et al., 2021).

Σκοπός της παρούσας εργασίας αποτελεί η διερεύνηση της συνεργιστικής δράσης που εμφανίζουν η υψηλή συγκέντρωση αμμωνίας και ο ρυθμός οργανικής φόρτισης στην εμφάνιση του φαινομένου της τοξικότητας.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Εμβόλιο και υπόστρωμα

Το εμβόλιο (inoculum) προήλθε από μονάδα βιοαερίου της Κεντρικής Μακεδονίας που λειτουργούσε στο μεσόφιλο εύρος θερμοκρασιών ($37^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$). Το υπόστρωμα (substrate) που χρησιμοποιήθηκε προήλθε από την ίδια μονάδα βιοαερίου και αποτελούσε μίγμα κοπριάς χοίρων και πρωτεΐνης τυρογάλακτος σε αναλογία 65% v/v και 35% v/v , αντίστοιχα.

Τα χαρακτηριστικά του εμβολίου και του υποστρώματος, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά εμβολίου και υποστρώματος			
	Εμβόλιο	Κοπριά χοίρων	Τυρόγαλο
Ολικά Στερεά (TS) (g/L)	60.042	11.789	112.611
Πτητικά Στερεά (VS) (g/L)	46.867	6.513	106.803
Ολικό Αμμωνιακό Άζωτο (TAN) (g/L)	3.290	1.820	0.210
Ολικά VFA (g/L)	34.647	386.765	295.965

2.2 Περιγραφή και λειτουργία της πειραματικής διάταξης

Η πειραματική διάταξη περιλάμβανε τρεις (3) αντιδραστήρες (R1, R2, R3) συνεχούς λειτουργίας και ανάδευσης (CSTR), οι οποίοι λειτουργούσαν με ωφέλιμο όγκο 1.5 L και με

θερμοκρασία που ανήκει στο μεσόφιλο εύρος θερμοκρασιών (37 ± 0.1 °C). Η θερμοκρασία αυτή, διατηρούνταν σταθερή μέσω μίας εσωτερικής θερμαντικής σπείρας, με την οποία ήταν εφοδιασμένος ο κάθε αντιδραστήρας. Επιπλέον, η τροφοδότηση του υποστρώματος πραγματοποιούνταν καθημερινά με τη χρήση τριών περισταλτικών αντλιών. Τέλος, κάθε αντιδραστήρας ήταν εξοπλισμένος με διαχωριστή υγρής – αέριας φάσης και αυτόματο μετρητή παραγόμενου βιοαερίου.

Για την τροφοδοσία των αντιδραστήρων παρέχονταν καθημερινά 62 mL d^{-1} υποστρώματος, τροφοδοσία που αντιστοιχεί σε Υδραυλικό Χρόνο Συγκράτησης (HRT) 24 ημερών και σε Ρυθμό Οργανικής Φόρτισης (OLR) $1.72 \text{ gVS d}^{-1} \text{ L}^{-1}$.

Ο εγκλιματισμός των μικροοργανισμών πραγματοποιήθηκε σε αντιδραστήρες διαλείποντος έργου (Batch Reactors), αυξάνοντας σταδιακά τη συγκέντρωση της αμμωνίας μέχρι τα 5700 ppm (με βήμα 1000 ppm).

Αρχικά, οι αντιδραστήρες λειτούργησαν μέχρι να επιτευχθεί σταθερή παραγωγή βιοαερίου. Στη συνέχεια, προστέθηκε απευθείας στους 3 αντιδραστήρες και στο υπόστρωμα χλωριούχο αμμώνιο (NH_4Cl) με αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης της αμμωνίας στα 5000 ppm. Προκειμένου να μελετηθεί η ανταπόκριση του μικροβιακού πληθυσμού σε συνθήκες αυξημένης συγκέντρωσης, πραγματοποιήθηκε η διεργασία της βιοενίσχυσης με τη χρήση του εγκλιματισμένου πληθυσμού και στους τρεις αντιδραστήρες. Έπειτα, πραγματοποιήθηκε, για δεύτερη φορά, αύξηση της συγκέντρωσης της αμμωνίας, με απευθείας προσθήκη NH_4Cl στους τρεις αντιδραστήρες και στο υπόστρωμα, στα 8500 ppm.

2.3 Αναλυτικοί μέθοδοι μετρήσεων

Η μέτρηση των ολικών στερεών (TS), των πτητικών στερεών (VS) και του ολικού αμμωνιακού αζώτου (TAN), πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με τις μεθόδους που αναφέρονται στο εγχειρίδιο της “ΑΡΗΑ” (Rice et al., 2017). Σε καθημερινή βάση, λαμβάνονταν μετρήσεις για: **1.** την τιμή στη κλίμακα pH, όπου γινόταν με τη χρήση ειδικού οργάνου της εταιρίας Jenway (μοντέλο 3520), **2.** τη συγκέντρωση του παραγόμενου βιοαερίου σε μεθάνιο με τη χρήση αέριου χρωματογράφου (Gas Chromatographer, GC - TCD), της εταιρίας SHIMADZU, το μοντέλο GC-2010 plusAT, εξοπλισμένου με ανιχνευτή θερμικής αγωγιμότητας (Thermal Conductivity Detector, TCD) για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των συστατικών του βιοαερίου (Kalamaras et al., 2020) **και 3.** τη συγκέντρωση των πτητικών λιπαρών οξέων (VFA) με τη χρήση αέριου χρωματογράφου (Gas Chromatographer, GC – FID), της εταιρίας SHIMADZU, το μοντέλο GC-2010 plus AT, ο οποίος ήταν εξοπλισμένος με ανιχνευτή ιονισμού της φλόγας (Kalamaras et al., 2020).

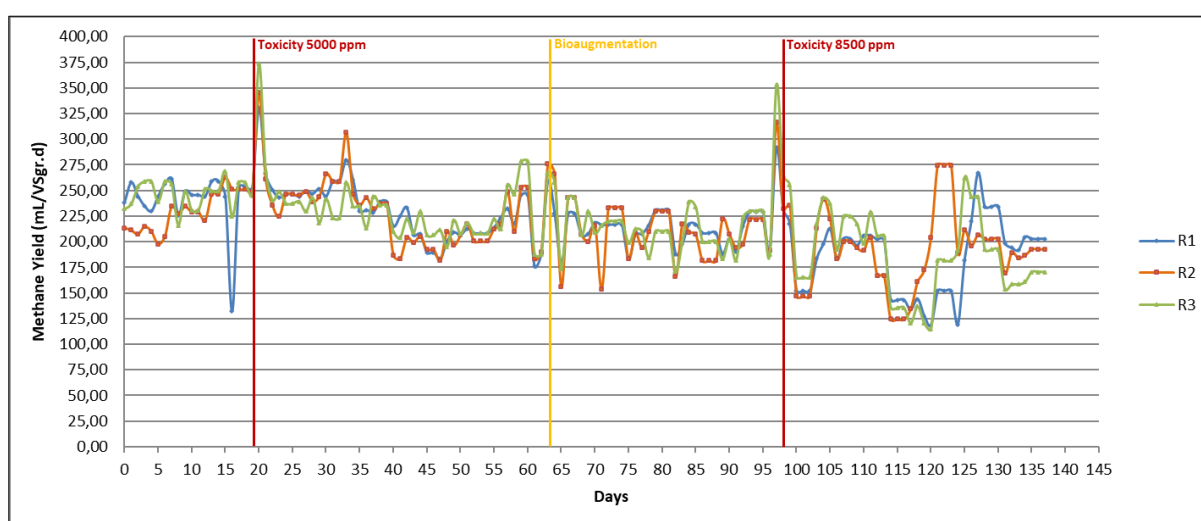
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Όσον αφορά στην παραγωγή μεθανίου, πριν την $1^{\text{η}}$ αύξηση της συγκέντρωσης της αμμωνίας στα 5000 ppm, παρατηρήθηκε σταθερή παραγωγή με Μ.Ο. $238.69 \text{ mLCH}_4 \text{ gVS}^{-1} \text{ d}^{-1}$ και για τους 3 αντιδραστήρες. Ύστερα από την $1^{\text{η}}$ αύξηση, η παραγωγή μεθανίου μειώθηκε και στους 3 αντιδραστήρες κατά Μ.Ο. στα $213.89 \text{ mLCH}_4 \text{ gVS}^{-1} \text{ d}^{-1}$ η οποία αντιστοιχεί σε πτώση κατά 10.39 %. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε η διαδικασία της βιοενίσχυσης και, έπειτα, η τοξικότητα αμμωνίας στα 8500 ppm, όπου ύστερα από 17 ημέρες λειτουργίας, παρατηρήθηκε για 10 ημέρες σημαντική πτώση του παραγόμενου βιοαερίου κατά Μ.Ο. $146.27 \text{ mLCH}_4 \text{ gVS}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ή 38.72 %. Τέλος, μετά από αυτό το χρονικό διάστημα, η παραγωγή αυξήθηκε στα $200.56 \text{ mLCH}_4 \text{ gVS}^{-1} \text{ d}^{-1}$, δηλαδή ανέκαμψε κατά 22.74 %.

Στη συνέχεια, στον **Πίνακα 2** και στο **Διάγραμμα 1** παρουσιάζεται η παραγωγή μεθανίου.

Πίνακας 2: Μέση παραγωγή ανά $\text{mLCH}_4\text{gVS}^{-1}\text{d}^{-1}$ και ανά % της αρχικής παραγωγής για τους 3 αντιδραστήρες (R1, R2, R3)

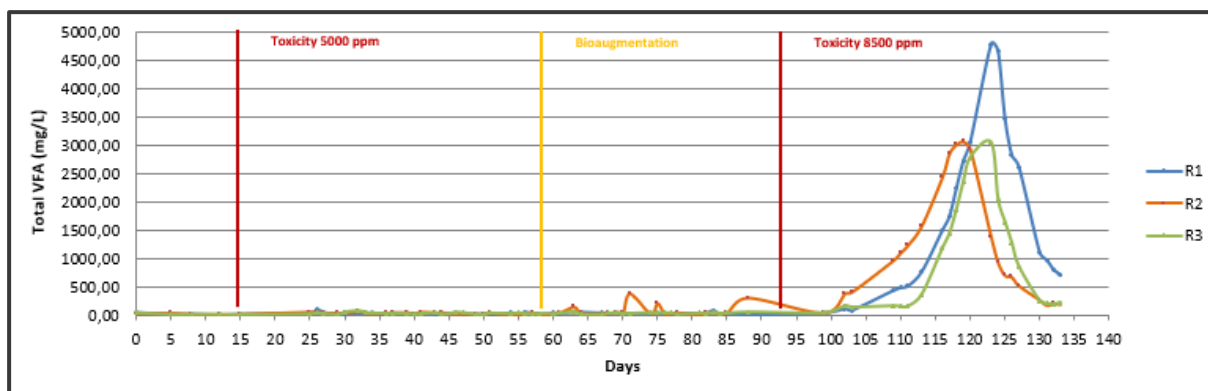
	Αρχική παραγωγή	Αύξηση στα 5000 ppm	Αύξηση στα 8500 ppm	Ανάκαμψη
R1 ($\text{mLCH}_4\text{gVS}^{-1}\text{d}^{-1}$)	240.92	210.47	140.84	203.84
R2 ($\text{mLCH}_4\text{gVS}^{-1}\text{d}^{-1}$)	228.79	209.27	153.47	192.97
R3 ($\text{mLCH}_4\text{gVS}^{-1}\text{d}^{-1}$)	246.45	221.27	144.51	204.87
R1 (% της αρχικής παραγωγής)	-	87.36	58.46	84.60
R2 (% της αρχικής παραγωγής)	-	91.47	67.08	84.34
R3 (% της αρχικής παραγωγής)	-	89.78	58.64	83.13



Διάγραμμα 1: Μέση παραγωγή ($\text{mLCH}_4\text{gVS}^{-1}\text{d}^{-1}$) των 3 αντιδραστήρων

Όσον αφορά στην παραγωγή των πτητικών λιπαρών οξέων (VFA), τόσο στην 1^η αύξηση της συγκέντρωσης της αμμωνίας στα 5000 ppm όσο και έπειτα από τη διαδικασία της βιοενίσχυσης, δεν παρατηρήθηκε αλλαγή στη συγκέντρωσή τους γεγονός που συνάδει άρρηκτα με την μικρή πτώση της παραγωγής βιοαερίου που καταγράφηκε. Ωστόσο, ύστερα από την τοξικότητα στα 8500 ppm και χωρίς να προηγηθεί επιπλέον παρέμβαση, σημειώθηκε ραγδαία αύξηση της συγκέντρωσής τους, όπως, άλλωστε, ραγδαία υπήρξε και η πτώση του παραγόμενου βιοαερίου.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί (**Διάγραμμα 2**), παρουσιάζεται η μεταβολή της συγκέντρωσης των πτητικών λιπαρών οξέων κατά τη διεξαγωγή του πειράματος.



Διάγραμμα 2: Ολική συγκέντρωση (mg/L) πτητικών λιπαρών οξέων των 3 αντιδραστήρων

Τέλος, η τιμή του pH παρέμεινε σταθερή (7.5 ± 0.5) και στους 3 αντιδραστήρες καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Όπως γίνεται αντιληπτό, η εμφάνιση τοξικότητας δεν εξαρτάται μόνο από τη συγκέντρωση της ελεύθερης αμμωνίας (NH_3) αλλά και από άλλους παράγοντες, όπως είναι ο ρυθμός οργανικής φόρτισης (OLR), ο υδραυλικός χρόνος συγκράτησης (HRT), ο λόγος C/N, η συγκέντρωση των πτητικών λιπαρών οξέων (VFA) κ.ά. Συγκεκριμένα, ο ρυθμός οργανικής φόρτισης φαίνεται να δρα συνεργιστικά με τη συγκέντρωση της αμμωνίας στην εμφάνιση του φαινομένου της τοξικότητας. Έχει παρατηρηθεί πως οι αρνητικές επιπτώσεις που δημιουργεί η τοξικότητα της αμμωνίας στον μικροβιακό πληθυσμό και στην παραγωγή του μεθανίου μπορούν να αποφευχθούν όταν η συγκέντρωση της αμμωνίας είναι υψηλή, αλλά ο ρυθμός οργανικής φόρτισης χαμηλός (Christou et al., 2021). Η τελευταία διαπίστωση επιβεβαιώνεται και από τα αποτελέσματα του πειράματος, καθώς η λειτουργία των 3 αντιδραστήρων σε υψηλή συγκέντρωση αμμωνίας (8500 ppm) διαταράχθηκε μόνο για μικρό χρονικό διάστημα και, στη συνέχεια, επανήλθε. Η ανταπόκριση του μικροβιακού πληθυσμού μπορεί να οφείλεται, όπως προαναφέρθηκε, είτε στη διαδικασία της βιοενίσχυσης είτε στον φυσικό εγκλιματισμό των μικροοργανισμών (Tian et al., 2018).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Christou, M.L., Vasileiadis, S., Kalamaras, S.D., Karpouzias, D.G., Angelidaki, I., Kotsopoulos, T.A. 2021. Ammonia-induced inhibition of manure-based continuous biomethanation process under different organic loading rates and associated microbial community dynamics. *Bioresource Technology*, **320**, 124323.
- Jiang, Y., McAdam, E., Zhang, Y., Heaven, S., Banks, C., Longhurst, P. 2019. Ammonia inhibition and toxicity in anaerobic digestion: A critical review. *Journal of Water Process Engineering*, **32**, 100899.
- Kalamaras, S.D., Vasileiadis, S., Karas, P., Angelidaki, I., Kotsopoulos, T.A. 2020. Microbial adaptation to high ammonia concentrations during anaerobic digestion of manure-based feedstock: biomethanation and 16S rRNA gene sequencing. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, **95**(7), 1970-1979.
- Rajagopal, R., Massé, D.I., Singh, G. 2013. A critical review on inhibition of anaerobic digestion process by excess ammonia. *Bioresource Technology*, **143**, 632-641.

- Rice, E.W., R.B. Baird, Eaton, A.D. 2017. STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 23RD EDITION. *American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.*
- Scarlat, N., Dallemand, J.-F., Fahl, F. 2018. Biogas: Developments and perspectives in Europe. *Renewable Energy*, **129**, 457-472.
- Tian, H., Fotidis, I.A., Mancini, E., Treu, L., Mahdy, A., Ballesteros, M., González-Fernández, C., Angelidaki, I. 2018. Acclimation to extremely high ammonia levels in continuous biomethanation process and the associated microbial community dynamics. *Bioresour. Technol.*, **247**, 616-623.

CARBON FOOTPRINT OF BROILER MEAT PRODUCED WITH ALTERNATIVE PROTEIN SOURCES

V. Anestis^{1,2}, T. Bartzanas^{1,2}, D. K. Papanastasiou^{1,3}

¹*Institute for Bio-economy and Agri-technology, Center for Research and Technology Hellas, Dimarhou Georgiadou 118, 38333 Volos, Greece*

²*Dept. of Natural Resources Management and Agricultural Engineering, Agricultural University of Athens, Iera Odos 75, 11855 Athens, Greece*

³*Department of Environmental Sciences, University of Thessaly, Campus Geopolis, 41110 Larissa, Greece*

e-mail: vanestis@aua.gr

Abstract

In this work, the effects of supplying protein sources alternative to soya-based products in rations on the carbon footprint (CF) performance (estimated using Life Cycle Assessment (LCA)) of broiler production systems were reviewed. The findings suggest that there is a potential for CF reduction when alternative protein sources originating from feed crops, which are domestically cultivated in locations with no recent Land Use Change (LUC), are provided. For Greek broiler systems, partial or complete substitution of soya-based ingredients by sunflower and sunflower meal, maize gluten meal and peas (all domestically grown and produced) is suggested to be tested in this respect.

Keywords: Carbon Footprint, Life Cycle Assessment, Alternative protein source, Broilers, Greece

1. INTRODUCTION

Feed supply chains have been suggested as major sources of environmental impacts in poultry production systems (Costantini et al., 2021). Although soya-related feed products have been associated to increased greenhouse gases' (GHG) emissions mostly due to recent land use changes (LUC) for soya cultivation in the major producing countries globally, their supply chains are still the most active in providing proteins in poultry on a global level (FAOSTAT, 2021). There is a potential for alternative protein sources to improve the environmental performance of poultry systems, especially when they originate from feed crops which are domestically cultivated in locations with no recent LUC and therefore stabilized carbon content of arable soil (Leinonen et al., 2013).

The objective of this paper is to review the current scientific literature regarding the effects of using protein sources alternative to soya-based products in broiler rations on the Carbon Footprint (CF) performance (estimated using Life Cycle Assessment (LCA)) of broiler production systems. The findings will be discussed in the context of proposing solutions for broiler products' supply chains in Greece.

2. MATERIALS AND METHODS

In this review, the period 2010 to 2020 was covered as it was considered to reflect the current state of the art. The Web of Science™ and Scopus databases were used for this purpose with keywords "LCA & poultry & protein", "LCA & broiler & protein" and "LCA & chicken & protein".

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. LCA APPLICATION

For poultry production systems, mass-based functional units (FUs) and cradle-to-farm gate system boundaries are predominantly used in LCA model development (Costantini et al., 2021). The inclusion of emissions due to LUC to the system boundaries is expected to strongly influence the environmental impact category indicator (EICI) estimates and especially the CF (expressed as Global Warming Potential, GWP).

A combination of primary and secondary data is common when compiling the Life Cycle Inventory (LCI) of broiler production systems. Primary data is regularly collected via personal communication and interviews with the stakeholders of the supply chain under whose control are the processes of the foreground system of interest (e.g. regularly the parts of the supply chain from feed production to the slaughterhouse) (Costantini et al., 2021). Secondary data are mostly acquired from international LCI datasets of various databases, with Ecoinvent being the most cited. GHG emissions at the farm level are mostly estimated by adopting the IPCC 2006 Guidelines.

The GWP is the most frequently studied EICI in poultry meat production systems with ranges of estimates 0.8-4.3 kg CO₂eq/kg of live weight (farm gate) and 1.9-5.7 kg CO₂eq/kg of carcass weight (slaughterhouse gate).

3.2. EFFECT OF ALTERNATIVE PROTEIN SOURCE

Replacement of soya-based ingredients with the respective ingredients which are not connected to deforestation was proposed as a strategy for improving the CF performance of broiler feeds, as the contributions of CO₂ emissions from land transformation, energy consumption and emissions from deforestation processes connected to soya production, can be deactivated (Tongpool et al, 2012). The study of Leinonen et al. (2013) suggested that

when European-grown protein crops (such as field peas, field beans and whole rapeseed) were added at relatively high concentrations (10-30% by mass) in the birds' diets (with a simultaneous soya concentration decrease, but in any case never completely replaced), the result was a slight reduction in the estimated mean value of GWP, with no statistically significant differences in the estimated reductions. Maximum potential reductions were found when the broilers' diet was enriched with peas, the soybeans content was reduced by 32% and the soybean oil content was increased by 7%. This study further suggested that the reduction in GWP strongly depended on the LUC accounting method applied in their analysis. A complete substitution of imported soya-based products by corn gluten meal produced in Greece and an increase in corn by keeping the protein content constant resulted in a potential 61.3% decrease in the GWP of the live-weight at the farm gate of a broiler farm in Greece (Giannenas et al., 2017). This decrease was explained by the lower CO₂ emissions from LUC from forests to arable soya production in major, global producing countries (i.e. Brazil and Argentina).

Considering that the broiler growth performance is not negatively influenced by the modification of the protein source in their diets, the improvement of the CF performance of the system is closely connected to the CF performance of the supplied protein source (and energy source) ingredient. Indicatively, legume grains and meals from oil seed crops all produced in France showed the highest CF performance per kg from all the protein source alternatives, when delivered to a feed mill in Bretagne, France (Nguyen et al., 2012).

In Greece, from a national production quantity and land use perspective, sunflower and sunflower meal, maize gluten meal and peas could be used as alternative protein sources in broiler diets (FAOSTAT, 2021). Nevertheless, there is still too little known about the environmental performance of the aforementioned crop and processed crop products when delivered to an average feed production facility in Greece. More research involving national feed crop producers, feed crop processors and the feed industry is needed to develop inventory datasets (containing information about the production capacity, the material and energy inputs and the emissions' and waste outputs) representative for Greece and to subsequently run comparative LCAs of national broiler production systems.

4. CONCLUSIONS

Feed production and supply in general and protein and energy sources more specifically have been widely recognized by LCAs as the major contributors to the CF of a broiler production system. This review suggests that partial or complete substitution of soya-based ingredients by sunflower and sunflower meal, maize gluten meal and peas (all grown and produced in Greece) could be tested in the birds' diets in order to improve the CF performance of broiler production systems in Greece, as long as the diets are formulated to meet the broilers' nutritional requirements. Further LCA research involving both national feed production and farm stakeholders would be required in order to confirm the improvement potential, not only from an environmental but also from an economical and social sustainability point of view.

5. ACKNOWLEDGEMENTS

This research has been co-financed by the European Regional Development Fund of the European Union and Greek national funds through the Operational Program Competitiveness, Entrepreneurship and Innovation, under the call RESEARCH – CREATE – INNOVATE (project code:T1EDK-03856)».

6. REFERENCES

- Costantini, M., Ferrante, V., Guarino, M., Bacenetti, J., 2021. *Environmental sustainability assessment of poultry productions through life cycle approaches: A critical review*. Trends Food Sci. Technol. 110, 201–212. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2021.01.086>.
- FAOSTAT, 2021. Crops and livestock products [WWW Document]. URL <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>.
- Giannenas, I., Bonos, E., Anestis, V., Filioussis, G., Papanastasiou, D.K., Bartzanas, T., Papaioannou, N., Tzora, A., Skoufos, I., 2017. *Effects of Protease Addition and Replacement of Soybean Meal by Corn Gluten Meal on the Growth of Broilers and on the Environmental Performances of a Broiler Production System in Greece*. PLoS One 12, e0169511–e0169511. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169511>
- Leinonen, I., Williams, A.G., Waller, A.H., Kyriazakis, I., 2013. *Comparing the environmental impacts of alternative protein crops in poultry diets: The consequences of uncertainty*. Agric. Syst. 121, 33–42. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2013.06.008>.
- Nguyen, T.T.H., Bouvarel, I., Ponchant, P., Van Der Werf, H.M.G., 2012. *Using environmental constraints to formulate low-impact poultry feeds*. J. Clean. Prod. 28, 215–224.

ΕΞΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΒΙΩΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΑΠΟΙΚΟΔΟΜΗΣΗΣ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗΣ ΛΟΓΩ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣ ΑΜΜΩΝΙΑΣ

**M. Γάσπαρη^{1,2}, L. Treu³, N. Duan⁴, Θ. Κωτσόπουλος¹, I. Angelidaki⁵, S. Campanaro³, Π. Γ.
Κούγιας²**

¹Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών & Εξοπλισμού, Τμήμα Γεωπονίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο
Θεσσαλονίκης, 54124, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα

²Ινστιτούτο Εδαφοϋδατικών Πόρων, Ελληνικός Γεωργικός Οργανισμός «ΔΗΜΗΤΡΑ», Θέρμη, 57001,
Ελλάδα

³Τμήμα Βιολογίας, Πανεπιστήμιο της Πάντοβα, Πάντοβα, 35121, Ιταλία

⁴Κολλέγιο Υδατικών Πόρων και Πολιτικών Μηχανικών, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Κίνας, Πεκίνο,
100083, Κίνα

⁵Τμήμα Χημικής και Βιοχημικής Μηχανικής, Πολυτεχνείο της Δανίας, Kgs Lyngby, 2800, Δανία
e-mail: m.gaspari@swri.gr

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η επίδραση της τοξικότητας αμμωνίας στην μικροβιακή κοινότητα που είναι υπεύθυνη για την παραγωγή βιοαερίου μέσω της αναερόβιας αποικοδόμησης. Εξετάστηκαν διαφορετικά συστήματα αναερόβιων αντιδραστήρων και διαφορετικές συγκεντρώσεις αμμωνίας, προκειμένου να προσδιοριστούν τα ανώτερα ανεκτά όρια αμμωνίας για το κάθε σύστημα. Πρόκειται για μία ολιστική μελέτη, σκοπός της οποίας είναι η διερεύνηση της απόκρισης του μικροβιώματος στις συγκεντρώσεις αμμωνίας μέσω των αλλαγών στη σχετική αφθονία του και η αποκρυπτογράφηση των μηχανισμών των μικροοργανισμών προκειμένου να ανταπεξέλθουν στις συνθήκες καταπόνησης όπως προκύπτει από μεταγονιδιωματική ανάλυση καθώς και μέσω συσχέτισης τους με τις βιοχημικές παραμέτρους των αντιδραστήρων.

Λέξεις Κλειδιά: αναερόβια αποικοδόμηση, βιοαέριο, τοξικότητα αμμωνίας, μεταγονιδιωματική

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παραγωγή βιοαερίου από την αναερόβια αποικοδόμηση (anaerobic digestion) οργανικών αποβλήτων είναι μία βιώσιμη τεχνολογία παραγωγής πράσινης ενέργειας και επεξεργασίας (Pantaleo et al., 2013). Τα τελευταία χρόνια η αναερόβια αποικοδόμηση έχει καθιερωθεί σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες όπου έχουν αναπτυχθεί μονάδες παραγωγής βιοαερίου μεγάλης κλίμακας (Akhlar et al., 2020). Στην Ελλάδα, ακόμη και κατά την περίοδο της οικονομικής κρίσης, ο αριθμός των μονάδων βιοαερίων αυξήθηκε από 18 (2014) σε 33 (2019) (www.habio.gr). Η αναερόβια αποικοδόμηση είναι μία πολύπλοκη βιολογική διεργασία κατά την οποία απουσία οξυγόνου διαφορετικές ομάδες μικροοργανισμών δρουν συνεργιστικά ώστε να διασπάσουν πολύπλοκες οργανικές ουσίες με τελικό προϊόν το βιοαέριο (μίγμα CH_4 και CO_2 , σε αναλογία περίπου 3:2) (Kougiaris and Angelidaki, 2018).

Λόγω της συνεχόμενης επέκτασης των εγκαταστάσεων των μονάδων βιοαερίου απαιτούνται συνεχώς μεγαλύτερες ποσότητες βιομάζας για την κάλυψη των αναγκών τους. Η συν-αποικοδόμηση (co-digestion) αποτελεί μία στρατηγική τροφοδοσίας που παρέχει υψηλό ενεργειακό περιεχόμενο και προτιμάται από τις μονάδες βιοαερίου. Οι μικτές πρώτες ύλες είναι συνήθως πολυσύνθετες και περιέχουν ενώσεις που αποτελούν είτε έναν ευεργετικό συνδυασμό θρεπτικών συστατικών είτε εμπεριέχουν τοξικούς παράγοντες που μπορεί να οδηγήσουν ακόμα και σε αναστολή της βιοδιεργασίας (Kougiaris et al., 2016). Ανάμεσα στις ουσίες που η συσσώρευσή τους έχει αρνητική επίδραση στην αναερόβια αποικοδόμηση, η αμμωνία είναι από τους πιο συνηθισμένους αναστολείς. Παρόλο που η αμμωνία είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών (Angelidaki and Ahning, 1994), η συγκέντρωσή της σε υψηλά επίπεδα στο υπόστρωμα τροφοδοσίας μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρές ανισορροπίες της διεργασίας. Είναι γενικά αποδεκτό ότι μεταξύ των μικροοργανισμών που συμμετέχουν στην αναερόβια αποικοδόμηση, οι μεθανογόνοι παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη ευαισθησία στην παρουσία της (Tian et al., 2019).

Αν και είναι γνωστή η αρνητική επίδραση της συσσώρευσης αμμωνίας στην αναερόβια μικροβιακή κοινότητα, δεν έχουν διασαφηνιστεί ακόμη πλήρως οι αιτίες της τοξικότητάς της. Προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η διαδικασία της αναερόβιας αποικοδόμησης είναι απαραίτητο να αποκρυπτογραφηθούν οι μεταβολικές ικανότητες και οι μηχανισμοί αλληλεπίδρασης των μελών της μικροβιακής κοινότητας. Σκοπός της παρούσας ερευνητικής εργασίας ήταν η αποσαφήνιση της δομής και της λειτουργίας της μικροβιακής κοινότητας σε συνθήκες καταπόνησης λόγω προσθήκης αμμωνίας σε αντιδραστήρες βιοαερίου.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Αρχικά διεξήχθησαν πειράματα σε αντιδραστήρες εφάπαξ πλήρωσης (batch digesters) για να προσδιοριστούν τα επίπεδα συγκέντρωσης αμμωνίας πάνω από τα οποία υπήρχε αναστολή της αναερόβιας βιοδιεργασίας. Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε γυάλινα μπουκάλια ορού συνολικού όγκου 118 mL και λειτουργικού όγκου 40 mL. Σε όλες τις μεταχειρίσεις χρησιμοποιήθηκε μεσόφιλο μόλυσμα (από μονάδα βιοαερίου πλήρους κλίμακας), υπόστρωμα γενικής ανάπτυξης και γλυκόζη ως πηγή οργανικής ουσίας, καθώς και οι εξεταζόμενες συγκεντρώσεις αμμωνίας. Οι εξεταζόμενες συγκεντρώσεις αμμωνίας ήταν 0 (Σημείο 1), +2 g $\text{NH}_4\text{Cl}/\text{L}$ (Σημείο 2), +4 g $\text{NH}_4\text{Cl}/\text{L}$ (Σημείο 3) και +6 g $\text{NH}_4\text{Cl}/\text{L}$ (Σημείο 4). Σε κάθε σημείο, όταν η παραγωγικότητα έφτανε στην εκθετική της φάση (χρονική περίοδος που υποδηλώνει την υψηλότερη μικροβιακή δραστηριότητα), λαμβανόταν δείγμα από τα φιαλίδια το οποίο χρησιμοποιήθηκε ως μόλυσμα για το επόμενο σημείο. Στις φάσεις των επανεμβολιασμών ελήφθησαν δείγματα για μοριακές και βιοχημικές αναλύσεις, και όλες οι μεταχειρίσεις πραγματοποιήθηκαν σε τριπλές επαναλήψεις.

Στη συνέχεια διεξήχθη καινούρια πειραματική ακολουθία, στην οποία εξετάστηκαν οι ανισορροπίες της διεργασίας που προκαλούνται από αιφνίδια περιστατικά τοξικότητας αμμωνίας. Πιο συγκεκριμένα, εξετάστηκε η συμπεριφορά ενός συστήματος αναερόβιων αντιδραστήρων πλήρους ανάμιξης (Continuous Stirred Tank Reactors – CSTR). Το πείραμα διεξήχθη σε τρεις αντιδραστήρες λειτουργικού όγκου 1.5 L, σε μεσόφιλες συνθήκες, οι οποίοι τροφοδοτούνταν αποκλειστικά με λύματα βουστασίου. Όταν η λειτουργία τους έφτασε σε σταθερή κατάσταση τότε καταπονήθηκαν αρχικά με +2 g NH₄Cl/L. Στη συνέχεια, όταν επιτεύχθηκαν ξανά οι συνθήκες σταθερής λειτουργίας υποβλήθηκαν σε δεύτερη καταπόνηση με την προσθήκη +5 g NH₄Cl/L. Καθ' όλη τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας καταγράφονταν οι βιοχημικοί δείκτες και επιπλέον έγινε απομόνωση γονιδιωματικού DNA. Το απομονωμένο DNA αναλύθηκε με τη μέθοδο της «τυχαίας αλληλουχίας ολόκληρου του γονιδιώματος» (total random sequencing).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα αποτελέσματα από τους αντιδραστήρες εφάπαξ πλήρωσης έδειξαν ότι η αύξηση της συγκέντρωσης αμμωνίας προκάλεσε τοξικότητα στη διεργασία της αναερόβιας χώνευσης, ιδίως μετά την προσθήκη των 4g NH₄Cl/L. Πιο συγκεκριμένα, η απόδοση παραγωγής μεθανίου της μεταχείρισης ελέγχου (δηλαδή μεταχείριση χωρίς αμμωνία) ήταν 340 ± 14 mL CH₄/g VS. Η προσθήκη 2 g NH₄Cl/L μείωσε την απόδοση μεθανίου κατά 5%, των 4 g NH₄Cl/L οδήγησε σε μείωση κατά περίπου 38% και των 6 g NH₄Cl/L στη σημαντική μείωση 74%. Εκτός από τη επίδραση στην απόδοση του μεθανίου, οι υψηλότερες δόσεις NH₄Cl/L παρατείνουν τη φάση υστέρησης (lag phase) του μικροβιώματος, καθώς και τη συνολική περίοδο της διεργασίας. Συγκεκριμένα, η διάρκεια κάθε δοκιμής διήρκεσε 12, 20 και 45 ημέρες για τις μεταχειρίσεις που συμπληρώθηκαν με 2, 4 και 6 g NH₄Cl/L αντίστοιχα. Τέλος, τα αποτελέσματα από τις συγκεντρώσεις των πτητικών λιπαρών οξέων (δείκτες ομαλής αποικοδόμησης οργανικών ενώσεων) έδειξαν ότι με την αύξηση της συγκέντρωσης της αμμωνίας υπήρχε συσσώρευση προπιονικού οξέος που δεν μπορούσε να μετατραπεί περαιτέρω σε οξικό οξύ και να καταναλωθεί από τους μεθανογόνους μικροοργανισμούς.

Στο σύστημα CSTR απαιτήθηκαν 3-4 HRT (υδραυλικός χρόνος παραμονής, με κάθε HRT να ισοδυναμεί με 25 ημέρες) για να φτάσει η διεργασία σε συνθήκες σταθερής κατάστασης. Στην περίοδο σταθερής κατάστασης το παραγόμενο βιοαέριο περιείχε περίπου 65% CH₄ και 35% CO₂ και η μέση παραγωγή μεθανίου ήταν 200 mL CH₄/g VS. Η εισαγωγή των 2 g NH₄Cl/L, δεν δημιούργησε τοξικότητα στη διεργασία καθώς δεν παρατηρήθηκε κάποια ανισορροπία στην παραγωγή βιοαερίου και στη συγκέντρωση των πτητικών λιπαρών οξέων. Ενδιαφέροντα είναι τα αποτελέσματα της εισαγωγής 6 g NH₄Cl/L στους αντιδραστήρες. Σε αντίθεση, με τα αποτελέσματα από τους αντιδραστήρες εφάπαξ πλήρωσης στους οποίους η εισαγωγή 5 g NH₄Cl/L είχε ως αποτέλεσμα σχεδόν την πλήρη αναστολή της διαδικασίας, τα 5 g στους CSTR προκάλεσαν διακύμανση και μικρή πτώση στο ρυθμό παραγωγής μεθανίου και στις άλλες βιοχημικές παραμέτρους, ωστόσο δεν παρουσίασε επιδείνωση της διεργασίας, η οποία επανήλθε στην προηγούμενη κατάσταση σχεδόν αμέσως της επαγόμενης διαταραχής. Τα αποτελέσματα από τη μεταγονιδιωματική και ανάλυση αναλύονται επί του παρόντος· η συσχέτισή τους με τις βιοχημικές παραμέτρους θα είναι διαθέσιμη κατά τη διάρκεια του συνεδρίου

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Διερευνώντας την ανασταλτική επίδραση της αμμωνίας στην αναερόβια αποικοδόμηση, διαπιστώθηκε ότι τα 4 g NH₄Cl/L ήταν το κατώτατο όριο για την εμφάνιση τοξικότητας της

αμμωνίας σε αντιδραστήρες εφάπαξ πλήρωσης. Οι CSTR αντιδραστήρες έδειξαν μεγαλύτερη ανεκτικότητα στα αιφνίδια περιστατικά τοξικότητας αμμωνίας, λόγω της διαφορετικής αρχής λειτουργίας τους αλλά και της δημιουργίας ανθεκτικότερης μικροβιακής κοινότητας.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Akhiar, A., Zamri, M. F. M. A., Torrijos, M., Battimelli, A., Roslan, E., Marzuki, M. H. M., & Carrere, H., 2020. *Anaerobic digestion industries progress throughout the world*. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 476, No. 1, p. 012074). IOP Publishing.
- Angelidaki, I., & Ahring, B. K., 1994. *Anaerobic thermophilic digestion of manure at different ammonia loads: effect of temperature*. Water Research, 28(3), 727-731.
- Kougias, P. G., & Angelidaki, I., 2018. *Biogas and its opportunities—A review*. Frontiers of Environmental Science & Engineering, 12(3), 14.
- Kougias, P. G., Treu, L., Campanaro, S., Zhu, X., & Angelidaki, I., 2016. *Dynamic functional characterization and phylogenetic changes due to Long Chain Fatty Acids pulses in biogas reactors*. Scientific reports, 6, 28810.
- Pantaleo, A., De Gennaro, B., & Shah, N., 2013. *Assessment of optimal size of anaerobic co-digestion plants: an application to cattle farms in the province of Bari (Italy)*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 20, 57-70.
- Tian, H., Mancini, E., Treu, L., Angelidaki, I., & Fotidis, I. A. (2019). *Bioaugmentation strategy for overcoming ammonia inhibition during biomethanation of a protein-rich substrate*. Chemosphere, 231, 415-422.

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΑΝΤΙΚΤΥΠΟΥ ΑΥΤΩΝ ΣΤΗ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΕΝΟΣ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Ε. Αλεξανδρόπουλος¹, Β. Ανέστης¹, Θ. Μπαρτζάνας¹

¹Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής,
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 11855, Αθήνα, Ελλάδα
e-mail: vagalexandr1991@aua.gr

Περίληψη

Στην εργασία αυτή αξιολογούνται 15 εργαλεία υποστήριξης λήψης απόφασης που βασίζονται στον υπολογισμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG) που εκπέμπονται από τα συστήματα κτηνοτροφικής παραγωγής. Η αξιολόγηση βασίζεται σε έναν αριθμό σημαντικών κριτηρίων καθώς και σε λίστες ελέγχου ύπαρξης κατηγοριών πληροφοριών εισαγωγής και αποτελεσμάτων των εργαλείων αυτών. Τα εργαλεία χωρίστηκαν σε 2 κατηγορίες σύμφωνα με το στόχο τους και την προσέγγιση αποτίμησης της βιωσιμότητας. Αδύναμο σημείο όλων των εργαλείων αποτελεί η έλλειψη της αυτοματοποιημένης συμβουλής προς τους χρήστες. Η εργασία προτείνει σημαντικές λειτουργίες ενός σύγχρονου υπολογιστικού εργαλείου υποστήριξης λήψης απόφασης βάσει των εκπομπών GHG από συστήματα κτηνοτροφίας.

Λέξεις κλειδιά: Εργαλεία υποστήριξης λήψης απόφασης, Αέρια του θερμοκηπίου, Αξιολόγηση της βιωσιμότητας, Συστήματα κτηνοτροφίας

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αγροτική παραγωγή, οι δραστηριότητες σε δασικές εκτάσεις και άλλες δραστηριότητες που αφορούν την χρήση της γης (AFOLU) εκπέμπουν ένα μεγάλο ποσοστό των αερίων του θερμοκηπίου (GHG) παγκοσμίως και πιο συγκεκριμένα για το 2019 το 13% του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), το 44% του μεθανίου (CH₄) και το 81% του υποξειδίου του αζώτου (N₂O), σύμφωνα με στοιχεία της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την αλλαγή του κλίματος (IPCC, 2019). Επιπροσθέτως, ο προσδιορισμός των εκπομπών GHG είναι ιδιαίτερης σημασίας για τον προσδιορισμό της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας ενός συστήματος ζωικής παραγωγής, σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Τροφίμων (FAO, 2019).

Η μεθοδολογία της IPCC, καθώς και μεθοδολογίες για τον υπολογισμό του αντικτύπου των εκπομπών GHG στην βιωσιμότητα μιας κτηνοτροφικής εκμετάλλευσης, χρησιμοποιούνται από πληθώρα υπολογιστικών εργαλείων.

Η χρήση των εργαλείων αυτών ενδέχεται να αυξηθεί σημαντικά στο μέλλον (Vibart et al. 2021), καθώς η μέτρηση των εκπομπών των αερίων θερμοκηπίων με ανάλογα όργανα σε κάθε κτηνοτροφική εκμετάλλευση είναι σχεδόν αδύνατη (Schils et al., 2012).

Μέχρι σήμερα, έχει ερευνηθεί ο τρόπος υπολογισμού των GHG και ο αντίκτυπός τους στην βιωσιμότητα μίας επιχείρησης (Ahmed et al., 2020).

Στην παρούσα εργασία, θα πραγματοποιηθεί, μέσω βιβλιογραφικής ανασκόπησης, αξιολόγηση εργαλείων υποστήριξης λήψης απόφασης (DS) που μελετούν τις εκπομπές των GHG και/ή τον αντίκτυπό τους στην περιβαλλοντική βιωσιμότητα ενός συστήματος ζωικής παραγωγής, ως προς κριτήρια μεθοδολογίας, λειτουργιών, περιβάλλοντος εφαρμογής, καθώς και ως προς την ύπαρξη παραμέτρων εισαγωγής και αποτελεσμάτων των εργαλείων αυτών.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η επιλογή των εργαλείων DS πραγματοποιήθηκε βάσει έρευνας σε μηχανές αναζήτησης (π.χ. Google Scholar, Scopus) η οποία είχε στόχο την εύρεση εργασιών δημοσιευμένων σε επιστημονικά περιοδικά οι οποίες αφορούν στην παρουσίαση και την σύγκριση των μεθοδολογιών και των αποτελεσμάτων των εργαλείων αυτών (π.χ. Arulnathan et al., 2020). Φράσεις που χρησιμοποιήθηκαν στις μηχανές αναζήτησης είναι οι 'Decision support systems', 'Greenhouse Gases', 'Sustainability Assessment'.

Επιπλέον, στον προσδιορισμό των αξιολογούμενων εργαλείων λήφθηκαν υπόψιν επιστημονικές εργασίες οι οποίες δεν έχουν δημοσιευθεί σε επιστημονικά περιοδικά (π.χ. εκθέσεις ευρωπαϊκών προγραμμάτων, όπως τα CCAFS, Alberta Government-Growing Forward 2, CLEANED-VCs), καθώς και προτάσεις των εταίρων ενός Ευρωπαϊκού ερευνητικού έργου.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1. ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ

Τα εργαλεία κατηγοριοποιήθηκαν σε: α) υπολογιστικά εργαλεία (Overseer, FarmAC, Cool Farm Tool, BEK, Carbon Navigator – Beef, Carbon Navigator – Dairy, AgBalance, Holos, GLEAM, EX-ACT, RISE) και β) εργαλεία αξιολόγησης της βιωσιμότητας ή εργαλεία που κάνουν χρήση ενιαίας βαθμονόμησης/βαθμολογικής κλίμακας (π.χ. επί τις εκατό, από το 1 μέχρι το 10) για την παρουσίαση αποτελεσμάτων δεικτών βιωσιμότητας, χρησιμοποιώντας συντελεστές στάθμισης (SAFA, RISE, SMART, KSNL, DLG).

3.2. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΚΑΙ ΛΙΣΤΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ

Η αξιολόγηση αυτών των εργαλείων πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας κριτήρια και λίστες ελέγχου ύπαρξης πληροφοριών σημαντικών τόσο ως εισαχθείσες στα εργαλεία όσο και ως αποτελέσματα των εργαλείων αυτών.

Τα κριτήρια αξιολόγησης που χρησιμοποιήθηκαν στο παρόν άρθρο είναι: α) ο βαθμός προσβασιμότητας β) η φιλικότητα προς τον χρήστη γ) το είδος και ο αριθμός των ενδιαφερομένων για την χρήση των εργαλείων δ) η μεθοδολογία βιωσιμότητας και ε) οι παράμετροι μοντελοποίησης.

Σχετικά με τις λίστες ελέγχου, ως κατηγορίες εισαχθέντων τιμών (inputs) αξιολογήθηκαν οι σχετικές με το έδαφος, με τις φυτικές καλλιέργειες, με το κλίμα, με την κτηνοτροφική παραγωγή, με την διαχείριση της κοπριάς και με την διαχείριση των ζωοτροφών. Τέλος, ως αποτελέσματα (outputs) των εργαλείων αξιολογήθηκαν : α) οι κατηγορίες των δεικτών περιβαλλοντικών επιπτώσεων, β) οι εκπομπές ανα πηγή, γ) οι εκπομπές των CO₂, CH₄, N₂O και NH₃ ξεχωριστά, δ) οι εκπομπές GHG ως CO₂ eq, και ε) η παροχή συμβουλών σχετικά με τη διατροφή.

3.3. ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΒΑΣΕΙ ΤΗΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

Από την αξιολόγηση παρατηρήθηκαν τα εξής: 1) Τα συστήματα τα οποία περιγράφονται κατά κύριο λόγο από τα αξιολογούμενα εργαλεία DS είναι αυτά των γαλακτοπαραγωγικών και κρεατοπαραγωγικών βοοτροφικών εκμεταλλεύσεων, 2) τα περισσότερα των υπολογιστικών εργαλείων υπολογίζουν και τις εκπομπές αμμωνίας (NH₃), 3) η ανάλυση σεναρίου, η ανάλυση συνεισφοράς και η καταγραφή προόδου είναι οι μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται περισσότερο από τα εργαλεία, 4) το 50% των εργαλείων χρησιμοποιούν εισαχθείσες πληροφορίες που αφορούν το κλίμα ή τις αγροοικολογικές ζώνες, 5) η διαχείριση της κοπριάς (π.χ. αποθήκευση, εφαρμογή στο έδαφος) λαμβάνεται υπόψη σε όλα τα υπολογιστικά εργαλεία, 6) τα λιγότερα των εργαλείων υπολογίζουν τις οικονομικές εισροές και εκροές, 7) τα λιγότερα των υπολογιστικών εργαλείων παρέχουν συμβουλές για τη διαχείριση ζωοτροφών, 8) τα εργαλεία που αξιολογούν την βιωσιμότητα χρησιμοποιούν διαφορετικές μεθοδολογίες βαθμονόμησης, εκτός από το SMART που βασίζεται στις οδηγίες του SAFA.

Η κύρια διαφορά μεταξύ των υπολογιστικών εργαλείων των εκπομπών GHG και των εργαλείων αξιολόγησης της βιωσιμότητας, έγκειται στην χρήση μεθοδολογίας βαθμονόμησης των δεύτερων, με τη μεθοδολογία βαθμονόμησης σε συγκεντρωτικούς δείκτες (π.χ. συντελεστές στάθμισης επιμέρους δεικτών) να μην είναι διεθνώς συμφωνημένη

Επιπλέον, είναι εμφανής η απουσία αυτοματοποιημένης συμβουλευτικής λειτουργίας από τα εργαλεία αυτά, σχετικά με ενέργειες μετριασμού των εκπομπών GHG. Η τελική απόφαση του χρήστη θα πρέπει να ληφθεί αφότου αναλύσει τα αποτελέσματα των εργαλείων κάτι το οποίο είναι δύσκολο, λόγω έλλειψης των σχετικών γνώσεων, από ομάδες χρηστών όπως π.χ. παραγωγοί, σύμβουλοι παραγωγών.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Για να επιτευχθεί η δημιουργία ενός λειτουργικού και σύγχρονου συστήματος υποστήριξης λήψης απόφασης θα πρέπει να συνδυαστούν: 1) ο σύγχρονος και λειτουργικός προσδιορισμός του συστήματος (πχ ο πλήρης έλεγχος όλων των διαδικασιών από τον κτηνοτρόφο), 2) οι σύγχρονοι μέθοδοι/αλγόριθμοι καθώς επίσης και η ανάλυση των σύγχρονων μοντέλων υπολογισμού των εκπομπών των αερίων των θερμοκηπίων, 3)

συμφωνημένες μέθοδοι βαθμονόμησης σε συγκεντρωτικούς δείκτες βιωσιμότητας συστημάτων ζωικής παραγωγής και παρουσίασης αυτών και 4) η έκδοση αυτοματοποιημένης συμβουλευτικής αναφοράς βάσει των εισαχθέντων δεδομένων.

Τα βασικά χαρακτηριστικά που είναι σημαντικά για την ανάπτυξη ενός πρότυπου εργαλείου υποστήριξης απόφασης λαμβάνοντας υπόψη τις εκπομπές GHG είναι: 1) η διαδικτυακή χρήση του εργαλείου, 2) η εύκολη πρόσβαση στο εργαλείο και στις λειτουργίες τους, 3) η στόχευση σε ενδιαφερόμενους που δεν κατέχουν εμπειρία και γνώσεις για την χρήση παρόμοιων υπολογιστικών εργαλείων και να παρέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για την χρήση και την μεθοδολογία που χρησιμοποιεί και 4) η χρήση του σε πολυεθνικό επίπεδο.

5. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η εργασία αυτή χρηματοδοτήθηκε από τη Γενική Γραμματεία Έρευνας και Καινοτομίας (ΓΓΕΚ), Κωδ. Έργου T11EPA4-00076, Έργο MELS (funded under the Joint Call 2018 ERA-GAS, SusAn and ICT-AGRI on ‘Novel technologies, solutions and systems to reduce the greenhouse gas emissions in animal production systems’).

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ahmed, M., Ahmad, S., Waldrip, H.M., Ramin, M., Raza, M.A., 2020. *Whole Farm Modeling: A Systems Approach to Understanding and Managing Livestock for Greenhouse Gas Mitigation, Economic Viability and Environmental Quality* 345–371. <https://doi.org/10.2134/asaspecpub67.c25>
- Arulnathan, V., Heidari, M.D., Doyon, M., Li, E., Pelletier, N., 2020. *Farm-level decision support tools: A review of methodological choices and their consistency with principles of sustainability assessment*. *J. Clean. Prod.* <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120410>
- FAO, 2019. *FAO’S Work on Climate change*. United Nations Climate Change Conference 2019 1–40.
- IPCC, 2019. *Summary for Policymakers*. In: *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*.
- Schils, R.L.M., Ellis, J.L., de Klein, C.A.M., Lesschen, J.P., Petersen, S.O., Sommer, S.G., 2012. *Mitigation of greenhouse gases from agriculture: Role of models*. *Acta Agric. Scand. A Anim. Sci.* 62, 212–224. <https://doi.org/10.1080/09064702.2013.788205>
- Vibart, R., de Klein, C., Jonker, A., van der Weerden, T., Bannink, A., Bayat, A.R., Crompton, L., Durand, A., Eugène, M., Klumpp, K., Kuhla, B., Lanigan, G., Lund, P., Ramin, M., Salazar, F., 2021. *Challenges and opportunities to capture dietary effects in on-farm greenhouse gas emissions models of ruminant systems*. *Sci. Total Environ.* 769, 144989. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.144989>

ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT OF AN AQUACULTURE PRODUCTION SYSTEMS USING THE LIFE CYCLE APPROACH

A. Vatsanidou¹, V. Anestis², I. Skoufos³, A. Tzora³, T. Bartzanas²

¹*Department of Agricultural Development, Nutrition and Sustainability, National and Kapodistrian University of Athens, 34400, Psaxna Euboias, e-mail: anvatsan@agro.uoa.gr, vatsanidou@gmail.com*

²*Laboratory of Farm Structures, Department of Natural resources and Agricultural Engineering, Agricultural University of Athens, 11855, Athens, Greece*

³*Laboratory of Animal Science, Nutrition and Biotechnology, Department of Agriculture, Division of Animal Production, University of Ioannina, Kostakioi, Arta, 47100, Greece*

Extended abstract

Aquaculture has been identified as a promising alternative to fisheries to tackle the growing food security issue while avoiding depletion of wild fish stocks. The environmental and socio-economic sustainability of aquaculture have become major current concerns, especially among consumers, environmental advocates and policy makers. At the same time, concerns on environmental effect of aquaculture and the desire to facing sustainability problems, both socially and environmentally, require science based decisions. Like all agricultural production systems, aquaculture require a substantial number of inputs to achieve satisfactory fish production and quality. High inputs increase costs and reduce competitiveness. Moreover, environmental problems like nitrogen and phosphorus emissions to sea water enhance the impacts related to fish farming.

The environmental impact of an aquaculture farm in Greece was assessed using the life cycle approach (LCA). The Impact assessment analysis in the characterization phase was performed with the CML-IA method and with FU 1ton of sea bass at the farm gate. The results shows that feed production has an important contribution percentage in the majority of the impact categories. Analysing the most important impact categories it is obvious that Acidification potential is dominated by feed production (almost 70%), followed by energy and fertilizer use and less from transportation and use of fuels. Eutrophication potential is dominated by sea bass production at the farm level (75%), followed by feed production. Mean global warming potential influenced mainly by feed production with contribution of 70%.

The experimental belongs to the company of SKALOMA S.A. and was originally established in Sagiada strip. It has an annual official production capacity of 400 tonnes of Mediterranean marine fish species (i.e. sea bream, sea bass, meager, etc.). The farm leases 1.5 ha (77 m x 195 m) of marine and also processes land-based supporting facilities in the vicinity of the farm. Currently, the floating facilities of the farm include 31 circular plastic cages in total, and four barges (Table 1). The cultured species are mainly sea bass and secondarily sea bream and Japanese sea bream. The standing stocking density is relatively moderate (about 6 kg m⁻³) with mortalities up to 25% in sea bream and 17-18% in sea bass.

Table 1. Aerial Cages characteristics

Cage Characteristics	60 m inner circumference	11 m inner circumference
Cage surface	349.67 m ²	147.41 m ²
Net cage surface	286.52 m ²	126.68 m ²
Maximum net cage depth	10 m	8 m
Cage volume	2,865.22 m ³	1,013.42 m ³
Net volume	54,439.14 m ³	11,147.59 m ³

A partial LCA was conducted following an attributional ‘cradle-to-farm-gate’ approach, focusing on the fish farm and expressing the environmental impacts per 1 ton of sold, unprocessed fish (functional unit, FU). The analysis was focused on estimating the polluted elements and resource flows of the examined system attributed to the delivery of a specified amount of the FU, considering static processes within the system boundaries. The term ‘cradle-to-farm-gate’ indicates that all processes up to the purchase of the fish live-weight by the processing industry are included in the system boundary of the current LCA study, like fish feed production and import, infrastructure, transportation of material, fingerlings production and import (Fig. 1). All the unit processes related to energy consumption, used materials, and waste releases to the environment were modelled. Primary data acquisition to feed the modelling were performed for these upstream processes of the system with low availability in secondary inventory data in the existent international life cycle inventory (LCI) databases (Ecoinvent, Agri-footprint, etc.). The rest of the upstream processes were modelled by using the available secondary LCI databases, adjusted to area’s conditions

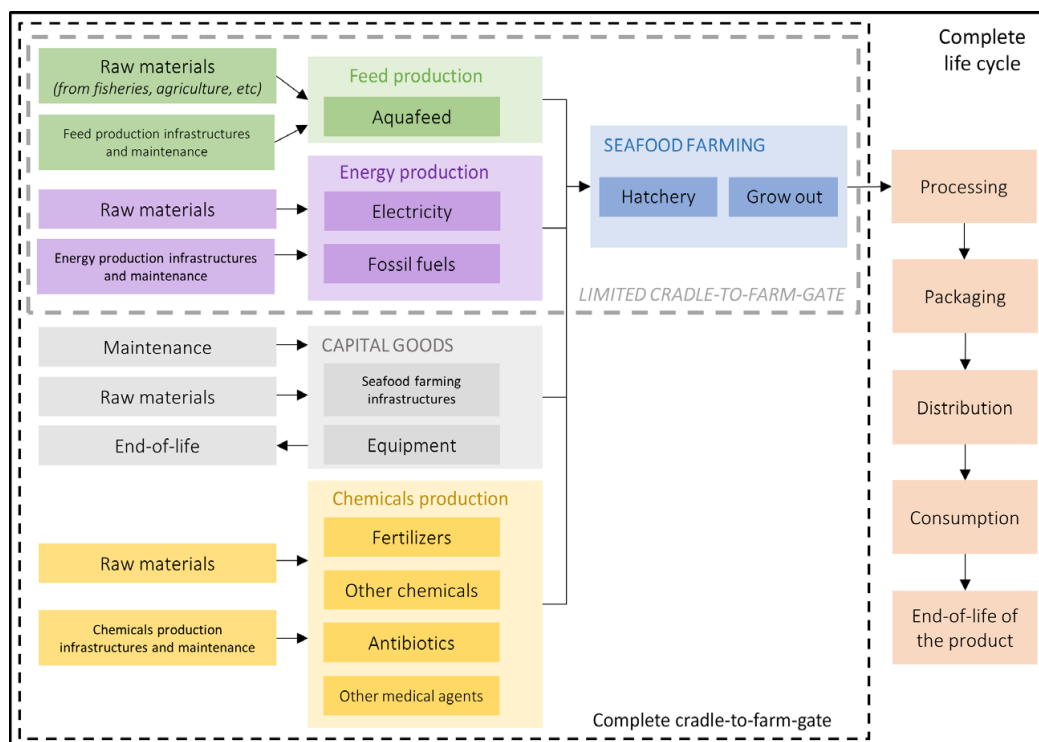


Figure 1. System boundary of the aquaculture system

The environmental impacts assigned to the impacts categories presented above are presented in Fig.2, where, the process contribution of farm activities to the total environmental impact is analysed. Feed production has an important contribution percentage in the majority of the impact categories. Acidification potential is dominated by feed production, eutrophication potential is dominated by sea bass production and mean global warming potential influenced mainly by feed production.

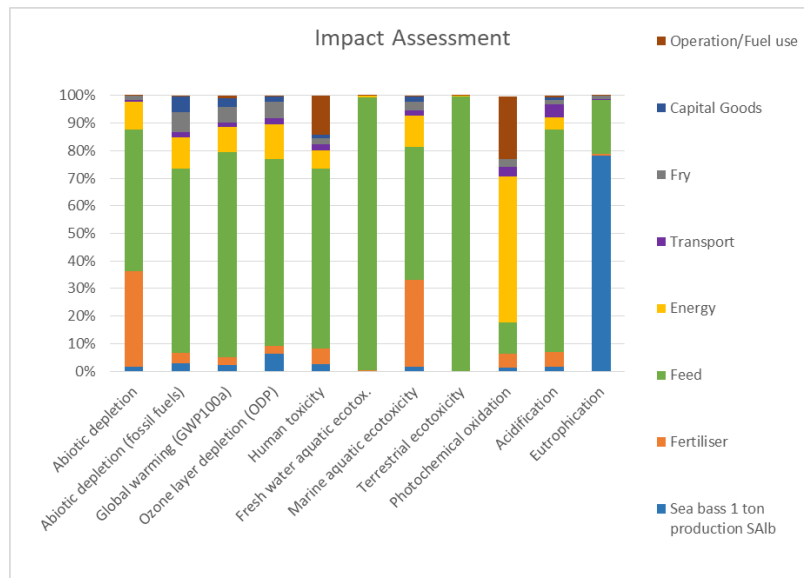


Figure 2. Process contribution in the total environmental impacts of the sea bass

ΕΥΡΕΣΗ ΒΕΛΤΙΣΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΣΤΙΚΗΣ ΙΛΥΟΣ ΜΕ ΥΠΕΡΚΡΙΣΙΜΗ ΕΚΡΗΞΗ CO₂ ΜΕ ΣΚΟΠΟ ΤΗ ΜΕΓΙΣΤΗ ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Γ.Χ. Μήτρακα^{1,2}, Κ. Κοντογιαννόπουλος¹, Ι. Τσιβιντζέλης³, Κ. Τσιόπτσιας³, Α. Ζουμπούλης², Π. Κούγιας¹

¹ Εργαστήριο Διαχείρισης και Βιοεπεξεργασίας Αποβλήτων, Ελληνικός Γεωργικός Οργανισμός - ΔΗΜΗΤΡΑ, Ινστιτούτο Εδαφοϋδατικών Πόρων, 57001, Θέρμη, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα
e-mail: c.mitraka@swri.gr

² Εργαστήριο Χημικής και Περιβαλλοντικής Τεχνολογίας, Τμήμα Χημείας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 54124, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα

³ Εργαστήριο Φυσικοχημείας, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 54124, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι ο προσδιορισμός των βέλτιστων συνθηκών προεπεξεργασίας αστικής ιλύος με χρήση διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) που οδηγούν στη μέγιστη ανάκτηση βιοαερίου. Συγκεκριμένα, εξετάζεται η απόδοση της υπερκρίσιμης έκρηξης με CO₂ (Supercritical Carbon Dioxide Explosion) μέσω συγκρίσεων ως προς το δυναμικό παραγωγής βιοαερίου μεταξύ δειγμάτων από την αρχική και την προεπεξεργασμένη ιλύ, σε διάφορες συνθήκες. Το δυναμικό προσδιορίστηκε κατά την διεξαγωγή προκαταρκτικών πειραμάτων σε αντιδραστήρες εφάπαξ πλήρωσης (Biochemical Methane Potential tests). Επιπλέον, μέσω του πειραματικού σχεδιασμού (Design of Experiments) και της Μεθοδολογίας των Επιφανειών Απόκρισης (Response Surface Methodology) αναζητούνται οι βέλτιστες συνθήκες προεπεξεργασίας με CO₂ προκειμένου να αναπτυχθεί μία «πράσινη» μέθοδος που θα εξασφαλίσει αυξημένη βιοαποικοδομησιμότητα και μέγιστη παραγωγή βιομεθανίου.

Λέξεις κλειδιά: Αστική ιλύς, Προεπεξεργασία βιομάζας, Υπερκρίσιμα Ρευστά, Διοξείδιο του άνθρακα, Βιομεθάνιο, Βελτιστοποίηση

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι πράσινοι διαλύτες έχουν αναδειχθεί τα τελευταία χρόνια ως εναλλακτικές λύσεις για την προεπεξεργασία της βιομάζας. Στους διαλύτες αυτούς εντάσσονται και τα υπερκρίσιμα ρευστά, τα οποία αποτελούν ουσίες που βρίσκονται πάνω από τις κρίσιμες συνθήκες θερμοκρασίας (Tc) και πίεσης (Pc) και συνδυάζουν ιδιότητες όπως η διαχυτότητα, το ιξώδες και η πυκνότητα που βρίσκονται μεταξύ εκείνων των αερίων και των υγρών (Prado et al., 2015). Ανάμεσα στα πιο κοινά υπερκρίσιμα ρευστά είναι και το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το οποίο αποτελεί μία ενδιαφέρουσα επιλογή διαλύτη, καθώς διατίθεται ευρέως σε υψηλή καθαρότητα και είναι μη τοξικό. Μία εναλλακτική τεχνική προεπεξεργασίας της βιομάζας που χρησιμοποιεί διοξείδιο του άνθρακα για διαλύτη, αποτελεί η υπερκρίσιμη έκρηξη με CO₂ (Supercritical Carbon Dioxide Explosion). Η συγκεκριμένη τεχνική χαρακτηρίζεται ως μία ασφαλής και πράσινη τεχνολογία ενώ πλεονεκτεί στο γεγονός ότι ο διαχωρισμός του διαλύτη μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο με μία μικρή εκτόνωση της πίεσης, αποφεύγοντας περαιτέρω στάδια διαχωρισμού και πρακτικές που σχετίζονται με την αύξηση της θερμοκρασίας προκειμένου να εξατμιστεί ο διαλύτης (Otles & Kartal, 2018).

Κατά την υπερκρίσιμη έκρηξη με CO₂, η ύλη συμπιέζεται με CO₂ πάνω από τις κρίσιμες τιμές θερμοκρασίας και πίεσης για ορισμένο χρονικό διάστημα και εν συνεχεία το μίγμα αποσυμπιέζεται γρήγορα. Εξαιτίας της έκθεσης της βιομάζας σε υψηλή πίεση, ο διαλύτης εισέρχεται στους μικροπόρους της μήτρας και του κυτταρικού τοιχώματος. Συνεπώς, με την ξαφνική αποσυμπίεση του θαλάμου αντίδρασης, το συμπιεσμένο υγρό εγκαταλείπει απότομα τη μήτρα του δείγματος, προκαλώντας ταχεία και έντονη διαστολή της στερεής επιφάνειας. Ως εκ τούτου, μεταβάλλεται η φυσική δομή της βιομάζας, αυξάνεται το πορώδες της και προκαλείται η ρήξη του κυτταρικού τοιχώματος, αυξάνοντας την ειδική επιφάνεια (Escobar et al., 2020). Έτσι, διευκολύνεται η πρόσβαση των μικροοργανισμών και των ενζύμων στη βιοαποικοδομήσιμη οργανική ουσία που περιλαμβάνεται στο εσωτερικό της αστικής ύλης (Zhao et al., 2019).

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για τους σκοπούς της πειραματικής διαδικασίας και την απομάκρυνση της υγρασίας, 10 λίτρα αστικής ύλης τοποθετήκαν σε φούρνο θέρμανσης-ξήρανσης στους 105 °C, για 24 ώρες. Στη συνέχεια, η ξηραμένη ποσότητα λειοτριβήθηκε και αποθηκεύτηκε σε ξηραντήρα μέχρι την περαιτέρω χρήση της.

2.1. ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ

Η στρατηγική οργάνωσης των πειραμάτων που ακολουθήθηκε κατά τη μελέτη της τεχνικής προεπεξεργασίας με υπερκρίσιμο διοξείδιο του άνθρακα (scCO₂), ήταν αυτή του στατιστικού σχεδιασμού των πειραμάτων (Design of Experiments, DoE) εφαρμόζοντας τη Μεθοδολογία των Επιφανειών Απόκρισης (Response Surface Methodology, RSM). Η προσέγγιση αυτή είχε ως στόχο την διεξαγωγή όσο το δυνατόν περισσότερων συμπερασμάτων και την καλύτερη δυνατή κατανόηση της διεργασίας με τον ελάχιστο αριθμό πειραμάτων και την ελάχιστη δυνατή χρήση των πόρων (Montgomery, 2017). Αρχικά, πραγματοποιήθηκε η διάκριση μεταξύ των υπό μελέτη παραγόντων (θερμοκρασία, πίεση, χρόνος), με βάση τον τρόπο (θετικά ή αρνητικά) και το βαθμό επίδρασή τους στην παραγωγή βιομεθανίου. Η διαδικασία αυτή, κατά την οποία οι παράγοντες διαχωρίζονται σε σημαντικούς και μη σημαντικούς ονομάζεται «screening». Οι τιμές των συνθηκών προεπεξεργασίας που μελετήθηκαν ήταν στους 35 και 125 °C, 150 και 250 bar, 10 και 120 λεπτά. Επιπλέον, μελετήθηκε η επιρροή ακόμη μίας παραμέτρου, αυτή της ταχύτητας

αποσυμπίεσης του δείγματος (ταχεία και αργή εκτόνωση), η οποία πραγματοποιείται χειροκίνητα.

Πιο αναλυτικά, για κάθε πείραμα ζυγίστηκε με την βοήθεια ζυγού ακριβείας ~4,5 g ξηρής αστικής λύος και εισήχθη σε κελί όγκου 5 mL. Στην συνέχεια, το κελί τοποθετούνταν στο υποδοχή της διάταξης και επιλέγονταν οι συνθήκες με βάση την τυποποιημένη σειρά των πειραμάτων έτσι όπως προέκυψε μέσω της RSM. Με το πέρας κάθε πειράματος, πραγματοποιούνταν εκτόνωση του δείγματος απευθείας σε 30mL νερού με την βοήθεια ακροφύσιου. Σκοπός της εκτόνωσης σε ορισμένη ποσότητα νερού, ήταν η συλλογή τυχόν συμπαρασυρόμενων οργανικών ουσιών από το $scCO_2$.

2.2. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕΘΑΝΙΟΥ (BMP TESTS)

Αφού ολοκληρώθηκαν όλα τα πειράματα υπερκρίσιμης έκρηξης με CO_2 , ποσότητα αρχικής και προεπεξεργασμένης λύος στους διάφορους συνδυασμούς συνθηκών, εισήχθησαν σε αντιδραστήρες εφάπαξ πλήρωσης (batch reactors) ολικού όγκου 323 mL και λειτουργικού όγκου 100 mL, προκειμένου να προσδιοριστεί το δυναμικό παραγωγής βιοαερίου. Συγκεκριμένα, κάθε μεταχείριση εξετάστηκε σε 3 βιολογικές επαναλήψεις. Για κάθε μεταχείριση που εξετάστηκε τοποθετήθηκε εντός του αντιδραστήρα εφάπαξ πλήρωσης ποσότητα οργανικής ουσίας που να αντιστοιχεί σε αρχική οργανική φόρτιση ίση με 2g VS/L αντιδραστήρα. Επιπλέον, προστέθηκε ορισμένη ποσότητα νερού ώστε ο τελικός λειτουργικός όγκος να είναι ίσος με 100 mL και 80 mL μολύσματος (inoculum). Εν συνεχεία, οι αντιδραστήρες τροφοδοτήθηκαν με αέριο άζωτο, ώστε να απομακρυνθεί όλο το περιεχόμενο οξυγόνο και να εξασφαλιστούν αναερόβιες συνθήκες. Έπειτα, οι αντιδραστήρες τοποθετήθηκαν σε κλίβανο επώασης που λειτουργούσε σε μεσόφιλο θερμοκρασιακό εύρος ($36 \pm 1^\circ C$). Για τον υπολογισμό του δυναμικού παραγωγής μεθανίου από το inoculum, τοποθετήθηκε αντίστοιχη μεταχείριση (blank) η οποία περιείχε μόνο inoculum χωρίς καμία επιπρόσθετη πηγή οργανικής ουσίας. Τέλος, προστέθηκε μία ακόμα μεταχείριση (control) στην οποία χρησιμοποιήθηκε ως υπόστρωμα τροφοδοσίας γλυκόζη, η οποία αποτελεί τυπική οργανική ουσία με γνωστό δυναμικό παραγωγής βιοαερίου. Η μέτρηση της παραγόμενης ποσότητας μεθανίου γινόταν τακτικά με χρήση αέριας χρωματογραφίας (GC-TCD). Μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν έως ότου διαπιστώθηκε πως πραγματοποιήθηκε πλήρης αποκοδόμηση της περιέχομενης οργανικής ουσίας.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Με τη βοήθεια της στατιστικής, πραγματοποιήθηκε η επεξεργασία των αποτελεσμάτων ως προς το δυναμικό παραγωγής για όλα τα προεπεξεργασμένα δείγματα και από τη μοντελοποίηση αυτών των τιμών προέκυψε μία μαθηματική σχέση μεταξύ των παραγόντων (θερμοκρασία, πίεση, χρόνος και ταχύτητα εκτόνωσης) και του παραγόμενου βιομεθανίου, που αποτελεί και το υπό μελέτη χαρακτηριστικό. Επιπλέον, μέσω της ανάλυσης διασποράς (ANOVA), ήταν εφικτός ο έλεγχος της στατιστικής σημαντικότητας των παραγόντων και του βαθμού των επιδράσεων και των αλληλεπιδράσεων τους στην διεργασία. Ο πλέον σημαντικός όρος με θετική επίδραση στην απόκριση, προέκυψε πως είναι ο παράγοντας της θερμοκρασίας. Συγκεκριμένα, διαπιστώθηκε πως οι υψηλότερες θερμοκρασίες είναι αυτές που προκαλούν μεγαλύτερη αύξηση στην παραγωγή βιομεθανίου. Ο αμέσως επόμενος στατιστικά σημαντικός παράγοντας ήταν αυτός του χρόνου επεξεργασίας. Αντιθέτως, η πίεση αποτελεί τον παράγοντα με την μικρότερη και μη στατιστικώς σημαντική επίδραση στο υπό μελέτη χαρακτηριστικό, ενώ φάνηκε να έχει θετική επίδραση για χαμηλές τιμές που κυμαίνονται στα 150 bar.

Εκτός από τα παραπάνω, αξιολογήθηκε και η επίδραση της ταχύτητας εκτόνωσης στην παραγωγή βιομεθανίου, και παρατηρήθηκε πως η αργή αποσυμπίεση οδήγησε σε καλύτερα αποτελέσματα. Επιπλέον, διαπιστώθηκε πως τόσο κατά την ταχεία όσο και κατά την αργή αποσυμπίεση, η όψη του νερού μέσα στο οποίο πραγματοποιήθηκε η εκτόνωση για όλα τα δείγματα, ήταν διαυγής. Παρόλα αυτά, επειδή η αρχική υπόθεση ήταν ότι ενδεχομένως ένα ποσοστό του διαλυμένου χημικώς απαιτούμενου οξυγόνου (Soluble Chemical Oxygen Demand, SCOD) να βρίσκεται στο υδατικό διάλυμα όπου πραγματοποιήθηκε η εκτόνωση για όλα τα δείγματα, διεξήχθη η μέτρησή του. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι και στις δύο περιπτώσεις για όλους τους συνδυασμούς συνθηκών, το SCOD δεν ανήλθε πάνω από 500 mg/L. Το γεγονός αυτό υποδυναμίζει ότι η ποσότητα της συμπαρασυρόμενης οργανικής ουσίας από το scCO₂ δεν είναι τόση που να οδηγεί σε αξιοσημείωτα μειωμένη παραγωγή βιομεθανίου, κάτι το οποίο θα είχε συνεπώς και αντίκτυπο στην οικονομικότητα μίας μονάδας επεξεργασίας αστικής λύσης.

Την τρέχουσα περίοδο, με βάση τα προκαταρκτικά αποτελέσματα διενεργούνται πειράματα βελτιστοποίησης της διαδικασίας προεπεξεργασίας με scCO₂. Οι παράμετροι που επιλέχθηκαν να εξεταστούν περαιτέρω κατά την βελτιστοποίηση λόγω της στατιστικής σημαντικότητάς τους, είναι η θερμοκρασία και ο χρόνος. Τα εκτενή αποτελέσματα από τα εν εξελίξει πειράματα θα παρουσιαστούν την περίοδο του συνεδρίου.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Εξαιτίας της ενεργειακής κρίσης και των κλιματικών αλλαγών που απειλούν την παγκόσμια οικονομία και την αειφορία, έχουν αυξηθεί οι προσπάθειες για την ανάπτυξη προηγμένων στρατηγικών επεξεργασίας της βιομάζας. Οι στρατηγικές αυτές βασίζονται σε πράσινες τεχνολογίες, καθώς πιο ελκυστικές κυρίως από άποψη βιωσιμότητας, αφού βασίζονται σε περιβαλλοντικά ορθές και φιλικές τεχνικές και αποσκοπούν στην αντικατάσταση τοξικών διαλυτών με φιλικούς προς το περιβάλλον.

Σε αυτές τις τεχνικές εντάσσεται και η υπερκρίσιμη έκρηξη με διοξείδιο του άνθρακα, ένα διαλύτη με μεγάλο ενδιαφέρον χρησιμότητας στην επίτευξη αποτελεσματικής προεπεξεργασίας της βιομάζας. Η χρησιμότητά του ως εναλλακτικό μέσο για μία αποδοτική προεπεξεργασία της αστικής λύσης επαληθεύεται και από τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας. Ειδικότερα, παρατηρήθηκε πως η προεπεξεργασία της αστικής λύσης με scCO₂ οδηγεί σε αύξηση του βιοαποικοδομήσιμου ποσοστού της οργανικής ουσίας, το οποίο καθώς άμεσα διαθέσιμο στους μικροοργανισμούς, επιφέρει αύξηση της παραγωγής βιομεθανίου. Ωστόσο, επίκειται να ερευνηθεί η οικονομική βιωσιμότητα της υπερκρίσιμης έκρηξης με CO₂ προκειμένου να κριθεί εάν η τεχνολογία αυτή είναι κατάλληλη για εφαρμογή στο πλαίσιο ενός βιοδιυλιστηρίου, παρόλο που το CO₂ μπορεί να αναγνωρισθεί ως ένας μη τοξικός, «πράσινος» διαλύτης, με ελκυστικές διαλυτικές ικανότητες στην υπερκρίσιμη κατάστασή του.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Escobar, E. L. N., da Silva, T. A., Pirich, C. L., Corazza, M. L., & Pereira Ramos, L. (2020). *Supercritical Fluids: A Promising Technique for Biomass Pretreatment and Fractionation. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 8.
- Montgomery, D.C., 2017, Design and Analysis of Experiments. John Wiley & Sons, Incorporated.
- Otles, S., & Kartal, C. (2018). *Food Waste Valorization. Sustainable Food Systems from Agriculture to Industry*, pp. 371–399.

- Prado, J.M., Vardanega, R., Debien, I.C.N., Meireles, M.A.d.A., Gerschenson, L.N., Sowbhagya, H.B., Chemat, S., 2015, *Conventional extraction, Food Waste Recovery*, pp. 127-148.
- Zhao, M., Xu, Q., Li, G., Zhang, Q., Zhou, D., Yin, J., & Zhan, H. (2018). *Pretreatment of agricultural residues by supercritical CO₂ at 50–80 °C to enhance enzymatic hydrolysis. Journal of Energy Chemistry.*

ON-DEMAND AMMONIA TOLERANT METHANOGENIC BIOAUGMENTATION INOCULA

Fotidis I.A.^{1,2,3}, Yan Y.^{3,4}, Yan M.⁵, Fu D.³, Angelidaki I.⁶

¹ Faculty of Environment, Ionian University, 29100 Zakynthos, Greece

² Faculty of Engineering and Natural Sciences, Tampere University, Tampere, Finland

³ School of Civil Engineering Southeast University Nanjing, China 210096

⁴ Department of Environmental Engineering, Technical University of Denmark, DK-2800 Kgs. Lyngby, DK

⁵ Environmental Research Institute, National University of Singapore, Singapore 138602, Singapore

⁶ Department of Chemical and Biochemical Engineering, Technical University of Denmark, Kgs. Lyngby, Denmark

e-mail: ioannis.fotidis@tuni.fi/ifotidis@hotmail.com

Summary

Bioaugmentation with specialized inocula is a practical way to remediate inhibited anaerobic digestion processes. However, a major challenge for cost-effective bioaugmentation is the lack of ready-to-use cultures. This study demonstrates that an ammonia tolerant consortium stored in gel can successfully be used as bioaugmentation inoculum, to efficiently relieve ammonia inhibition in a continuous biogas reactor. Specifically, the results showed that methane production of the gel bioaugmented reactor was 43% better compared to the control reactor. Gel bioaugmentation stimulated a noteworthy recovery of *Methanoculleus thermophilus* sp. activity. This development could make bioaugmentation cost-effective for applications in full-scale biogas reactors.

Keywords: Ammonia tolerant, bioremediation, gel preservation, CSTR

1. INTRODUCTION

The efficiency of anaerobic digestion (AD) process is affected by many parameters with ammonia been the most common one when N-rich biomasses are used as feedstocks (Khoshnevisan et al., 2018). Bioaugmentation with ammonia tolerant inocula has been proven an efficient way to recover AD processes from under-performing (Tian et al., 2019). However, the slow growth of the anaerobic microorganisms, the high cost of maintaining them active and in the necessary amounts, are becoming major bottlenecks for successful full-scale bioaugmentation applications. A fast and cost-effective preservation method of ammonia tolerant inocula that would allow the on-demand remediation of inhibited AD reactors has recently be developed (Yan et al., 2020) but never used in continuous reactors applications. Therefore, the main aim of the current study was to use, for the first time, a gel-immobilized ammonia tolerant methanogenic consortium as bioaugmentation inoculum in a thermophilic continuously stirred tank reactor (CSTR), to alleviate ammonia toxicity effect and thus improve methane production efficiency.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 INOCULUM-FEEDSTOCK-BIOAUGMENTATION CULTURE

Thermophilic inoculum was obtained from Lemvig Biogas (Denmark) used to start-up the two CSTR reactors. A pretreated organic fraction of municipal food waste was used as feedstock. An ammonia tolerant methanogenic consortium, acclimatized by stepwise-exposure to ammonia (with 1 g $\text{NH}_4^+\text{-N L}^{-1}$ each step) up to 5.0 g $\text{NH}_4^+\text{-N L}^{-1}$ at pH 8.0, was used as bioaugmentation inoculum. Batch reactors were used for the cultivation process of the methanogenic consortium with basal anaerobic medium at 55°C (Angelidaki et al., 1990). Then the inoculum was centrifuged at 4500 rpm for 10 min under N_2 gas headspace to a final volatile suspended solid-VSS of 600 mg L^{-1} . To prepare the bioaugmentation gel, the inoculum was immobilized using 10 g L^{-1} agar solution (70%/30%, v/v), in sealed bottles with a N_2 gas headspace and stored in ambient conditions until used in the experiment.

2.2 BIOAUGMENTATION STRATEGY

Two CSTR reactors (R_C and R_{Gel}), with 2300 mL total and 1800 mL working volumes, were setup and operated with 15 days HRT at thermophilic conditions (55°C). Reactors were fed with 3.0 g VS $\text{L}^{-1} \text{d}^{-1}$ (organic loading rate-OLR). The experiment was separated into four different phases: P1 (days 0-15, uninhibited period); P2 (days 16-30, high ammonia levels); P3 (day 31, gel bioaugmentation); P4 (days 32-75, recovery). During P1, the reactors were operating at a steady state (Hansen et al., 1998) under 0.84 g $\text{NH}_4^+\text{-N L}^{-1}$. At the beginning of P2, ammonium chloride was spiked both into the reactors and the feedstock (TAN levels to 4.5 g $\text{NH}_4^+\text{-N L}^{-1}$). During P3, R_{Gel} was bioaugmented with 60 mL gel bioaugmentation inoculum.

2.3 ANALYSES

TAN, TKN, TS, VS and VSS were analyzed using the Standard Methods (APHA, 2012). The pH was measured using a PHM99 LAB pH meter. The biogas production was measured using water-displacement gas meters. The biogas composition and VFA were analyzed using a gas-chromatograph (Yan et al., 2019).

3. RESULTS-DISCUSSION

3.1 PROCESS PERFORMANCE

At the end of P1, both reactors achieved a steady state with a fluctuation of methane yields lower than 5% for more than 10 days (Fig. 1a). The average methane yields were 402 and 433 mL CH₄ g⁻¹ VS for R_C and R_{Gel}, respectively. After the ammonia shock (P2), the methane yield decreased rapidly and until an inhibited steady state was established with 51% and 45% methane production loss for R_C and R_{Gel}, respectively. R_{Gel} experienced a statistically significant ($p < 0.05$) methane production increase within two days after bioaugmentation (P4). The final methane yield of R_{Gel} was 298 mL CH₄ g⁻¹ VS; a 53% improvement compared to P2. Additionally, R_{Gel} recovered 69% of the uninhibited methane production (P1). On contrary, the methane production of R_C was 201 mL CH₄ g⁻¹ VS at the end of P4, an increase of only 2.4% compared to the P2. This can be explained by the really slow adaptation to the ammonia toxicity of microorganisms mediating the AD process (Fotidis et al., 2014; Tian, Fotidis, Mancini, et al., 2018). During the last HRT of P4 (days 61-75), R_{Gel} was producing in average 43% more methane than R_C. The improvement of gel bioaugmentation, under thermophilic conditions, was similar to a previous batch study (Yan et al., 2020).

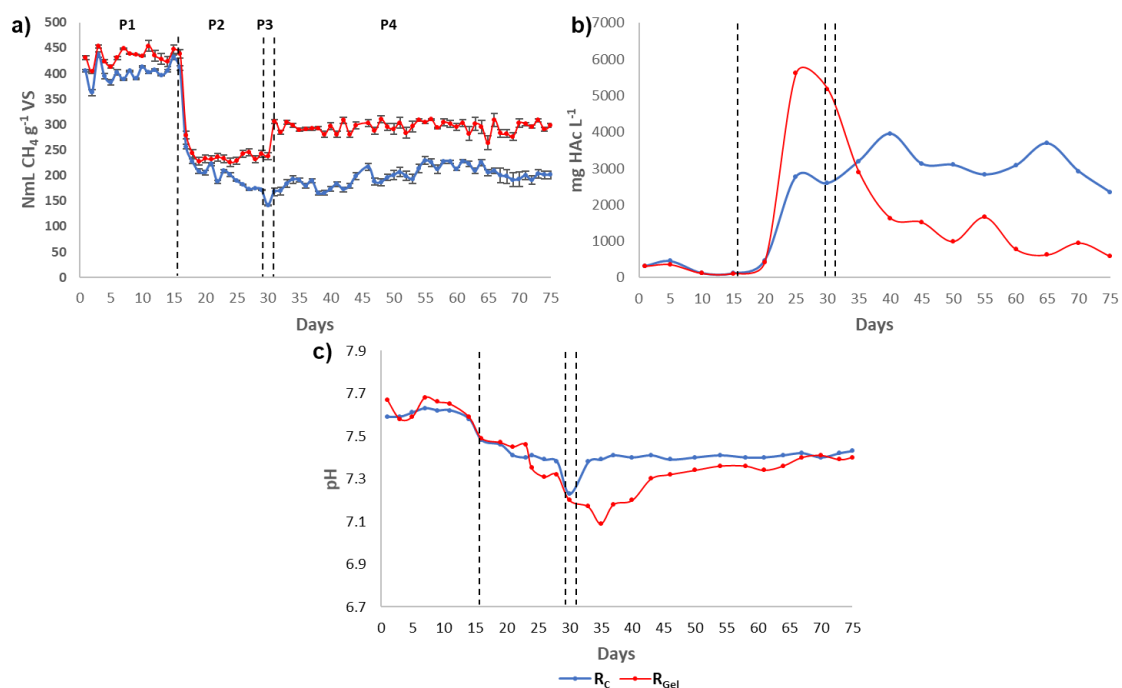


Figure 1. a) Methane production, b) VFA and c) pH of the CSTR reactors.

VFA accumulation in both reactors followed the methane production fluctuations (Fig. 1b) and during P1 remained inside the accepted levels of below 1500 mg HAc L⁻¹ (Angelidaki et al., 2005) for CSTR reactors (Fig. 2b). However, when ammonia was introduced, the VFA levels of the reactors increased immediately above 2000 mg HAc L⁻¹. R_{Gel} experienced a rapid VFA decrease immediately after bioaugmentation. On contrary, the VFA in R_C increased continuously during the first 10 days of P4 and then stabilized, in a typical ammonia-induced inhibited steady state (Tian et al., 2019), at around 3000 mg HAc L⁻¹ until the end of the experiment. The pH levels of the reactors remained within the acceptable pH range (6.5-8.5) (Nissilä et al., 2012) for AD process. Specifically, the pH fluctuated between 7.56 and 7.74

before the addition of ammonia for both reactors (P1, Fig. 1c). After ammonia shock, pH in both reactors reduced between 7.1 and 7.4 due to the VFA accumulation (P2-P4) (Angelidaki and Ahring, 1993), however it was still inside the acceptable range.

3.2 MICROBIAL COMPOSITION

At the P1, the most dominant methanogenic OTU was *M. thermophilus* sp.1 up to 75% (among total methanogens) inside both reactors (Fig. 2), indicating hydrogenotrophic methanogenesis was the dominant methanogenic pathway. *Methanosarcina* sp.2 and *Methanosarcina thermophila* sp.4 were the second and third most abundant OTUs, with up to 35% of the total relative abundance. The relative abundance of *M. thermautotrophicus* sp.3, *Methanobacterium* sp.5 and *Methanomassiliicoccus* sp.6 were up to 3%. The relative abundance of the dominant species *M. thermophilus* sp.1 decreased significantly ($p < 0.05$) in the reactors after the ammonia shock. Previous studies reported that *M. thermophilus* sp.1 was a crucial methanogen species in a thermophilic AD process (Tian, Fotidis, Kissas, et al., 2018). Therefore, the decline of *M. thermophilus* sp.1 could be the reason for the rapid methane yield drop, after the ammonia shock. After the bioaugmentation, the relative abundance of *M. thermophilus* sp.1 decreased below 44% in R_C and R_{Gel} . Equally, the relative abundance of *M. thermautotrophicus* sp.3 was 21% and 15% in R_C and R_{Gel} , respectively, at P4a. Moreover, *Methanobacterium* sp.5, decreased below 0.4% in both reactors, indicated its limited long-term tolerance to ammonia toxicity. During P2 to P4b, the relative abundance of *Methanosarcina* spp. dropped from 29% to 19% in R_C and 37% to 23% in R_{Gel} indicating that many *Methanosarcina* species, especially under thermophilic conditions, are very sensitive to ammonia toxicity (Akindele & Sartaj, 2018; Li et al., 2017; Sossa et al., 2004).

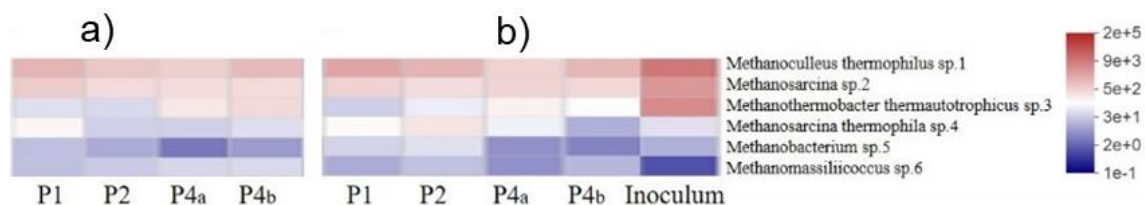


Figure 2. Relative abundance of archaea during different experimental phases in a) R_C and b) R_{Gel} .

4. CONCLUSIONS

This study proposed and demonstrated an innovative bioaugmentation strategy, using gel immobilised bioaugmentation inocula, to improve the methane yield in ammonia-stressed thermophilic continuous anaerobic reactors. Thus, it has shown that ammonia tolerant methanogenic inocula can be stored in gel for long time and used as bioaugmentation inocula, to efficiently alleviate ammonia toxicity in continuous biogas reactors.

5. REFERENCES

- Akindele, A. A., & Sartaj, M. (2018). *The toxicity effects of ammonia on anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste*. *Waste Management*, 71, 757–766.
- Angelidaki, I., Boe, K., & Ellegaard, L. (2005). *Effect of operating conditions and reactor configuration on efficiency of full-scale biogas plants*. *Water Science and Technology*, 52(1–2), 189–194.
- Angelidaki, I., Petersen, S. P., & Ahring, B. K. (1990). *Effects of lipids on*

- thermophilic anaerobic digestion and reduction of lipid inhibition upon addition of bentonite*. Applied Microbiology and Biotechnology, 33(4), 469–472.
- APHA. (2012). *Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater*. In 22nd ed. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, Washington DC, USA.
- Fotidis, I. A., Wang, H., Fiedel, N. R., Luo, G., Karakashev, D. B., & Angelidaki, I. (2014). *Bioaugmentation as a solution to increase methane production from an ammonia-rich substrate*. Environmental Science and Technology, 48(13), 7669–7676.
- Hansen, K. H., Angelidaki, I., & Ahring, B. K. (1998). *Anaerobic digestion of swine manure: Inhibition by ammonia*. Water Research, 32(1), 5–12.
- Khoshnevisan, B., Tsapekos, P., Alvarado-Morales, M., & Angelidaki, I. (2018). *Process performance and modelling of anaerobic digestion using source-sorted organic household waste*. Bioresource Technology, 247, 486–495.
- Li, N., Xue, Y., Chen, S., Takahashi, J., Dai, L., & Dai, X. (2017). *Methanogenic population dynamics regulated by bacterial community responses to protein-rich organic wastes in a high solid anaerobic digester*. Chemical Engineering Journal, 317, 444–453.
- Nissilä, M. E., Li, Y. C., Wu, S. Y., Lin, C. Y., & Puhakka, J. A. (2012). *Hydrogenic and methanogenic fermentation of birch and conifer pulps*. Applied Energy, 100, 58–65.
- Sossa, K., Alarcón, M., Aspé, E., & Urrutia, H. (2004). *Effect of ammonia on the methanogenic activity of methylaminotrophic methane producing Archaea enriched biofilm*. Anaerobe, 10(1), 13–18.
- Tian, H., Fotidis, I. A., Kissas, K., & Angelidaki, I. (2018). *Effect of different ammonia sources on acetoclastic and hydrogenotrophic methanogens*. Bioresource Technology, 250, 390–397.
- Tian, H., Fotidis, I. A., Mancini, E., Treu, L., Mahdy, A., Ballesteros, M., González-Fernández, C., & Angelidaki, I. (2018). *Acclimation to extremely high ammonia levels in continuous biomethanation process and the associated microbial community dynamics*. Bioresource Technology, 247, 616–623.
- Tian, H., Mancini, E., Treu, L., Angelidaki, I., & Fotidis, I. A. (2019). *Bioaugmentation strategy for overcoming ammonia inhibition during biomethanation of a protein-rich substrate*. Chemosphere, 231, 415–422.
- Yan, M., Fotidis, I. A., Jégliot, A., Treu, L., Tian, H., Palomo, A., Zhu, X., & Angelidaki, I. (2020). *Long-term preserved and rapidly revived methanogenic cultures: Microbial dynamics and preservation mechanisms*. Journal of Cleaner Production, 263.
- Yan, M., Fotidis, I. A., Tian, H., Khoshnevisan, B., Treu, L., Tsapekos, P., & Angelidaki, I. (2019). *Acclimatization contributes to stable anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste under extreme ammonia levels: Focusing on microbial community dynamics*. Bioresource Technology, 286.

ΑΣΤΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΚΑΙ ΕΝ ΔΥΝΑΜΕΙ ΤΟΞΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ ΤΗΣ COVID – 19, ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ: ΒΟΛΟΣ, ΕΛΛΑΔΑ.

Παναγιώτης Σ. Ασλανίδης¹, Ευαγγελία Ε. Γκόλια²,

¹Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Πεδίον του Άρεως, Βόλος, 38334, Μαγνησία, Ελλάδα

e-mail: panagiotis.aslanidis@yahoo.gr

²Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Εδαφολογίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Ν. Ιωνία Βόλος, 38446, Μαγνησία, Ελλάδα

Περίληψη

Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται τα βαρέα μέταλλα (HMs¹) ή τα εν δυνάμει τοξικά στοιχεία (PTEs²) ως παράγοντες που δύνανται να βλάψουν την υγεία των πολιτών μίας πόλης. Επίσης, τα αιωρούμενα μικροσωματίδια PM2.5 και PM10 επηρεάζουν την υγεία του ανθρώπου με αποτέλεσμα να μειώνονται οι ημέρες ζωής του λόγω αναπηρίας (DALYs³). Σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν, τόσο η σκόνη από την Σαχάρα όσο και το (μικρο-)κλίμα της περιοχής, διότι συνεπικουρούν στην όξυνση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Ως εκ τούτου, είναι η αναγκαία η χρήση βέλτιστων πρακτικών διαχείρισης και ελαχιστοποίησης της παραγωγής αποβλήτων.

Λέξεις Κλειδιά: HMs, PTEs, PM 2.5, PM 10

¹ Heavy Metals

² Potentially Toxic Elements

³ DALYs: Disability-Adjusted Life Years

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αστική ρύπανση έχει εμφανιστεί ως απότοκος του σύγχρονου τρόπου ζωής, ιδιαίτερα στις πόλεις έπειτα από φαινόμενα έντονης αστικοποίησης, βιομηχανοποίησης και αποβιομηχανοποίησης, καθώς και λόγω των συγκοινωνιών. Παράλληλα, στις παράκτιες περιοχές υπάρχει κι έντονη τουριστική κι εμπορική δραστηριότητα – σιδηρόδρομοι, εργοστάσια και ναυτιλία – με συνέπεια να υπάρχει και η αντίστοιχη αύξηση της ρύπανσης στο αστικό περιβάλλον. Ειδικότερα, τα αστικά εδάφη αρκετές φορές χαρακτηρίζονται από ήπια έως και υψηλή ρύπανση, τούτα συνήθως αποτελούν χρήσεις γης που κάποτε ήταν βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες (brownfields) (Frenette-Dussault et al., 2019; Labrecque et al., 2020; Massenet et al., 2021).

1.1. ΑΣΤΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΚΑΙ ΕΝ ΔΥΝΑΜΕΙ ΤΟΞΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η πόλη του Βόλου έχει έναν από τους πιο ιστορικούς σιδηροδρομικούς σταθμούς, επομένως θα ήταν αδύνατο να μην γίνει αναφορά στην σχέση τους με την αστική ρύπανση. Είναι γνωστό ότι υπάρχει εμφάνιση μικροσωματιδίων (PM10) σε υπόγειο σιδηροδρομικό σταθμό και σε μετρό στην πόλη της Πράγας στην Τσεχία (Branis, 2006). Αντίθετα, αποδείχθηκε ότι στην Γερμανία ‘οι δημόσιες μεταφορές έχουν λιγότερες αρνητικές επιπτώσεις σε σχέση με τις μετακινήσεις με Ι.Χ.’, καθώς κι ότι ‘μειώνεται κατά 1% έως και 2% η ατμοσφαιρική ρύπανση από CO και NO_x, όταν αυξάνονται κατά 10% οι υπηρεσίες στους σιδηροδρόμους’ (Lavile et al., 2018).

Επιπροσθέτως, στην Μασσαλία (Γαλλία) σημαντικοί παράγοντες ρύπανσης είναι η καύση βιομάζας και η οδική κυκλοφορία που αφορούν το 56% της αστικής ρύπανσης αθροιστικά (Salameh et al., 2018). Επιπλέον, συνυπολογίστηκε η ταυτόχρονη αύξηση του αρσενικού που συνδέθηκε με το μικροκλίμα της πόλης. Παράλληλα, στον κόλπο του Παλέρμο (Ιταλία), εμφανίστηκαν διάφορες συγκεντρώσεις εν δυνάμει τοξικών στοιχείων, όπως As, Cu, Pb, Hg και πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες PAHs⁴, λόγω ‘των απορριμμάτων από την ναυτιλία, αστικά υγρά απόβλητα και νιτρικές αποθέσεις από την γεωργία’ (Di Leonardo et al., 2009). Έχει λοιπόν ενδιαφέρον να φανεί η άμεση σύνδεση της αστικής ρύπανσης με την μετέπειτα ρύπανση του υδροφόρου ορίζοντα. Ενώ, στην Cartagena-La Unión (Ισπανία) λόγω των εξορύξεων υπήρχε έντονη εμφάνιση PTEs, με εξέχον αυτό του αρσενικού, το οποίο είναι καρκινογόνο και υπεύθυνο για τερατογενέσεις (Martínez-López et al., 2020).

1.2. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ

Κατά την διάρκεια έξαρσης των φαινομένων αστικής αέριας ρύπανσης υπάρχει μεγάλη συσχέτιση με την αύξηση στις εισαγωγές σε νοσοκομεία, μάλιστα τέτοια φαινόμενα συμβαίνουν κυρίως τους χειμερινούς μήνες (Kalantzi et al., 2011; Morris, 2001). Επιπλέον, η αύξηση των επιπέδων PM 10 οδηγεί σε επιπτώσεις προβλημάτων, όπως: ‘δυσρυθμία, συμφορητική καρδιακή ανεπάρκεια, ισχαιμική καρδιακή πάθηση και εγκεφαλικά επεισόδια’ (Morris, 2001). Έπειτα, σε ανάλυση κύκλου ζωής (LCA⁵) που πραγματοποιήθηκε στην Αθήνα από το 2001 έως το 2008 τονίστηκε η σχέση μεταξύ της έκθεσης – βραχυπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα – των πολιτών σε αυξημένα επίπεδα PM10 και σε Όζον και στα ‘αναπροσαρμοσμένα λόγω αναπηρίας έτη ζωής’ (DALYs) (Kassomenos et al., 2013). Τα αποτελέσματα εμφάνισαν πως ‘χάνονται περίπου 9.000 DALYs κατά μέσο όρο ετησίως στην Αθήνα που σημαίνει ότι για ένα άτομο με περίοδο ζωής τα 75 έτη, πρόκειται

⁴ PAHs: Polycyclic Aromatic Hydrocarbons.

⁵ LCA: Life Cycle Assessment

να υποστεί μία απώλεια στα έτη που θα είναι ίση με 0.135 DALYs'. Ακολούθως, σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε στον Βόλο, αποδείχθηκε πως οι εισαγωγές στα νοσοκομεία δεν έγιναν την ίδια ημέρα που εκτέθηκαν οι πολίτες σε αυξημένη ρύπανση, αλλά μέχρι και τρεις ημέρες πριν την εισαγωγή τους η επίδραση της έκθεσης στην ρύπανση ήταν στατιστικά σημαντική (Kalantzi et al., 2011).

Παράλληλα πρέπει να αναφερθεί πως η οδηγία 2008/50/EC επιβάλλει τα επίπεδα των μικροσωματιδίων να μην ξεπερνούν τις 35 ημέρες το έτος μέχρι το έτος 2020, με αποτέλεσμα τους χειμερινούς μήνες στον Βόλο να έχουμε παραβίαση των λεγομένων της ευρωπαϊκής οδηγίας. Σχετικά με την επιρροή των μικροσωματιδίων PM10, 'όταν συμβαίνει υπέρβαση στον μέσο όρο της ευρωπαϊκής οδηγίας, τότε αναμένεται αύξηση στις εισαγωγές σε νοσοκομεία αναφορικά με αναπνευστικά προβλήματα (HARD)⁶ κατά 25% γενικά ή για επιπλέον 2.5% για την πόλη του Βόλου, δοθέντος ότι βάσει του Π.Ο.Υ μία αύξηση της τάξη των 10mg/m³ συνδέεται με αύξηση κατά 6% της θνησιμότητας' (Moustris et al., 2015).

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

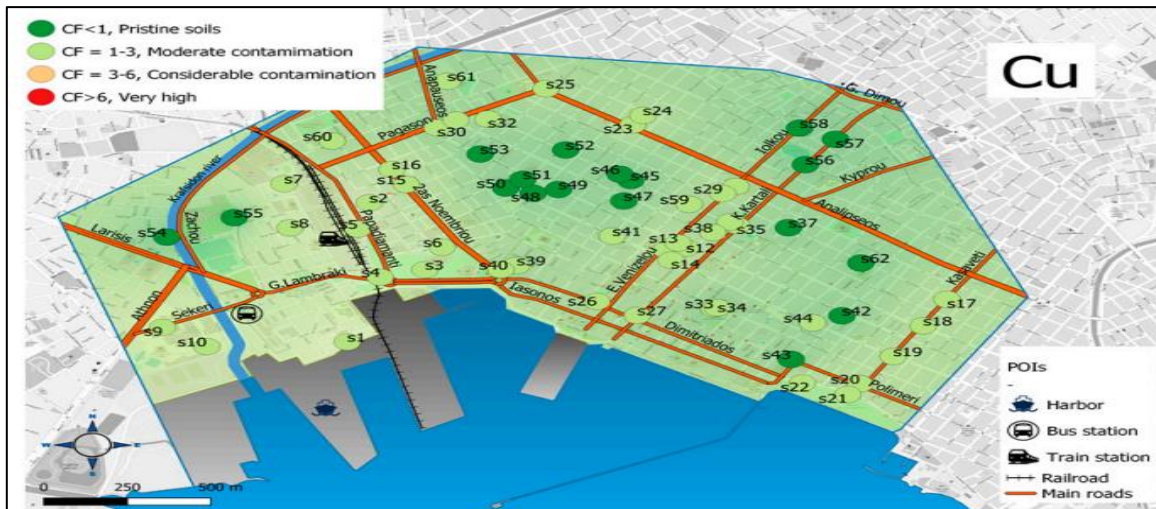
Το pH του εδάφους είναι από τους σημαντικότερους παράγοντες τόσο για την κινητικότητα (mobility) ή διαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων προς τα φυτά, όσο και για την απορρόφηση και εκρόφηση των βαρέων μετάλλων, με τα όξινα εδάφη να ενισχύουν την δράση των βαρέων μετάλλων, ενώ τα αλκαλικά εδάφη να μειώνουν την κινητικότητα των βαρέων μετάλλων (Antoniadis and Golia, 2015). Έτερο σημαντικό παράγοντα αποτελούν τα οξειδία των μετάλλων (mineral oxides) όπως του σιδήρου, με τούτα 'τα οξειδία των μετάλλων να αυξάνονται όσο γίνεται πιο έντονη η διάβρωση του εδάφους (soil weathering)'. Συμπερασματικά, 'το pH δεν είναι ο απόλυτος δείκτης, αλλά σε γεωργικά εδάφη – όπως τα μεσογειακά – η συμπεριφορά των μετάλλων δεν μπορεί να εξηγηθεί πλήρως για τον βαθμό της διάβρωσης που προκαλούν'. Η μεθοδολογία σε οτιδήποτε αφορά τον ποσοτικό προσδιορισμό των μετάλλων, τον υπολογισμό των δεικτών, την κατασκευή των χαρτών έγινε όπως αναφέρεται στην εργασία των: Golia et al., 2021.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Σχετικά με τα εν δυνάμει τοξικά στο κέντρο του Βόλου συναντώνται στο τρίγωνο: λιμάνι – σιδηροδρομικός σταθμός – σταθμός λεωφορείων. Βάσει των δεικτών εκτίμησης του κινδύνου ρύπανσης όπως ο δείκτης/ παράγοντας ρύπανσης (CF⁷) αποδείχθηκε ότι υπήρξε μικρής έως ήπιας μορφής ρύπανση στην παραπάνω περιοχή.

⁶ HARD: Hospital admissions for respiratory disease.

⁷ CF: Contamination Factor



Εικόνα 4. Η ρύπανση στο κέντρο του Βόλου από τον Χαλκό (Cu) (Golia et al, 2021).



Εικόνα 2. Η ρύπανση στο κέντρο του Βόλου από Μόλυβδο (Pb) (Golia et al., 2021).



Εικόνα 3. Η ρύπανση στο κέντρο του Βόλου από Νικέλιο (Ni) (Golia et al., 2021).

Αναμφίβολα, η πόλη του Βόλου αποτελεί μία ενδιαφέρουσα περίπτωση λόγω της εμπορικής της σημασίας, έχοντας ένα από τα μεγαλύτερα λιμάνια της χώρας και της Μεσογείου. Ωστόσο, τούτη η εμπορική δραστηριότητα ακολουθείται από πλήθος πηγών ρύπανσης. Λόγου χάριν, 'το 20% των μικροσωματιδίων PM10 στην όμορη περιοχή του λιμανιού προέρχεται από την φορτοεκφόρτωση που λαμβάνει χώρα μέσα στον κεντρικό λιμένα'(Manoli et al., 2017). Αποδείχθηκε στην παραπάνω έρευνα πως ο Fe και ο Zn κυριαρχούσαν στην γύρω περιοχή του λιμανιού, καθώς και λοιπά εν δυνάμει τοξικά στοιχεία. Παράλληλα, η συνεισφορά του ZN, του Pb και του Cd προέρχονται και από την αστική δραστηριότητα, όπως από τα λάστιχα των τροχοφόρων οχημάτων, ενώ τα επίπεδα από πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες κυρίως από την πόλη.

Εν συνεχεία, στο εργοστάσιο της Χαλυβουργίας εντοπίστηκαν κάδμιο, ψευδάργυρος και μόλυβδος, ενώ στην βιομηχανία τσιμέντου κυριαρχούσαν στοιχεία όπως AS, αντιμόνιο (An) και θάλλιο (Tl) (Kelepertzis et al., 2020). Στην συγκεκριμένη έρευνα συμπεριλήφθηκε και 'το στοιχείο της "σκόνης των σπιτιών" η οποία εισέρχεται στις οικίες είτε μέσω του αέρα, είτε από τα υποδήματα των κατοίκων', τούτο είναι εξαιρετικά ενδιαφέρον για την προστασία που πρέπει να λάβουν οι πολίτες ώστε να προφυλαχθούν από τα PTEs. Παρομοίως, έτερες πηγές ρύπανσης φαίνονται να βρίσκονται στο 'τρίγωνο': λιμάνι, σταθμός υπεραστικών λεωφορείων και σιδηροδρομικός σταθμός, στην ιδιάζουσα 'περιοχή αυτή εμφανίζονται στοιχεία "υποβάθμισης του εδάφους" λόγω της υψηλής συγκέντρωσης PTEs τα οποία μπορούν να εισέλθουν στον ανθρώπινο οργανισμό μέσω της τροφής ή του ύδατος' (Golia et al., 2021).

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Εν κατακλείδι, η αστική ρύπανση ταλανίζει την τοπική κοινότητα, αλλά επίσης επαγρυπνά την ακαδημαϊκή κοινότητα για περαιτέρω ενασχόληση, έως ότου λυθεί αυτό το πολύπλευρο και πολύπλοκο φαινόμενο. Παράλληλα, τα βαρέα μέταλλα όπως ο μόλυβδος, το αρσενικό και το κάδμιο συνδέονται με δηλητηριάσεις ανθρώπων, ενώ ο ψευδάργυρος και το χρώμιο μπορεί να σταθούν χρήσιμα μέταλλα για τον άνθρωπο αν εμφανίζονται σε μικρές ποσότητες, ωστόσο είναι τοξικά αν υπερβούν ορισμένες τιμές (Akpor and Muchie, 2010). Ενώ, ο αστικός φορέας για τον Βόλο – σύμφωνα με αναφορά της ευρωπαϊκής επιτροπής – αποτελεί την πηγή εκπομπών για το 37% των θερμοκηπικών αερίων, με τις οδικές μεταφορές να είναι η κυριότερη πηγή αυτών, ενώ η επιτροπή τονίζει την ανάγκη μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου από τα απορρίμματα, μέσω 'πρακτικών διαχείρισης στερεών αποβλήτων'. Ακράδαντα θα έλεγε κανείς πως υπάρχει αισθητή – αέρια και εδαφική – ρύπανση στην πόλη του Βόλου, η οποία χρήζει άμεσης αντιμετώπισης στο εγγύς μέλλον, τόσο από την πλευρά των δημοτικών και περιφερειακών αρχών, όσο και από τον επαγγελματικό – εμπορικό χώρο.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Akpor, O. B. and Muchie, M., 2010, Remediation of heavy metals in drinking water and wastewater treatment systems: Processes and applications. *International Journal of the Physical Sciences* Vol. 5(12), pp. 1807-1817.
- Antoniadis, V. and Golia, E.E., 2015. Sorption of Cu and Zn in low organic matter-soils as influenced by soil properties and by the degree of soil weathering. *Chemosphere*, Vol. 138, pp. 364-369.

- Branis, M., 2006. The contribution of ambient sources to particulate pollution in spaces and trains of the Prague underground transport system. *Atmospheric Environment*, Vol. 40, pp. 348–356.
- Di Leonardo, R., Vizzini, S., Bellanca, A. and Mazzola, A., 2009. Sedimentary record of anthropogenic contaminants (trace metals and PAHs) and organic matter in a Mediterranean coastal area (Gulf of Palermo, Italy). *Journal of Marine Systems* 78, pp. 136-145.
- Frenette-Dussault, C., Benoista, P., Kadria, H., Pitrea, F. E. and Labrecque, M., 2019. Rapid production of willow biomass using a novel microcutting-based field planting technology. *Ecological Engineering*, pp. 37-42.
- Golia, E. E., Papadimou, S. G., Calavaris, C. and Tsiropoulos, N. G., 2021. Level of Contamination Assessment of Potentially Toxic Elements in the Urban Soils of Volos City (Central Greece). *Sustainability*.
- Kalantzi, E. G., Markis, D., Duquenne, M. N., Kaklamani, S., Stapountzis, H., Gourgoulialis, K. I., 2011. Air pollutants and morbidity of cardiopulmonary diseases in a semi-urban Greek peninsula. *Atmospheric Environment*, Vol 45, Issue 39, pp. 7121-7126.
- Kassomenos, P. A., Dimitriou, K. and Paschalidou, A. K., 2013. Human health damage caused by particulate matter PM10 and ozone in urban environments: the case of Athens, Greece. *Environ Monit Assess*, 185, pp. 6933–6942.
- Kelepertzis, E., Argyraki, A., Chrastný, V., Botsou, F., Skordas, K., Komárek, M. and Fouskas, A., 2020. Metal(loid) and isotopic tracing of Pb in soils, road and house dusts from the industrial area of Volos (central Greece). *Science of the Total Environment*.
- Labrecque, M., Hu, Y., Vincent, G. and Shang, K., 2020. The use of willow microcuttings for phytoremediation in a copper, zinc and lead contaminated field trial in Shanghai, China', *International Journal of Phytoremediation*, 22, 13, pp. 1331-1337.
- Lalive, R., Luechinger, S. and Schmutzler, A., 2018. Does expanding regional train service reduce air pollution?', *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 92, pp. 744 -764.
- Manoli, E., Chelioti-Chatzidimitriou, A., Karageorgou, K., Kouras, A., Voutsas, D., Samara, C., Kampanos, I., 2017. Polycyclic aromatic hydrocarbons and trace elements bounded to airborne PM10 in the harbor of Volos, Greece: Implications for the impact of harbor activities', *Atmospheric Environment*, pp. 61-72.
- Martínez-López, S., Martínez-Sánchez, M. J., Martínez-Sánchez, M. and Pérez-Sirvent, C., 2020. Arsenic zoning in a coastal area of the Mediterranean Sea as a base for management and recovery of areas contaminated by old mining activities', *Applied Clay Science*, Vol. 199.
- Morris, R.D., 2001. Airborne Particulates and Hospital Admissions for Cardiovascular Disease: A Quantitative Review of the Evidence. *Environmental Health Perspectives*, Vol. 109, pp. 495-500
- Moustris, K. P., Proias, G. T., Larissi, I. K., Nastos, P. T., Koukouletsos, K. V. and Paliatsos, A. G., 2015. Health impacts due to particulate air pollution in Volos City, Greece. *Journal of Environmental Science and Health, Part A, Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*.
- Salameh, D., Pey, J., Bozzetti, C., El Haddad, I., Detournay, A., Sylvestre, A., Caconaco, F., Armengaud, A., Piga, D., Robin, D., Prevot, A.S.H., Jaffrezo, J.-L., Wortham, H. and Marchand, N., 2018. Sources of PM2.5 at an urban-industrial Mediterranean city,

Marseille (France): Application of the ME-2 solver to inorganic and organic markers.
Atmospheric Research, Vol. 214, pp. 263-274.

ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΟΣ ΑΝΤΙΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΕ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΛΗΨΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΔΙΑΒΡΩΤΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ (SPI) & ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΕΔΑΦΩΝ (TWI). ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ.

Άνθιμος Σπυρίδης¹, Αλέξανδρος Κωνσταντινίδης², Βασιλική Κουτάλου¹, Δημήτριος Δερβενιωτάκης¹

¹ΥΕΤΟΣ Α.Ε. Σύμβουλοι-Μελετητές Ανάπτυξης & Υποδομών, Πλ.Ιπποδρομίου 7, 54621, Θεσσαλονίκη, e-mail: yetos@otenet.gr

²Τμήμα Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής, ΔΙΠΑΕ, Πανεπιστημιούπολη Σερρών, Τέρμα Μαγνησίας, 62124, Σέρρες, e-mail: akonsta@ihu.gr

Περίληψη

Οι πλημμύρες, ως ένας εκ των σημαντικότερων τύπων φυσικών καταστροφών, εμφανίζουν ομολογουμένως εκτεταμένες συνέπειες, τόσο στο ανθρωπογενές όσο και στο ευρύτερο περιβάλλον. Η εμφανιζόμενη τα τελευταία χρόνια, τάση αύξησης της ραγδικότητας των βροχοπτώσεων και της συχνότητας εμφάνισης ξαφνικών πλημμυρών (flash floods), μεγεθύνει το πρόβλημα και αναδεικνύει την ανάγκη προστασίας από τις πλημμύρες και περιορισμού των επιπτώσεων αυτών. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η χρήση δύο περιβαλλοντικών δεικτών, στην εφαρμογή Συστήματος Υποστήριξης Λήψης Αποφάσεων (Decision Support Systems, DSS) για τον στρατηγικό αντιπλημμυρικό σχεδιασμό, στο πλαίσιο του Στρατηγικού Σχεδίου Αντιπλημμυρικών Έργων Περιοχών Ν. Θεσσαλονίκης, που ολοκληρώθηκε πρόσφατα. Οι αποφάσεις αυτές σχετίζονται με την ιεράρχηση προτεινόμενων μέτρων (μελέτες, έργα, δράσεις), σταθμίζοντας διάφορα κριτήρια, μεταξύ των οποίων, τον Δείκτη Διαβρωτικής Ισχύος (Stream Power Index, SPI) και τον δείκτη Υγρασίας (Topographic Wetness Index, TWI) και αξιοποιώντας με τον τρόπο αυτό, τα πλεονεκτήματα των περιβαλλοντικών δεικτών.

Λέξεις-κλειδιά: δείκτης διαβρωτικής ισχύος SPI, τοπογραφικός (μορφολογικός) δείκτης υγρασίας TWI, στρατηγικός αντιπλημμυρικός σχεδιασμός

STRATEGIC FLOOD PLANNING WITH DEVELOPMENT OF A DECISION SUPPORT SYSTEM AND UTILIZATION OF STREAM POWER INDEX (SPI) & TOPOGRAPHIC WETNESS INDEX (TWI). APPLICATION IN THE WIDER AREA OF THESSALONIKI.

Anthimos Spyridis¹, Alexandros Konstantinidis², Vassiliki Koutalou¹, Dimitrios Derveniotakis¹

¹HYETOS S.A. Consultants-Researchers of Development and Infrastructure, 7 Ippodromiou Sq., 54621, Thessaloniki, e-mail: yetos@otenet.gr

²Surveying and Geoinformatics Engineering Dept., IHU, Serres Campus, Terma Magnisias, 62124, Serres, e-mail: akonsta@ihu.gr

Abstract

Floods, as one of the most important types of natural disasters, admittedly have far-reaching consequences, both in man-made and in the wider environment. In recent years, the rapidity of rainfall and the frequency of flash floods, seem to be increasing, which magnifies the problem and highlights the need for flood protection and reduction of these effects. This paper presents the use of two environmental indicators, in the implementation of Decision Support Systems (DSS) for strategic flood planning, in the framework of the Strategic Plan for Flood Works of the areas of Thessaloniki Prefecture, which was recently prepared. These decisions are related to the prioritization of proposed measures (studies, projects, actions), weighing various criteria, including the Stream Power Index (SPI) and the Topographic Wetness Index (TWI) and thus utilizing the advantages of environmental indicators.

Key-words: stream power index SPI, topographic wetness index TWI, strategic flood planning

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι πλημμύρες αποτελούν παγκοσμίως έναν από τους σημαντικότερους τύπους φυσικών καταστροφών, με συνέπειες όπως: την απώλεια ανθρώπινων ζωών, την καταστροφή υποδομών, γεωργικών και κτηνοτροφικών εγκαταστάσεων, καλλιεργειών, καθώς και τη διάβρωση των εδαφών και τη ρύπανση των υδάτινων μαζών.

Η κατάρτιση συντονισμένων Σχεδίων Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας των λεκανών απορροής ποταμών των Υδατικών Διαμερισμάτων της Ελλάδας (γεωγραφική μονάδα εφαρμογής σύμφωνα με την Κ.Υ.Α. Η.Π. 31822/1542/Ε103/2010 (ΦΕΚ 1108 Β'/21.07.2010)), απαιτήθηκε κατ' εφαρμογή του άρθρου 7 της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2007 «για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας» (ΕΕL 288/27/06-11-2007). Υλοποιήθηκε δε το 2018 με την έγκριση των αντίστοιχων Σχεδίων Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας. Σε αυτά, εμπεριέχεται, ως μέτρο προστασίας έναντι του πλημμυρικού κινδύνου, η σύνταξη Στρατηγικών Σχεδίων (Master Plan) Έργων Αντιπλημμυρικής Προστασίας για το κάθε Υδατικό Διαμέρισμα.

Ο στρατηγικός σχεδιασμός για την αντιπλημμυρική θωράκιση αστικών και έξω-αστικών περιοχών, αποτελεί μία σύνθετη διαδικασία, όσον αφορά το πλαίσιο σχεδιασμού δράσεων, εκπόνησης μελετών και κατασκευής έργων, υπό το πρίσμα πλέον της εμφανιζόμενης τάσης αύξησης της ραγδιαιότητας των βροχοπτώσεων και της συχνότητας εμφάνισης όλο και περισσότερων ξαφνικών πλημμυρών (flash floods) λόγω της κλιματικής αλλαγής.

Η στρατηγική προσαρμογής της ΕΕ στην κλιματική αλλαγή (ΕΕ, 2016), παρέχει ένα πλαίσιο δράσης, για την ενθάρρυνση και διευκόλυνση της εφαρμογής μέτρων προσαρμογής για το κλίμα, σε όλους τους οικονομικούς τομείς και σε όλες τις γεωγραφικές περιοχές, καθώς και για την ενδυνάμωση και συμπλήρωση μέτρων, που υλοποιούνται ήδη σε εθνικό επίπεδο για το σκοπό αυτό. Μια από τις δράσεις που προωθείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση είναι η χρήση συστημάτων υποστήριξης λήψης αποφάσεων, ώστε να αντιμετωπιστούν με τον καλύτερο τρόπο, κενά στη γνώση σχετικά με τη προσαρμογή και την περαιτέρω βελτίωση του ευρωπαϊκού κλίματος (ΕΕΑ, 2017).

Στο πλαίσιο του ορθού στρατηγικού σχεδιασμού αντιπλημμυρικής προστασίας, απαιτείται η ιεράρχηση των επιβεβλημένων επεμβάσεων, με κατάλληλα (τεχνικά, οικονομικά, κοινωνικά και περιβαλλοντικά) κριτήρια. Στην κατεύθυνση αυτή, αξιοποιούνται Συστήματα Υποστήριξης Λήψης Αποφάσεων (Decision Support Systems, DSS), τα οποία αποτελούν μία κατηγορία πληροφοριακών συστημάτων και δύναται να περιλαμβάνουν και συστήματα γνώσεων (knowledge-based systems) για την υποστήριξη της διαδικασίας λήψης των απαιτούμενων αποφάσεων.

Σε ένα Σύστημα Υποστήριξης Λήψης Αποφάσεων, η ιεράρχηση των απαιτούμενων επεμβάσεων (εν προκειμένω για την αντιπλημμυρική προστασία περιοχών) γίνεται βάσει της πλήρωσης ή μη, συγκεκριμένων κριτηρίων που ορίζει ο χρήστης του συστήματος, της στάθμισης των κριτηρίων βάσει αντίστοιχων βαρών και της τελικής βαθμολόγησης έκαστης επέμβασης από το σύνολο των σταθμισμένων κριτηρίων (αθροιστική βαθμολόγηση). Η επιλογή των κριτηρίων βαθμολόγησης και το βάρος αυτών, δύναται να διαφέρει κατά περίπτωση, βάσει των ιδιαίτερων συνθηκών έκαστης περιοχής, των κοινωνικο-οικονομικών χαρακτηριστικών της, των συνθηκών περιβάλλοντος και των προτεραιοτήτων που θέτουν οι αρμόδιοι Φορείς.

Ο αντιπλημμυρικός σχεδιασμός οφείλει να αποσκοπεί στη μείωση της τρωτότητας των ευάλωτων περιοχών σε πλημμύρα, με παράλληλη εξάλειψη ή μείωση του πλημμυρικού κινδύνου στις περιοχές αυτές. Για την ασφαλή εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου, ήτοι

(κατά το άρθρο 2 της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ) του συνδυασμού της πιθανότητας εμφάνισης πλημμύρας σε μία περιοχή και των δυνητικών αρνητικών συνεπειών αυτής, απαιτείται εξαρχής η κατανόηση της δομής και των χαρακτηριστικών των επιμέρους συνιστωσών του.

Οι Arabameri et al. (2020), στην εργασία τους για τη χωρική μοντελοποίηση της υδρολογικής λεκάνης του ποταμού Gorganroud στο Ιράν, χρησιμοποίησαν για την εκτίμηση της ευαισθησίας στις πλημμύρες της λεκάνης, μεταξύ άλλων δεικτών – ανεξάρτητων μεταβλητών (συνολικά 14 δείκτες) και τους δείκτες TWI και SPI, ενθαρρύνοντας τη χρήση δεικτών που προέρχονται από ελεύθερα ως προς τη χρήση τους γεωγραφικά δεδομένα ή από δεδομένα δορυφορικών απεικονίσεων, αφού πλεονεκτούν σε θέματα κόστους, ευκολίας και ταχύτητας στη λήψη, αλλά και στην επαναληψιμότητα.

Στην παρούσα εργασία, παρατίθεται η περίπτωση του Στρατηγικού Αντιπλημμυρικού Σχεδίου (Master Plan) περιοχών Ν. Θεσσαλονίκης, όπου αναπτύχθηκε ένα σύστημα υποστήριξης λήψης αποφάσεων για την ιεράρχηση των προτεινόμενων επεμβάσεων. Στο σύστημα αυτό, λαμβάνεται υπόψη, μεταξύ άλλων, το ανάγλυφο μιας περιοχής ως παράγοντας που εν δυνάμει επηρεάζει τόσο το φαινόμενο της διάβρωσης όσο και της συγκέντρωσης υγρασίας. Για το σκοπό αυτό, αξιοποιήθηκαν αντίστοιχοι δείκτες που εμφανίζονται στη σύγχρονη βιβλιογραφία και ειδικότερα οι δείκτες SPI (Stream Power Index – Δείκτης Ισχύος Ροής) και TWI (Topographic Wetness Index – Τοπογραφικός Δείκτης Υγρασίας).

2. ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

2.1 Στρατηγικό αντιπλημμυρικό σχέδιο ευρύτερης περιοχής Θεσσαλονίκης

Το Στρατηγικό Σχέδιο (Master Plan) Αντιπλημμυρικών Έργων Περιοχών Ν. Θεσσαλονίκης, συντάχθηκε πρόσφατα (ΥΕΤΟΣ Α.Ε., 2021), με κύριο στόχο τον εντοπισμό των περιοχών με διαπιστωμένα πλημμυρικά φαινόμενα ή αυτών όπου είναι πιθανή η εμφάνιση πλημμυρών, καθώς και την ιεράρχηση των προτεινόμενων προς υλοποίηση δράσεων, μελετών και έργων, για την αντιπλημμυρική προστασία της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης. Το εν λόγω Στρατηγικό Σχέδιο επικαιροποίησε και επέκτεινε (ως προς την περιοχή ενδιαφέροντος) το αντίστοιχο προϋπάρχον (Γενικό Ρυθμιστικό Σχέδιο Αντιπλημμυρικής Προστασίας και Αποχέτευσης Ομβρίων Υδάτων περιοχών του Ν. Θεσσαλονίκης) που είχε συνταχθεί το 2003. Αρμόδιος Φορέας για την κατάρτιση του ήταν η Δ/ση Αντιπλημμυρικών και Εγγειοβελτιωτικών Έργων (ΔΑΕΕ-Δ19) του Υπουργείου Υποδομών και Μεταφορών.

Το γενικό αντικείμενο του Master Plan, διαμορφώθηκε σε δύο άξονες και κάθε άξονας αποτελείται από διακριτά στάδια. Αναλυτικότερα, οι άξονες του Master Plan είναι:

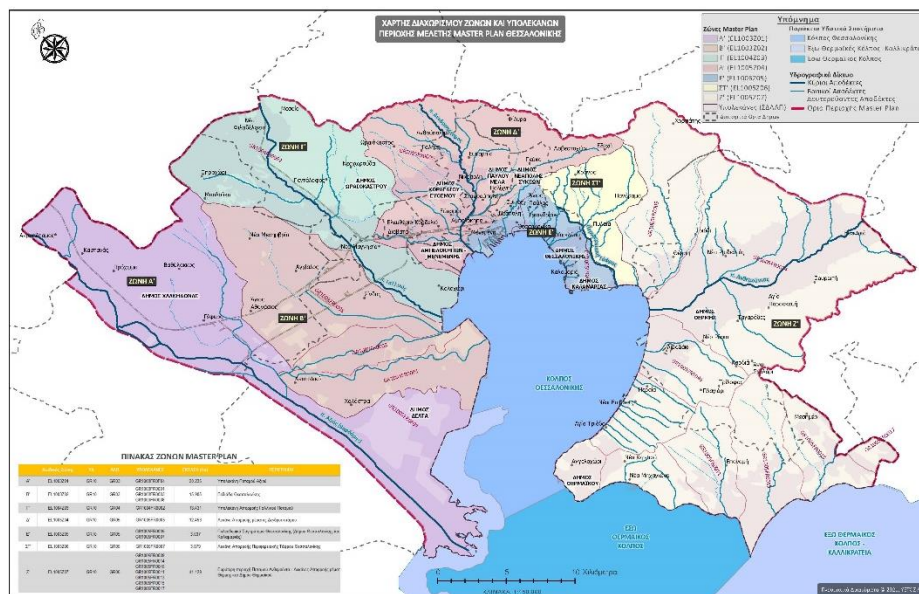
- **ΦΑΣΗ Α** : Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας (σύμφωνα με την Προκαταρκτική Αξιολόγηση Κινδύνων Πλημμύρας, κατ' εφαρμογή της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ)
- **ΦΑΣΗ Β** : Το υπόλοιπο της περιοχής ενδιαφέροντος.
Κάθε Φάση αποτελείτο από τα εξής διακριτά στάδια:
 - Καταγραφή και Οργάνωση της υπάρχουσας πληροφορίας - **ΣΤΑΔΙΟ I**
 - Αξιολόγηση της υπάρχουσας κατάστασης - **ΣΤΑΔΙΟ II**
 - Πρόταση διαχείρισης και αντιμετώπισης πλημμυρικού κινδύνου - **ΣΤΑΔΙΟ III**
 - Σύνταξη μητρώων και δημιουργία ηλεκτρονικής βάσης δεδομένων - **ΣΤΑΔΙΟ IV**

Το νέο Master Plan, θα λαμβάνεται υποχρεωτικά υπόψη από όλους τους Φορείς, που μελετούν και κατασκευάζουν έργα αντιπλημμυρικής προστασίας, ώστε τα έργα τους να είναι σύμφωνα με το γενικό αντιπλημμυρικό σχεδιασμό κάθε περιοχής.

Στο στάδιο III - Πρόταση διαχείρισης και αντιμετώπισης πλημμυρικού κινδύνου, περιλαμβάνονται οι τελικές προτάσεις του Master Plan για την υλοποίηση των απαραίτητων δράσεων, μελετών και έργων, όπως αυτές προέκυψαν κατόπιν της εκπόνησης των δύο προηγούμενων σταδίων (Στάδια I και II). Οι προτεινόμενες επεμβάσεις, ιεραρχήθηκαν με χρήση κατάλληλων κριτηρίων με τη βοήθεια ενός συστήματος υποστήριξης λήψης αποφάσεων, το οποίο δημιουργήθηκε με σκοπό την αντιμετώπιση και ορθή διαχείριση των θεμάτων που σχετίζονται με την αντιπλημμυρική προστασία (αντιπλημμυρικά θέματα), που εντοπίζονται στην περιοχή μελέτης.

2.2 Περιοχή μελέτης

Η περιοχή ενδιαφέροντος αφορά εκτάσεις συνολικής επιφάνειας της τάξης των 1.100 Km², περιλαμβάνοντας αφενός το Πολεοδομικό Συγκρότημα Θεσσαλονίκης, αφετέρου εξωαστικές περιοχές, όπως γεωργικές, δασικές, παράκτιες, τουριστικές, βιομηχανικές και εμπορικές, καθώς και κόμβους - έργα εθνικής σημασίας (αεροδρόμιο, λιμένες και αυτοκινητόδρομοι). Οι σημαντικότεροι υδάτινοι αποδέκτες της περιοχής μελέτης είναι οι ποταμοί Αξιός, Γαλλικός και Ανθεμόντας, καθώς και (στα δυτικά και ανατολικά αντίστοιχα του Πολεοδομικού Συγκροτήματος) ο Δενδροπόταμος και η Περιφερειακή Τάφρος.



Σχήμα 1: Η περιοχή ενδιαφέροντος

2.3. Ανάπτυξη συστήματος υποστήριξης λήψης αποφάσεων

Η ιεράρχηση των προτεινόμενων επεμβάσεων (αποφάσεις προς λήψη από τους αρμόδιους Φορείς) βάσει σταθμισμένων κριτηρίων, έχει εφαρμοστεί σε Στρατηγικά Σχέδια Αντιπλημμυρικής Προστασίας που συντάχθηκαν και για άλλες περιοχές της χώρας μας. Ειδικότερα, τα αντιπλημμυρικά Master Plan στα οποία ακολουθήθηκε παρόμοια διαδικασία, αφορούσαν ως περιοχές εργασίας, τα διοικητικά όρια των Περιφερειακών Ενοτήτων Κοζάνης (ΥΕΤΟΣ Α.Ε., 2019), Φλώρινας (ΗΛΙΔΑ Α.Ε., 2020) και Καστοριάς (ΥΕΤΟΣ Α.Ε., 2020) (Αντιπλημμυρικά Master Plan Ρεμάτων).

Στην περίπτωση του νέου Master Plan για την ευρύτερη περιοχή Θεσσαλονίκης, αναπτύχθηκε ένα δυναμικό σύστημα υποστήριξης λήψης αποφάσεων, το οποίο ονομάστηκε MPTThess-DSS και αποτέλεσε χρήσιμο εργαλείο μελέτης, καθώς μέσω αυτού

αξιολογήθηκαν και τελικά ιεραρχήθηκαν οι απαιτούμενες επεμβάσεις. Η διαδικασία λήψης αποφάσεων που ακολουθήθηκε, περιλαμβάνει τα ακόλουθα τέσσερα στάδια:

1. Την αναγνώριση του προβλήματος, απειλής ή ευκαιρίας (αντιπλημμυρικά θέματα),
2. Τον προσδιορισμό των προτεινόμενων απαιτούμενων επεμβάσεων,
3. Τον καθορισμό κατάλληλων κριτηρίων για την αξιολόγηση των προτεινόμενων επεμβάσεων,
4. Την αξιολόγηση και ιεράρχηση των τελικών προτάσεων αντιμετώπισης και διαχείρισης του πλημμυρικού κινδύνου.

Για την ανωτέρω αξιολόγηση χρησιμοποιήθηκαν συνολικά δώδεκα (12) κριτήρια. Σε αυτά, περιλαμβάνονται η πηγή εντοπισμού του προβλήματος προς επίλυση (όπως από Σχέδια Διαχείρισης, αρμόδιους Φορείς κ.α.), το ιστορικό των επιπτώσεων πλημμυρών (τοπικής ή υπερτοπικής σημασίας, καταγραφή συμβάντος θανάτου), ο χαρακτηρισμός των περιοχών ως προς μορφολογικά στοιχεία και οι οποίες χρήζουν ενιαίας στρατηγικής (π.χ. όρια ορεινής/πεδινής κοίτης) και το είδος της πληττόμενης περιοχής (αστικές, γεωργικές, βιομηχανικές περιοχές κλπ). Λαμβάνονται επίσης υπόψη, το επίπεδο διαχείρισης του ζητήματος (εθνικό, περιφερειακό κλπ), οι κλίσεις του εδάφους στην περιοχή, οι αλλαγές στις χρήσεις γης (αναδάσωση, αποδάσωση, αστικοποίηση, εγκατάλειψη αρδευόμενης γης), καθώς και η αποτίμηση επιπτώσεων πλημμύρας από ποτάμιες ροές βάσει του Σχεδίου Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας για το Υδατικό Διαμέρισμα Κεντρικής Μακεδονίας (ΣΔΚΠ, 2018). Επιπλέον, κρίθηκε απαραίτητο, να συμπεριληφθούν ως κριτήρια, τόσο η μελετητική, όσο και η κατασκευαστική ωριμότητα των προτεινόμενων προς υλοποίηση έργων.

Πλέον των ανωτέρω κριτηρίων, ήταν απαραίτητο να ληφθούν υπόψη και οι ιδιαίτερες συνθήκες κάθε περιοχής, οι οποίες επηρεάζουν τον πλημμυρικό κίνδυνο στην περιοχή αυτή. Δύο εκ των χαρακτηριστικών αυτών, τα οποία συνδέονται άμεσα με το ανάγλυφο μίας περιοχής, είναι:

- η επιδεκτικότητα του εδάφους (τρωτότητα) στο φαινόμενο της διάβρωσης, καθώς και
- η κατανομή της υγρασίας στο έδαφος, δεδομένου ότι τα ύδατα απορρέουν επί των πρανών και επικλινών εδαφών και συγκεντρώνονται στις βάσεις αυτών και σε κοίλες περιοχές.

Στον τομέα της Υδρολογίας και κατόπιν της ανάπτυξης της Γεωπληροφορικής ως πλέον χρήσιμο εργαλείο μελέτης - έρευνας στον τομέα αυτόν, ως δείκτης που εκφράζει την επιδεκτικότητα σε διάβρωση του εδάφους χρησιμοποιείται ο **Δείκτης Διαβρωτικής Ισχύος** ή **Ισχύος Ροής (Stream Power Index, SPI)**, ενώ για την παραμετροποίηση της εν δυνάμει υγρασίας του εδάφους αναλόγως της μορφολογίας αυτού, χρησιμοποιείται ο **Τοπογραφικός (μορφολογικός) Δείκτης Υγρασίας (Topographic Wetness Index, TWI)**.

Στο εν λόγω Master Plan, τα δώδεκα βασικά κριτήρια ιεράρχησης (F_i) σταθμίστηκαν ισοβαρώς, ενώ για το κάθε ένα από αυτά προσδιορίστηκαν οι κατάλληλες υποκατηγορίες, στις οποίες και αποδόθηκαν βάρη-υποσυντελεστές (f_j), τα οποία είναι άμεσα εξαρτημένα από το βαθμό σημαντικότητας της εκάστοτε υποκατηγορίας (πχ. για το κριτήριο Επίπεδο Διαχείρισης, το βάρος της υποκατηγορίας Διεθνές Επίπεδο είναι $f_j = 1$ (100%), της υποκατηγορίας Εθνικό Επίπεδο $f_j = 0,7$ (70%), για το Περιφερειακό Επίπεδο $f_j = 0,5$ (50%) και για Τοπικό Επίπεδο $f_j = 0,30$ (30%).

$$Grade = \sum_{i=1}^{12} \sum_{j=1}^n F_i f_j \quad (1)$$

όπου: Grade: η τελική βαθμολόγηση

F_i = ο κύριος συντελεστής έκαστου εκ των δώδεκα κριτηρίων ($i=1, 2, \dots, 12$)

$f_j = 0$ υποσυντελεστής ανάλογα με την πλήρωση του κριτηρίου. Για έκαστο κριτήριο, το πλήθος των υποσυντελεστών είναι διαφορετικό ($j=1, 2, \dots, n$). Τα κριτήρια περιέχουν τους υποσυντελεστές είτε με διαζευκτικό τρόπο (πχ για το κριτήριο Επίπεδο Διαχείρισης, επιλέγεται ένα από τα ενδεχόμενα επίπεδα διαχείρισης) είτε σωρευτικά, αθροίζονται δηλαδή περισσότεροι από έναν υποσυντελεστές (πχ. για το κριτήριο Εντοπισμός, μπορεί να χρησιμοποιήθηκαν πολλαπλές πηγές για τον εντοπισμό του θέματος, όπως τα Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας, εμπλεκόμενοι Φορείς στην περιοχή, κ.α.)

2.4 Αξιοποίηση δεικτών SPI και TWI ως κριτήρια ιεράρχησης

Οι Δείκτες αποτελούν γενικά, απλές ή σύνθετες μεταβλητές οι οποίες παρέχουν πληροφορίες για ένα φαινόμενο ή περιγράφουν μια κατάσταση και χρησιμοποιούνται για να απλοποιήσουν, να ποσοτικοποιήσουν και να εκφράσουν πληροφορίες που αφορούν σύνθετα και πολύπλοκα φαινόμενα, συμβάλλοντας έτσι στη λήψη αποφάσεων και στην κατανόηση ενός φαινομένου (EEA-European Environment Agency, 1999, 2005).

Ο **Δείκτης Διαβρωτικής Ισχύος (Stream Power Index, SPI)**, αποτελεί ένα μέτρο της διαβρωτικής ισχύος του ρέοντος ύδατος. Εκφράζει το δυναμικό διάβρωσης του ανάγλυφου. Λαμβάνει υπόψη τοπικά μορφολογικά χαρακτηριστικά του ανάγλυφου και τη συσσώρευση της επιφανειακής απορροής (flow accumulation), συνδυάζοντας τη γωνία κλίσης (β : slope angle) με την επιφάνεια εισερχόμενης ροής που αντιστοιχεί σε κάθε κελί ανάλυσης (CA: contributing area). Υπολογίζεται για μία θέση στο ανάγλυφο μιας περιοχής, με βάση την κλίση και την συμβάλλουσα περιοχή (ανάντη περιοχή), σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση:

$$SPI = a \tan \beta \quad (2)$$

όπου: a : η ανάντη συμβάλλουσα περιοχή που αποστραγγίζεται στο συγκεκριμένο σημείο (υπολογίζεται από τα αρχεία διεύθυνσης και συσσώρευσης ροής που προέκυψαν από το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DTM)), ανά μονάδα μήκους ισουΐσους (m^2/m)

β : η τιμή της κλίσης του ανάγλυφου σε μοίρες, στο εν λόγω σημείο (slope), που προέκυψε από το DTM.

Ο δείκτης διαβρωτικής ισχύος, ως μέτρο της διαβρωτικής δύναμης του ρέοντος ύδατος, αποτελεί το μέσο για την πρόβλεψη της εναπόθεσης υλικού, σε ζώνες μειωμένης ταχύτητας ροής, καθώς και της διάβρωσης ενός δικτύου, σε περιοχές όπου παρατηρείται επιτάχυνση της ροής ή σε ζώνες σύγκλισης (Paratheodorou et al., 2018). Ο δείκτης αυτός επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό περιοχών, όπου πρέπει να ληφθούν μέτρα διατήρησης του εδάφους, όπως είναι η φυτοκάλυψη κατά μήκος περιοχών απορροής ομβρίων. Ο δείκτης αυτός χρησιμοποιήθηκε στο έργο, για τον εντοπισμό περιοχών, όπου πρέπει να ληφθούν μέτρα διατήρησης του εδάφους.

Για την κατανομή του δείκτη διαβρωτικής ισχύος στην περιοχή μελέτης ορίστηκαν τρεις κατηγορίες τιμών (χαμηλή, μέση και υψηλή), ενώ η διαβάθμιση που δόθηκε σε κάθε κατηγορία αφορά τη σημαντικότητά της. Συνεπώς, μεγαλύτερες τιμές SPI αντιστοιχούν σε μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης διάβρωσης.

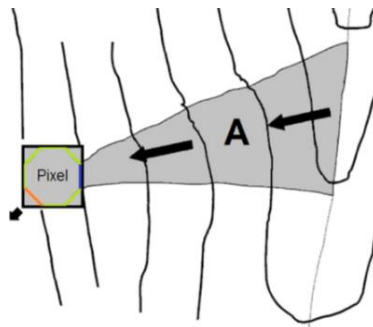
Ο **Τοπογραφικός (μορφολογικός) Δείκτης Υγρασίας (Topographic Wetness Index, TWI)** σχετίζεται με τη μορφολογία του εδάφους, η οποία αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες ελέγχου της χωρικής διακύμανσης των υδρολογικών συνθηκών (Burt and Butcher, 1985; Seibert et al., 1997; Rodhe and Seibert, 1999 R. Sorensen, U. Zinko, and J. Seibert, 2006), ενώ ως δείκτης προτάθηκε στο πλαίσιο του υδρολογικού μοντέλου TOPMODEL από το 1995 (Beven et al., 2020).

Ο δείκτης αυτός συναντάται στη βιβλιογραφία και ως δείκτης υγρασίας (Wetness Index, WI) ή τοπογραφικός δείκτης (Topographic Index, TI). Αποτελεί μία απλή μαθηματική παραμετροποίηση της εν δυνάμει υγρασίας του εδάφους, ενώ ο υπολογισμός του βασίζεται σε επικλινή εδάφη και συνεπώς εξαρτάται από το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DTM). Αναπτύχθηκε από τους Beven & Kirkby το 1979 και ορίζεται από τη σχέση:

$$TWI = \ln\left(\frac{a}{\tan\beta}\right) \quad (3)$$

όπου a και β ορίζονται με τον ίδιο τρόπο, όπως και στην εξίσωση 2.

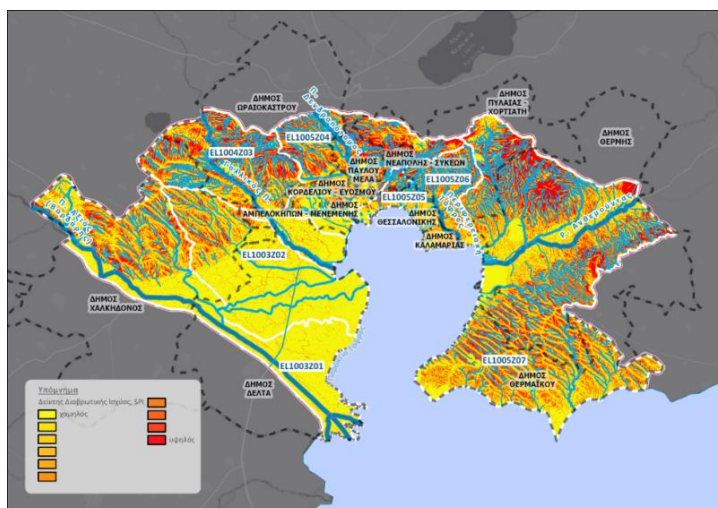
Ο τοπογραφικός δείκτης υγρασίας χρησιμοποιείται για να περιγράψει την επίδραση του ανάγλυφου στην κατανομή της υγρασίας του εδάφους σε μία περιοχή. Βασίζεται στην ιδέα της κίνησης του νερού στα πρηνή και της συγκέντρωσης του νερού στη βάση αυτών. Όσο μεγαλύτερη η έκταση της τοπικής υδρολογικής λεκάνης και όσο μικρότερη η γωνία κλίσης, τόσο υψηλότερη η τιμή του δείκτη και συνεπώς μπορεί να αναμένεται υγρό έδαφος (Beven and Kirkby, 1979; Quinn et al., 1991). Τα αντερείσματα χαρακτηρίζονται από χαμηλές τιμές, ενώ τα χαμηλότερα σημεία των πρηνών, ιδιαίτερα οι κοίλες περιοχές και οι βάσεις των κοιλάδων, έχουν υψηλές τιμές (Rodhe and Seibert, 1999).



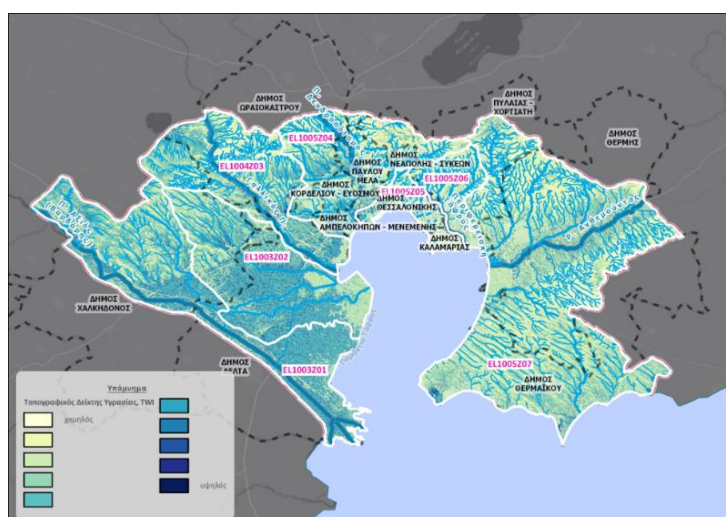
Σχήμα 2: Τοπογραφικός Δείκτης Υγρασίας (TWI) (Marthews et al.2015)

Για την κατανομή του τοπογραφικού δείκτη υγρασίας στην περιοχή μελέτης ορίστηκαν τρεις κατηγορίες τιμών (χαμηλή, μέση και υψηλή), ενώ η διαβάθμιση που δόθηκε σε κάθε κατηγορία αφορά την επικινδυνότητά της. Συνεπώς, αυξημένη τιμή του τοπογραφικού δείκτη δείχνει περιοχή περισσότερο επικίνδυνη, ενώ μειωμένη τιμή δείχνει μειωμένη επικινδυνότητα της περιοχής για την εκδήλωση πλημμύρας.

Παρατίθενται ακολούθως, οι χάρτες απεικόνισης της διαβάθμισης τιμών των ανωτέρω δεικτών στην περιοχή μελέτης.



Χάρτης 1: Χάρτης διαβρωτικής ισχύος (Stream Power Index, SPI) περιοχής ενδιαφέροντος



Χάρτης 2: Χάρτης τοπογραφικού δείκτη υγρασίας (Topographic Wetness Index, TWI) περιοχής ενδιαφέροντος

Οι τρεις ανωτέρω κατηγορίες τιμών (χαμηλός, μέσος, υψηλός) και για τους δύο δείκτες σταθμίστηκαν με τα αντίστοιχα βάρη ως υποκριτήρια, στα οποία ανάλογα με την πλήρωση ή μη (επιλογές ΝΑΙ ή ΟΧΙ), αποδίδεται το αντίστοιχο βάρος (υποσυντελεστής) (βλ. Πίνακα 1).

Πίνακας 1: Βάρη υποκριτηρίων για Δείκτη Διαβρωτικής Ισχύος (SPI) και Τοπογραφικό Δείκτη Υγρασίας (TWI)

ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝΤΕΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ		
ΚΡΙΤΗΡΙΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΥΠΟΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ f_i
ΔΕΙΚΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΤΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ (SPI)		
Θ.1.	Χαμηλός	0.00%
Θ.2.	Μέσος	50.00%
Θ.3.	Υψηλός	100.00%
ΔΕΙΚΤΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ (TWI)		
Ι.1.	Χαμηλός	0.00%
Ι.2.	Μέσος	50.00%
Ι.3.	Υψηλός	100.00%

Οι ανωτέρω υποσυντελεστές συμμετέχουν στη διαμόρφωση της τελικής βαθμολόγησης έκαστης επέμβασης, σύμφωνα με την εξίσωση 1.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Από τη διαδικασία αξιολόγησης βάσει των ορισθέντων κριτηρίων στο Σύστημα Υποστήριξης Λήψης Αποφάσεων (DSS), προέκυψε η σχετική βαθμολόγηση – ιεράρχηση για το σύνολο των προτεινόμενων επεμβάσεων του Master Plan (παρατίθεται ενδεικτικά απόσπασμα πίνακα με τη βαθμολογία ορισμένων προτάσεων).

Πίνακας 2: Απόσπασμα της αξιολόγησης από το DSS για την περιοχή ενδιαφέροντος

ΕΠΙΚΑΙΡΟΠΟΙΗΣΗ MASTER PLAN ΑΝΤΙΠΛΗΜΜΥΡΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ Ν. ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ		DECISION SUPPORT SYSTEM (DSS)	
ID	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΑΠ	ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ
48	ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΣΤΟΧΕΥΜΕΝΩΝ ΠΑΡΕΜΒΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΕΡΓΑ ΑΠΟΧΕΤΕΥΣΗΣ ΟΜΒΡΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ	<input checked="" type="checkbox"/>	62.92%
49	ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΙ ΡΕΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ	<input checked="" type="checkbox"/>	59.59%
78	ΔΡΑΣΕΙΣ ΕΝΗΜΕΡΩΣΗΣ-ΕΥΑΙΣΘΗΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΟΙΝΟΥ ΚΑΙ ΦΟΡΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΣΤΕΓΑΝΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΑ ΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΗΣ	<input checked="" type="checkbox"/>	57.59%
79	ΘΕΣΜΟΘΕΤΗΣΗ ΜΕΤΡΩΝ ΚΑΙ ΚΑΝΟΝΙΣΜΩΝ ΟΣΟΝ ΑΦΟΡΑ ΤΗ ΔΟΜΗΣΗ, ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΗΣ ΑΣΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ, ΟΣΟΝ ΑΦΟΡΑ ΤΙΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΛΥΨΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ	<input checked="" type="checkbox"/>	55.25%
1	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΝΤΙΠΛΗΜΜΥΡΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΛΑΧΑΝΑΓΟΡΑΣ	<input checked="" type="checkbox"/>	54.01%

Η αξιολόγηση αυτή αποτελεί σημαντική βοήθεια για την τελική ιεράρχηση των αντιπλημμυρικών θεμάτων, που βασίζεται επίσης και σε άλλους παράγοντες που σχετίζονται με την πολιτική και τις προτεραιότητες που θέτει η πολιτεία, εκφραζόμενη μέσα από τους αρμόδιους φορείς του Δημόσιου Τομέα.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Έχουν δημοσιευθεί διεθνώς και χρησιμοποιούνται πλέον πολλοί περιβαλλοντικοί δείκτες, εδώ και δεκαετίες. Οι παράμετροι που καθορίζουν ποιος δείκτης είναι καταλληλότερος για κάθε περίπτωση, εξαρτώνται από τη φύση του κάθε δείκτη, την καταλληλότητά του για το συγκεκριμένο περιβαλλοντικό ζήτημα, τις συνθήκες και τα χαρακτηριστικά της περιοχής που θα εφαρμοστούν, τη διαθεσιμότητα, την αξιοπιστία και την ακρίβεια των δεδομένων (γεωγραφικών και θεματικών).

Τα τελευταία χρόνια, παρέχεται στο ευρύτερο φάσμα των επιστημόνων, η δυνατότητα να εφαρμόσουν, να επεξεργαστούν και να πειραματιστούν με αυτούς, με εύκολο τρόπο, μέσα από το περιβάλλον ενός λογισμικού GIS. Αυτό όμως σε καμία περίπτωση, δεν απαλλάσσει όσους τους χρησιμοποιούν, από την απαραίτητη γνώση για τους αλγόριθμους και τις διαφορετικές εκδοχές, που υποστηρίζουν αυτούς τους δείκτες, όταν υπολογίζονται από κάποιο λογισμικό.

Για τον υπολογισμό των δεικτών SPI και TWI, σημαντικό ρόλο επιτελεί ο υπολογισμός της συσσωρευμένης ροής (flow accumulation), για το οποίο, υπάρχουν πέντε δημοφιλείς διαφορετικοί αλγόριθμοι (D8 (deterministic eight node algorithm), FD8 (Multiple flow

direction), DEMON (Digital Elevation Model Network), Rho8 και D^∞ Deterministic Infinity) και το κάθε λογισμικό έχει ενσωματώσει έναν ή περισσότερους από αυτούς. Στο συγκεκριμένο έργο επιλέχθηκε και χρησιμοποιήθηκε ως καταλληλότερος, ο αλγόριθμος FD8, ο οποίος διαχειριζόμενος σε ψηφιδωτή μορφή τα δεδομένα της συσσωρευόμενης ροής υδάτων, μπορεί να αποδώσει τη κίνηση του νερού σε παραπάνω από μία γειτονική του κάθε εικονοστοιχείου κατεύθυνση, επιμερίζοντας τη ποσότητα του νερού ανάλογα με την κλίση.

Στο συγκεκριμένο έργο, εφαρμόστηκε ένα Σύστημα Υποστήριξης Λήψης Αποφάσεων (DSS), το οποίο τροφοδοτήθηκε σε πολλές περιπτώσεις αξιολόγησης ενός κριτηρίου, από τα αποτελέσματα εφαρμογής αλγορίθμων που υλοποιήθηκαν σε περιβάλλον λογισμικού GIS (ο χαρακτηρισμός των περιοχών ως προς μορφολογικά στοιχεία, οι αλλαγές στις χρήσεις γης, η κλίση των εδαφών, αλλά και οι δείκτες SPI και TWI).

Μελλοντικά, δύναται να επεκταθεί η έρευνα, σε ένα ενιαίο Σύστημα που θα έχει τη χωρική του διάσταση, δηλαδή σε ένα Χωρικό Σύστημα Υποστήριξης Λήψης Αποφάσεων (Spatial DSS, SDSS). Τα πλεονεκτήματα από αυτή τη μετάβαση εστιάζονται κατά πρώτο λόγο στη διαχείριση μίας ενιαίας γεωγραφικής βάσης δεδομένων, αλλά και σε ζητήματα διαχείρισης και επεξεργασίας άλλων χρήσιμων διαθέσιμων δεδομένων (ΣΔΚΠ κ.α.), σε ζητήματα ποσοτικής εκτίμησης γεωγραφικά επηρεαζόμενων χρήσιμων μεγεθών, όπως και στη παρακολούθηση των αλλαγών που συμβαίνουν στο περιβάλλον, μέσα από ένα λογισμικό GIS που περιέχει πλήθος εργαλείων χωρικής ανάλυσης.

Απαραίτητη προϋπόθεση για τη μετάβαση αυτή, είναι η διαθεσιμότητα επικαιροποιημένων δεδομένων (γεωγραφικών και θεματικών), η αντίστοιχη οργάνωση και υποδομή από τον φορέα που θα το διαχειρίζεται και η στελέχωση από ανθρώπους μεταξύ άλλων, που να γνωρίζουν την επιστήμη των χωρικών δεδομένων (Spatial data science).

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ΗΛΙΔΑ Α.Ε., για Π.Ε. Φλώρινας (2020). Δημιουργία Master Plan για την Ιεράρχηση και Διαχείριση των Ρεμάτων στην Περιφερειακή Ενότητα Φλώρινας (Παραδοτέο Σύμβασης Παροχής Υπηρεσίας με την Εταιρεία «ΗΛΙΔΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Α.Ε.»).
- Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας (ΣΔΚΠ) Λεκανών Απορροής Ποταμών των Υδατικών Διαμερισμάτων Κεντρικής Μακεδονίας (ΕΛ10), Δυτικής Μακεδονίας (ΕΛ09) και Θεσσαλίας (ΕΛ08) και των αντίστοιχων Στρατηγικών Μελετών Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΦΕΚ 2638/Β/5.07.2018, ΦΕΚ 2689/Β/6.07.2018, ΦΕΚ 2685/Β/6.07.2018).
- ΥΕΤΟΣ Α.Ε., για Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών – Δ/ση Αντιπλημμυρικών και Εγγειοβελτιωτικών Έργων (Δ19) (2021). Επικαιροποίηση Master Plan Αντιπλημμυρικών Έργων Περιοχών Ν. Θεσσαλονίκης (Παραδοτέο Σύμβασης Παροχής Υπηρεσίας με την Εταιρεία «ΥΕΤΟΣ Α.Ε.: Σύμβουλοι – Μελετητές Ανάπτυξης & Υποδομών»).
- ΥΕΤΟΣ Α.Ε., για Π.Ε. Καστοριάς (2020). Δημιουργία Master Plan για τη Διαχείριση των Ρεμάτων στην Περιφερειακή Ενότητα Καστοριάς (Παραδοτέο Σύμβασης Παροχής Υπηρεσίας με την Εταιρεία «ΥΕΤΟΣ Α.Ε.: Σύμβουλοι – Μελετητές Ανάπτυξης & Υποδομών»).
- ΥΕΤΟΣ Α.Ε., για Π.Ε. Κοζάνης (2019). Δημιουργία Master Plan για τη Διαχείριση των Ρεμάτων στην Περιφερειακή Ενότητα Κοζάνης (Παραδοτέο Σύμβασης Παροχής Υπηρεσίας με την Εταιρεία «ΥΕΤΟΣ Α.Ε.: Σύμβουλοι – Μελετητές Ανάπτυξης & Υποδομών»).
- A. Arabameri, S. Saha, K.Mukherjee, T. Blaschke, W. Chen, P.Thao Thi Ngo, S. S. Band, (2020). Modeling Spatial Flood using Novel Ensemble Artificial Intelligence Approaches in

- Northern Iran, MDPI Remote sensing, vol.12, Issue 20, 1-30, (<https://www.mdpi.com/2072-4292/12/20/3423>)
- K. Beven, M. Kirkby, (1979). A physically based, variable contributing area model of basin hydrology, Hydrological Sciences Journal, vol. 24/1, p 43-69
- K. Beven, R. Lamb, M. Kirkby and J. Freer (2020). A history of TOPMODEL. Hydrology and Earth System Sciences, Open Access EGU (<https://doi.org/10.5194/hess-2020-409>)
- T. P. BURT& D. P. BUTCHER (1985). Topographic controls of soil moisture distributions, Journal of Soil Science, 36,469-486
- EC, (2016), 'Adaptation to climate change' (https://ec.europa.eu/clima/eu-action/adaptation-climate-change_en)
- EEA (2017), Report No 14 Green Infrastructure and Flood Management.Promoting cost-efficient flood risk reduction via green infrastructure solutions
- T. R. Marthews, S. J. Dadson, B. Lehner, S. Abele and N. Gedney (2015). Hydrology and Earth System Sciences, vol. 19, 91–104
- Papatheodorou, K., Sarantis, C., Ntouros, K. & Konstantinidis, A. (2018). ASTER DEM for calculating Hydrologic Indices. 4th International Conference 'Water Across Time in Engineering Research', 21-23 June 2018, Constanta, Romania
- P. QUINN, K. BEVEN, P. CHEVALLIER, O. PLANCHON (1991). The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modelling using Digital Terrain Model, HYDROLOGICAL PROCESSES, VOL. 5, 59-79
- R. Sørensen, U. Zinko, and J. Seibert. (2006). On the calculation of the topographic wetness index evaluation of different methods based on field observations, Hydrology and Earth System Sciences, vol.10, 101–112
- A. Rodhe, J. Seibert (1999). Wetland occurrence in relation to topography a test of topographic indices as moisture indicators, Agricultural and Forest Meteorology 325-340
- J. SEIBERT, K. H. BISHOP AND L. NYBERG (1997). A test of Topmodel's ability to predict spatially distributed groundwater levels, HYDROLOGICAL PROCESSES, VOL. 11, 1131-1144

ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΜΙΚΡΟΦΥΚΩΝ ΣΕ ΦΩΤΟΒΙΟΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΜΕ ΥΨΗΛΗ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΑΖΩΤΟ

Π. Ψαχούλια¹, Π. Αράπογλου¹, Ν. Τριάντη¹, Π. Σαμαράς¹

¹Εργαστήριο Τεχνολογιών Προστασίας Περιβάλλοντος και Αξιοποίησης Παραπροϊόντων Τροφίμων,
Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων, Διεθνές Πανεπιστήμιο Ελλάδος, 57400, Θεσσαλονίκη,
Ελλάδα

e-mail: samaras@ihu.gr

Περίληψη

Στην εργασία αυτή εξετάστηκε η δυνατότητα επεξεργασίας ενός αποβλήτου με υψηλή περιεκτικότητα σε άζωτο με αξιοποίηση μικροφυκών σε ένα φωτοβιοαντιδραστήρα πιλοτικής κλίμακας. Το υγρό υπόλειμμα που προκύπτει από την αναερόβια χώνευση αγροτοκτηνοτροφικών αποβλήτων χρησιμοποιήθηκε ως πρώτη ύλη για την καλλιέργεια ενός συγκεκριμένου στελέχους *Chlorella sorokiniana*, με στόχο την απομάκρυνση του αμμωνιακού αζώτου με περιεκτικότητα που έφτανε στο αρχικό ρεύμα μέχρι τα 5 g/L. Η επεξεργασία έλαβε χώρα σε φωτοβιοαντιδραστήρα 20 L και τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η τεχνική αυτή μπορεί να εφαρμοστεί με επιτυχία για την επεξεργασία παρόμοιων αποβλήτων.

Λέξεις κλειδιά: μικροφύκη, αμμωνιακό άζωτο, αναερόβια χώνευση

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αναερόβια χώνευση αποτελεί σήμερα μια ώριμη τεχνολογία για την επεξεργασία ενός μεγάλου αριθμού υγρών αποβλήτων, με στόχο την παραγωγή βιοαερίου και την χρήση του για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών. Ως συνέπεια σήμερα έχει κατασκευαστεί και λειτουργεί ένας μεγάλος αριθμός μονάδων βιοαερίου και βιομεθανίου (EBA, 2018). Τα κύρια προϊόντα από τις μονάδες αυτές είναι το βιοαέριο και το υπόλειμμα της αναερόβιας χώνευσης, η σύσταση του οποίου εξαρτάται από τις συνθήκες λειτουργίας και σε μεγάλο βαθμό από τις ιδιότητες της πρώτης ύλης (Logan and Visvanathan, 2019). Το υπόλειμμα αυτό υφίσταται διαχωρισμό σε μια στερεή και μια υγρή φάση και η διάθεσή τους προς λίπανση αγροτικών εκτάσεων αποτελεί τη συνηθισμένη πρακτική διαχείρισης. Οι λειτουργοί των μονάδων βιοαερίου στην προσπάθειά τους να επιτύχουν σταθερή παραγωγή ενέργειας με το ελάχιστο κόστος, αναζητούν φτηνές πρώτες ύλες προς τροφοδοσία, όπως πχ απόβλητα από ορνιθοτροφεία, που μπορεί όμως να επηρεάσουν τη σύσταση του υπολείμματος της χώνευσης, λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε άζωτο (Vilanona Plana and Noche, 2016). Μια τέτοια όμως κατάσταση δυσχεραίνει τη διαχείριση του υγρού κλάσματος από την αναερόβια χώνευση εξαιτίας των ορίων αζώτου που τίθενται για τη διάθεσή του στους αγρούς. Ο στόχος της εργασίας αυτής είναι να μελετηθεί η δυνατότητα αξιοποίησης συγκεκριμένων φωτοσυνθετικών οργανισμών για την αφομοίωση του αζώτου από υπόλειμμα αναερόβιας χώνευσης αγροκτηνοτροφικών αποβλήτων.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η μελέτη της αξιοποίησης μικροφυκών έλαβε χώρα σε οριζόντιο σωληνοειδή φωτοβιοαντιδραστήρα, ενεργού όγκου 20 L (Molina et al., 2001). Ο αντιδραστήρας κατασκευάστηκε από διάφανους ακρυλικούς σωλήνες (plexi glass) συνολικού μήκους 20 m που ενώθηκαν μεταξύ τους με συνδέσεις τύπου PVC. Στα δύο άκρα του συστήματος προσαρμόστηκε διάταξη απαέρωσης για τον έλεγχο του διαλυμένου οξυγόνου (degasser), ενώ για την κυκλοφορία του περιεχόμενου υγρού εντός του αντιδραστήρα αναπτύχθηκε ένα σύστημα αεραντλίας (air lift pump) με παροχή αέρα 10 L/min. Το σύστημα εξοπλίστηκε με αισθητήρια καταγραφής της περιεκτικότητας σε διαλυμένο οξυγόνο και θερμοκρασία, ενώ για τη ρύθμιση του pH χρησιμοποιήθηκε μια διάταξη με αισθητήριο μέτρησης pH και σύστημα αυτόματης εισαγωγής αερίου CO₂. Για το φωτισμό του αντιδραστήρα χρησιμοποιήθηκαν ως πηγή φωτός σωλήνες LED, με φωτοπερίοδο σε ώρες: φωτισμός/σκοτάδι=16/8.

Ως αρχικό απόβλητο χρησιμοποιήθηκε ένα δείγμα που συλλέχθηκε από μονάδα παραγωγής βιοαερίου που δέχεται αγροκτηνοτροφικά απόβλητα. Η εκροή από τους αναερόβιους χωνευτές στη μονάδα αυτή, υφίσταται διαχωρισμό μέσω φυγοκέντρησης και το υγρό κλάσμα αποτέλεσε το δείγμα αποβλήτων που μελετήθηκε στην εργασία.

Οι αναλύσεις που εφαρμόστηκαν για τον χαρακτηρισμό του αρχικού δείγματος, αλλά και δειγμάτων από το περιεχόμενο του φωτοβιοαντιδραστήρα, περιλάμβαναν τον προσδιορισμό του οργανικού φορτίου COD, του αζώτου (αμμωνιακού και ολικού) και φωσφόρου, με χρήση των πρότυπων μεθόδων σε φασματοφωτόμετρο DR2800 Hach. Παράλληλα, για την εκτίμηση της παραγόμενης βιομάζας, τα δείγματα από τον αντιδραστήρα αναλύονταν για τη μέτρηση της οπτικής πυκνότητας σε μήκος κύματος 600 nm (OD₆₀₀), αλλά και τον προσδιορισμό του βάρους των κυττάρων επί ξηρού με σταθμική μέθοδο (Dry Cell Weight, DCW). Επιπλέον, η παρατήρηση των κυττάρων των μικροφυκών γινόταν με οπτικό μικροσκόπιο American Optical Corporation PB92.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το στέλεχος *Chlorella sorokiniana* που απομονώθηκε αρχικά από το ίδιο το δείγμα υπολείμματος αναερόβιας χώνευσης. Το στέλεχος αυτό καλλιεργήθηκε σε φιάλες 1 L χρησιμοποιώντας πρότυπο θρεπτικό υπόστρωμα BG11, υπό κατάλληλες συνθήκες φωτισμού (16/8, 1500 lux) και θερμοκρασίας έτσι ώστε να δημιουργηθεί μια καλλιέργεια με κατάλληλη πυκνότητα η οποία στη συνέχεια ενοφθαλμίστηκε στον φωτοβιοαντιδραστήρα. Η αναγέννηση της καλλιέργειας έγινε ανά 15-20 ημέρες, με προσθήκη 50 mL της αρχικής καλλιέργειας σε 450 mL θρεπτικού μέσου BG11 προκειμένου να γίνεται αναπλήρωση των θρεπτικών συστατικών.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Δείγματα αποβλήτων συλλέχθηκαν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές προκειμένου να διαπιστωθεί η σύστασή του και η διακύμανση των χαρακτηριστικών του, ως αποτέλεσμα της διαφοροποίησης των πρώτων υλών που τροφοδοτούνται στην αναερόβια χώνευση. Από τα αποτελέσματα αυτό διαπιστώθηκε ότι το υπόλειμμα της αναερόβιας χώνευσης παρουσίαζε σημαντική μεταβλητότητα των παραμέτρων του, με το οργανικό φορτίο COD να κυμαίνεται από 19 έως 34 g/L, το αμμωνιακό άζωτο μεταξύ 2,9 έως 4,7 g/L και ο διαλυτός φώσφορος από 80 έως 1100 mg/L. Επιπλέον, τα δείγματα αυτά παρουσίαζαν υψηλές τιμές θολότητας. Για τη μελέτη της επεξεργασίας με τα μικροφύκη λήφθηκε υπόψη η τοξικότητα που παρουσιάζουν στα στελέχη αυτά υψηλές συγκεντρώσεις αμμωνιακού αζώτου, μεγαλύτερες από 200 mg/L. Ως συνέπεια αυτών των στοιχείων, χρησιμοποιήθηκε για την περαιτέρω εργασία αραιωμένο απόβλητο σε ποσοστό συγκέντρωσης περίπου 3 και 4,6 % κ.ο., έτσι ώστε το μίγμα που προέκυψε να έχει σταθερή περιεκτικότητα σε αμμωνιακό άζωτο, κατάλληλη θολότητα ώστε να είναι δυνατή η ανάπτυξη των φωτοσυνθετικών οργανισμών και χαμηλή τοξικότητα. Παράλληλα, προκειμένου να συγκριθεί η κινητική της ανάπτυξης των μικροφυκών με ένα πρότυπο θρεπτικό μέσο, τα πειράματα της καλλιέργειας σε αραιωμένο μίγμα της αναερόβιας χώνευσης συγκρίθηκαν με αντίστοιχα όπου χρησιμοποιήθηκε το θρεπτικό υπόστρωμα BG11.

Κατά την αρχική καλλιέργεια των μικροοργανισμών σε πρότυπο μέσο BG11 παρατηρήθηκε η ανάπτυξη των στελεχών και η αύξηση της οπτικής πυκνότητας μέχρι περίπου την 5^η ημέρα του πειράματος, όπου και διαπιστώθηκε στασιμότητα στην καμπύλη ανάπτυξης. Το φαινόμενο αυτό διαπιστώθηκε ότι οφείλεται στην έλλειψη φωσφόρου από το σύστημα, αφού από την 4^η ημέρα η περιεκτικότητα σε διαλυτό φώσφορο μηδενίστηκε. Για το λόγο αυτό, την 8^η ημέρα προστέθηκε στο σύστημα διάλυμα φωσφορικού άλατος σε συγκέντρωση 10 mg/L και στη συνέχεια παρατηρήθηκε αύξηση της βιομάζας με αντίστοιχη κατανάλωση του νιτρικού αζώτου από το θρεπτικό μέσο. Η οπτική πυκνότητα του περιεχομένου ξεπέρασε την τιμή $OD_{600}=12$, ενώ η συγκέντρωση του αζώτου μειώθηκε σημαντικά από 230 mg/L αρχικά σε συγκεντρώσεις κάτω από 30 mg/L.

Στη συνέχεια, με βάση τα αποτελέσματα αυτά μελετήθηκε η καλλιέργεια των φωτοσυνθετικών οργανισμών σε μίγμα αραιωμένου υπολείμματος από την αναερόβια επεξεργασία, με συγκέντρωση 3% κ.ο. Από τη διαδικασία αυτή προέκυψαν παρόμοιες παρατηρήσεις με την αντίστοιχη όπου χρησιμοποιήθηκε πρότυπο θρεπτικό μέσο. Έτσι, η ανάπτυξη της βιομάζας έφτασε σε μια στάσιμη φάση την 3^η ημέρα λόγω πλήρους κατανάλωσης του φωσφόρου και στη συνέχεια, μετά την προσθήκη φωσφορικών αλάτων σε συγκέντρωση διπλάσια της αρχικής παρατηρήθηκε η ανάπτυξη της βιομάζας με κατανάλωση του αμμωνιακού αζώτου. Σε σύγκριση με το BG11, παρατηρήθηκε σημαντικά χαμηλότερη πυκνότητα βιομάζας, με τιμές $OD_{600} = 4,3$ και μείωση της συγκέντρωσης του αζώτου από 90 mg/L σε ελάχιστες συγκεντρώσεις μέχρι την 19^η ημέρα του πειράματος.

Παρόμοια αποτελέσματα προέκυψαν με εφαρμογή αραιωμένου αποβλήτου σε συγκέντρωση 4,6% κ.ο. και με προσθήκη 13 mg/L φωσφόρου από τα αρχικά στάδια της επεξεργασίας: η συγκέντρωση του αμμωνιακού αζώτου μειώθηκε από τα 160 στα 8 mg/L, ενώ η οπτική πυκνότητα του δείγματος έφτασε σε τιμές $OD_{600}=8$.

Από τα πειράματα αυτά διαπιστώθηκε ότι ο φώσφορος αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα θρεπτικά συστατικά που είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη των μικροφυκών, ενώ το συγκεκριμένο στέλεχος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αφομοίωση του αζώτου από το μίγμα, αφού σε όλες τις περιπτώσεις το ποσοστό απομάκρυνσής του κυμαινόταν από 93% στο θρεπτικό μέσο BG11, έως 95-97% στο αραιωμένο απόβλητο.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή εξετάστηκε η αξιοποίηση των μικροφυκών για την απομάκρυνση αζώτου από το υγρό κλάσμα του υπολείμματος αναερόβιας χώνευσης σε ένα κλειστό σύστημα φωτοβιοαντιδραστήρα. Παρατηρήθηκε ότι το στέλεχος *Chlorella sorokiniana* είναι ικανό για την επεξεργασία αυτού του δείγματος αποβλήτων σε ποσοστό αραιώσεως 3-4,6% κ.ο., με παράλληλη ρύθμιση της περιεκτικότητας σε φώσφορο έτσι ώστε να υπάρχει πάντα διαθέσιμη η απαραίτητη ποσότητα για την ανάπτυξη των οργανισμών. Η απόδοση απομάκρυνσης του αζώτου ήταν σχετικά μεγαλύτερη από την αντίστοιχη σε πρότυπο θρεπτικό μέσο, μολονότι η ανάπτυξη της καλλιέργειας ήταν σημαντικά μικρότερη.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- European Biogas Association, 2018. *Statistical Report 2018*. Available at <https://www.europeanbiogas.eu/eba-statistical-report-2018/>
- Logan, M., and Visvanathan, C., 2019. *Management strategies for anaerobic digestate of organic fraction of municipal solid waste: Current status and future prospects*. Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy, 37, 27-39.
- Molina, E., Fernandez, J., Acien, F. G. & Christi, Y., 2001. *Tubular photobioreactor design for algal cultures*. Journal of Biotechnology, 92, 113-131.
- Vilanova Plana, P., and Noche, B., 2016. *A review of the current digestate distribution models: storage and transport*. 8 International Conference on Waste Management and The Environment (WM 2016), WIT Transactions on Ecology and The Environment, 202, 345-357.

ΚΙΝΗΤΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΦΥΚΟΥΣ *SCHIZOCHYTRIUM LIMACINUM* ΣΕ ΑΚΑΤΕΡΓΑΣΤΗ ΓΛΥΚΕΡΟΛΗ ΚΑΙ ΕΚΡΟΕΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

**Δημήτριος Αντωνιάδης¹, Σοφοκλής Μπούρας¹, Γεώργιος Κούντριας¹
Ιωάννης Καραπαναγιωτίδης² και Νικόλαος Κατσούλας¹**

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ¹Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος, Βόλος, nkatsoul@uth.gr, ²Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία, αξιολογήθηκε η κινητική ανάπτυξης του πλούσιου σε ω-3 λιπαρά (DHA) μικροφύκος *Schizochytrium limacinum* SR 21 σε ετεροτροφική καλλιέργεια στο εργαστήριο και σε μεγάλη κλίμακα, με θρεπτικά μέσα ανάπτυξης ακατέργαστη γλυκερόλη και εκροές παραγωγής βιοαερίου, ως φθηνές εναλλακτικές λύσεις θρεπτικών για την παραγωγή DHA ως υποκατάστατο συμπληρωμάτων ιχθυοτροφών. Δείχθηκε ότι οι εκροές παραγωγής βιοαερίου παρατείνουν την εκθετική φάση ανάπτυξης, αυξάνουν ως και 60% την παραγωγή βιομάζας σε σχέση με την ανόργανη πηγή αζώτου στην ίδια αναλογία C/N, η λιπογένεση αυξάνεται εκθετικά μετά την κατανάλωση του N στο θρεπτικό διάλυμα ανάπτυξης και τέλος, το μικροφύκος μπορεί να αναπτυχθεί σε μεγάλη κλίμακα σε θρεπτικό διάλυμα με γλυκερόλη και εκροές παραγωγής βιοαερίου με μεγάλες αναλογίες C/N, με μέγιστη παραγωγή ξηρής βιομάζας 15,3 g L⁻¹.

Λέξεις κλειδιά: Μικροφύκη, Ακατέργαστη γλυκερόλη, Εκροές παραγωγής Βιοαερίου, Κινητική Ανάπτυξης

KINETICS OF GROWTH OF THE MICROALGAE *SCHIZOCHYTRIUM LIMACINUM* CULTIVATED ON CRUDE GLYCEROL AND BIOGASS EFFLUENT

**Dimitrios Antoniadis¹, Sofoklis Bouras¹, Georgios Kountrias¹, Ionannis Karapanagiotidis²
and Nikolaos Katsoulas¹**

University of Thessaly, ¹Department of Agriculture Crop Production and Rural Environment, Laboratory of Agricultural Constructions and Environmental Control, Volos, nkatsoul@uth.gr

²Department of Ichthyology and Aquatic Environment, Lab of Aquaculture.

Abstract

In the present study, it was assessed the kinetics of growth of the ω-3 fat (DHA)-rich microalgae *Schizochytrium limacinum* SR 21 cultivated heterotrophically on laboratory and large-scale in growth media containing crude glycerol and biogas digestate effluents, as possible cheap alternatives for the production of DHA from microalgae, as a substitute for fish feed supplements. The presence of biogas effluents has been shown to prolong the exponential growth phase, increase biomass production by up to 60% in relation to the inorganic nitrogen source in the same C / N ratio, lipogenesis increased exponentially after the consumption of N in the growth nutrient solution and finally, the microalgae managed to grow on a large scale in a nutrient solution with glycerol and biogas effluents with high C / N ratios (50,100,200), with a maximum dry biomass production of 15.3 g L⁻¹.

Keywords: Microalgae, Crude Glycerol, Biogas Digestate Effluents, Kinetics of Growth

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην οικογένεια των θαλάσσιων μονοκύτταρων ετεροτροφικών δινομαστιγωτών πρώτιστων *Thraustochytriaceae*, ανήκει το γένος μικροφυκών *Schizochytrium* (*Aurantiochytrium*), που έχει την ικανότητά να παράγει ω-3 λιπαρά μεγάλης αλυσίδας και ιδιαίτερα δοκοσαεξενοϊκό λιπαρό οξύ (DHA: 22:6n-3) σε περιεκτικότητα που φθάνει τα 35-40% επί των ολικών λιπών (Yokochi et al., 1998), γεγονός που τα καθιστά ιδανική πηγή για την παραγωγή συμπληρωμάτων ιχθυοτροφών, τη στιγμή που τα περισσότερα ιχθυέλαια έχουν μια περιεκτικότητα σε DHA της τάξης του 10-15% (Sarker et al., 2016). Τα είδη του γένους *Schizochytrium* παρουσιάζουν υψηλότερους ρυθμούς ανάπτυξης, η καλλιέργεια τους θεωρείται σχετικά εύκολη (Ganuza et al. 2008b), όμως το κόστος παραγωγής DHA είναι υψηλό, λόγω του υψηλού κόστους των παραδοσιακών πηγών άνθρακα (γλυκόζη, καθαρή γλυκερόλη) και αζώτου (πεπτόνη και εκχύλισμα μαγιάς) που χρησιμοποιούνται για την καλλιέργειά τους (Wang et al., 2018). Η προσαρμοστικότητα τους να αναπτύσσονται σε διάφορες φυσικοχημικές συνθήκες και η ικανότητά τους να μεταβολίζουν ένα ευρύ φάσμα υδρογονανθράκων και άλλων πηγών, προσέλκυσε το ερευνητικό και επιχειρηματικό ενδιαφέρον για την αξιολόγηση της χρήσης υγρών αποβλήτων της βιομηχανίας τροφίμων ή της αγροτικής παραγωγής ως πιθανές φθηνές πηγές θρεπτικών για την ανάπτυξη των μικροφυκών του γένους *Schizochytrium* και την παραγωγή ή τη βελτίωση της παραγωγής DHA (Xu et al., 2020), συμβάλλοντας ταυτόχρονα και στην αειφόρο διαχείριση αυτών των αποβλήτων.

Στην παρούσα εργασία, αξιολογήθηκε η κινητική ανάπτυξης του στελέχους SR 21 του μικροφύκου *Schizochytrium* (*Aurantiochytrium*) *limacinum* σε μεγάλη κλίμακα σε θρεπτικό διάλυμα τελικού όγκου 1000 λίτρων, το οποίο περιείχε ως μοναδική πηγή άνθρακα την ακατέργαστη γλυκερόλη και ως μοναδική πηγή αζώτου και μακρο- και μικροστοιχείων τις εκροές βιοαερίου σε συγκεντρώσεις 12,5%, 25% και 50% σε μεγάλες αναλογίες C / N (50,100,200), με τις δύο πηγές θρεπτικών να αποτελούν υγρά απόβλητα της βιομηχανίας βιοκαυσίμων. Σε πειράματα εργαστηρίου αξιολογήθηκε η κινητική ανάπτυξης και η επίδραση της παρουσίας των εκροών παραγωγής βιοαερίου στην παραγωγή βιομάζας και ολικών λιπών.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Μικροοργανισμός, θρεπτικά, καλλιέργεια στο εργαστήριο και σε μεγάλη κλίμακα

Στα πειράματα χρησιμοποιήθηκε το στέλεχος SR 21 του μικροφύκου *Schizochytrium limacinum* (*Aurantiochytrium limacinum* SR 21, ATCC[®] MYA-1381[™]), το οποίο καλλιεργήθηκε ετεροτροφικά σε τεχνητό θαλασσινό νερό, με ακατέργαστη γλυκερόλη, προϊόν της παραγωγής βιοντίζελ, η προμήθεια της οποίας έγινε από την εταιρία παραγωγής βιοκαυσίμων Ellin Verd που εδρεύει στο Βόλο και εκροές παραγωγής βιοαερίου που προέκυψε μετά την ολοκλήρωση της αναερόβιας ζύμωσης φυτικών υπολειμμάτων αροτραίων καλλιεργειών, κασίγαρου (απόβλητο ελαιουργίας) και κοπριάς χοιροστασιών, η προμήθεια των οποίων έγινε από τη μονάδα παραγωγής βιοαερίου SEITIS BROS BIOGAS S.A που εδρεύει στο Αργυροπούλι Τυρνάβου.

Στο εργαστήριο, πραγματοποιήθηκε ετεροτροφική καλλιέργεια μικροφυκών σε θάλαμο επώασης για 168 ώρες, σε γυάλινα δοχεία των 500 ml με συνολικό όγκο θρεπτικού διαλύματος 400 ml, που περιείχαν διαλυμένα σε τεχνητό θαλασσινό νερό Α) 120 ml L⁻¹ διαλύματος ακατέργαστης γλυκερόλης (96 gL⁻¹ γλυκερόλης) που αντιστοιχούν σε 36 gL⁻¹ άνθρακα στο θρεπτικό διάλυμα, 11,5 gL⁻¹ NH₄CL, που αντιστοιχούν σε 3 gL⁻¹ N στο διάλυμα και ιχνοστοιχεία και Β) 120 ml L⁻¹ διαλύματος ακατέργαστης γλυκερόλης και 60% v/v

επεξεργασμένων εκροών παραγωγής βιοαερίου και $11,5 \text{ gL}^{-1} \text{ NH}_4\text{Cl}$ που αντιστοιχούν σε $3 \text{ gL}^{-1} \text{ N}$ χωρίς την προσθήκη ιχνοστοιχείων, με αρχική ποσότητα εμβολίου ήταν $10 \% \text{ v/v}$, pH 7, θερμοκρασία $25 \text{ }^\circ\text{C}$, ανάδευση και παροχή ατμοσφαιρικού αέρα με διαλυμένο οξυγόνο (ΔO) στο 50% . Και στα δύο θρεπτικά διαλύματα προστέθηκαν $1,5 \text{ gL}^{-1} \text{ KH}_2\text{PO}_3$ και $0,7 \text{ gL}^{-1} \text{ MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

Σε μεγάλη κλίμακα, πραγματοποιήθηκαν ετεροτροφικές καλλιέργειες του μικροφύκου διάρκειας 252 ωρών, στις θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο, σε δεξαμενές διαστάσεων $6*3*0,5$ μέτρων (μήκος-πλάτος-ύψος), σε τελικό όγκο καλλιέργειας 1000 λίτρα, με αρχική ποσότητα εμβολίου $10 \% \text{ v/v}$. Η διαχείριση του κλίματος στο θάλαμο του θερμοκηπίου και των αβιοτικών παραγόντων στις δεξαμενές ανάπτυξης μικροφυκών, καταγράφονταν με αισθητήρες και ρυθμίζονταν με συστήματα αυτοματισμών (προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές, PLC) οι οποίοι συνδέονταν στο σύστημα ελέγχου του θερμοκηπίου, ώστε να παραμένουν σταθερά το pH στο 7, η θερμοκρασία στους $25 \text{ }^\circ\text{C}$, το διαλυμένο οξυγόνο (ΔO) στο 50% με παροχή ατμοσφαιρικού αέρα και η ανάδευση στις 120 rpm. Η αποστείρωση του θρεπτικού διαλύματος πραγματοποιήθηκε με διέλευση του θρεπτικού διαλύματος από λάμπα υπεριώδους ακτινοβολίας. Το θρεπτικό διάλυμα ανάπτυξης στις τρεις πειραματικές μεταχειρίσεις αποτελούνταν από 120 gL^{-1} ακατέργαστης γλυκερόλης (96 gL^{-1} γλυκερόλης) ως πηγή οργανικού άνθρακα και εκροές παραγωγής βιοαερίου $12,5 \%$, 25% και $50\% \text{ v/v}$ αντίστοιχα σε κάθε μία από τις τρεις μεταχειρίσεις με ανάλογη αντικατάσταση του ASW μέχρι τελικού όγκου καλλιέργειας 1000L. Στο θρεπτικό διάλυμα δεν προστέθηκαν ανόργανο άζωτο, μικροστοιχεία και ιχνοστοιχεία, παρά μόνο όσα περιέχονταν στη σύσταση των εκροών παραγωγής του βιοαερίου.

Η σύσταση της ακατέργαστης γλυκερόλης, του τεχνητού θαλασσινού νερού, των εκροών παραγωγής του βιοαερίου, η ενεργοποίηση των κυττάρων και η καλλιέργεια των εμβολίων, αναφέρονται αναλυτικά στους Bouras et al., 2020.

2.2.Αναλύσεις, Ειδικός ρυθμός αύξησης

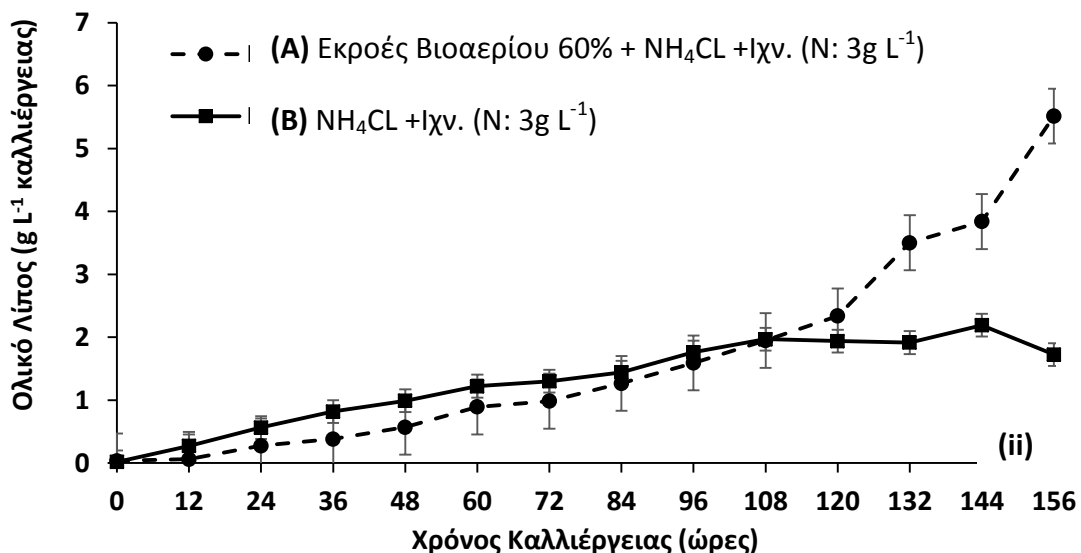
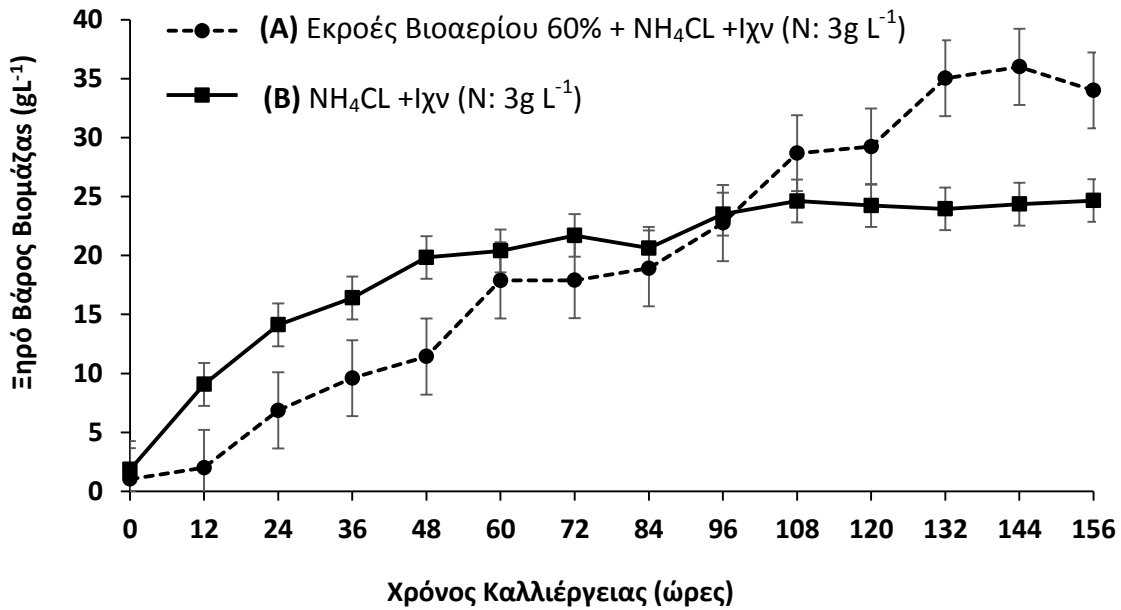
Από τις καλλιέργειες παίρνονταν δείγματα κάθε 12 ώρες και προσδιορίζονταν η παραγόμενη βιομάζα με τη μέτρηση του ξηρού βάρους των κυττάρων και τα ολικά λίπη τα οποία εξαγόταν σύμφωνα με τους Folch et al. (1957) με διάλυμα Χλωροφόρμιου/μεθανόλης - 2:1 v/v, ενώ τα αμμωνιακά ιόντα στο θρεπτικό διάλυμα ανάπτυξης μετριόνταν με τη φωτομετρική μέθοδο σε συσκευή HACH. Ο ειδικός ρυθμός αύξησης (specific growth rate) κατά την εκθετική φάση (μ_{exp}), δηλαδή η κλίση της καμπύλης του ρυθμού ανάπτυξης στην εκθετική φάση, υπολογίστηκε με βάση τη σχέση:

$$\mu_{\text{exp}} = \ln(a_2/a_1)/(t_2-t_1) \quad (1)$$

όπου a_1 και a_2 είναι η ξηρή βιομάζα στην αρχή και στο τέλος της εκθετικής φάσης ανάπτυξης, στο χρόνο 1 (t_1) και 2 (t_2).

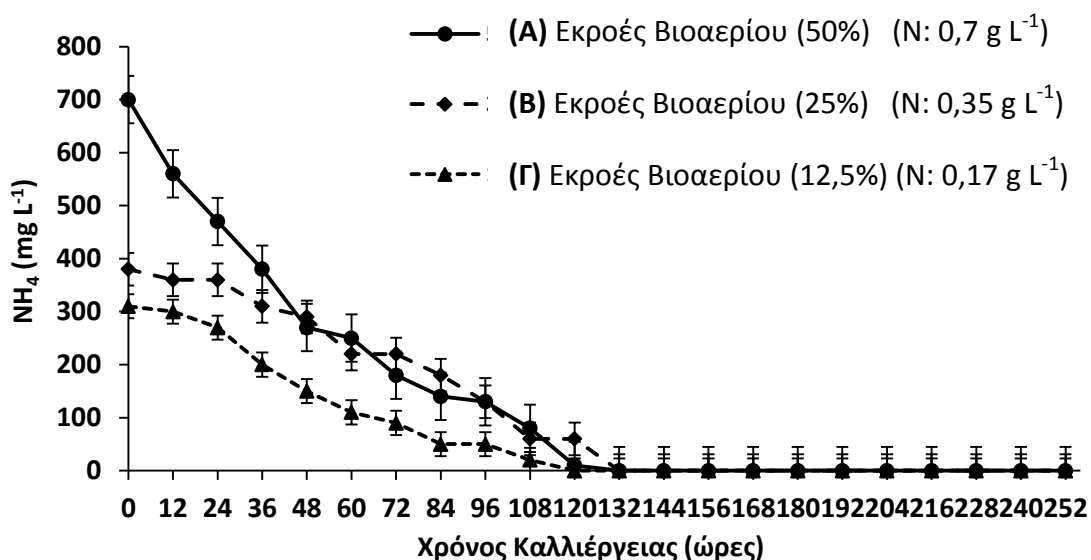
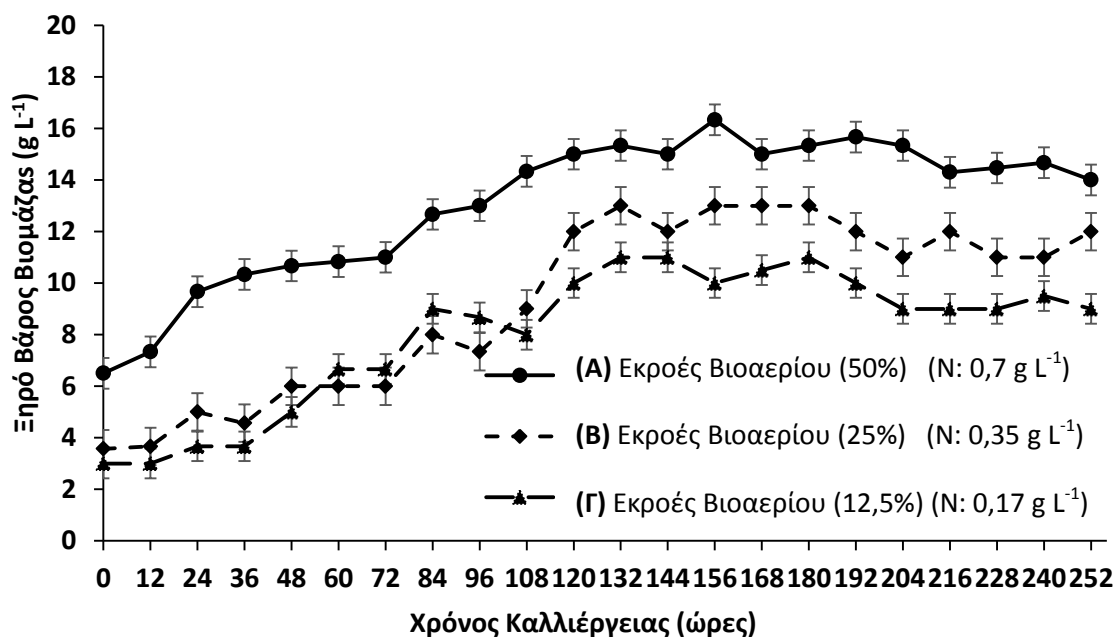
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ- ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται η παραγωγή ξηρής βιομάζας (i) και ολικών λιπών (ii) στη διάρκεια του χρόνου της ετεροτροφικής καλλιέργειας του μικροφύκου *Schizochytrium limacinum* στο εργαστήριο.



Σχήμα 1. Παραγωγή ξηρής βιομάζας (i) και ολικών λιπών (ii) στην παραγόμενη βιομάζα (ii) στη διάρκεια του χρόνου καλλιέργειας του μικροφύκου *Schizochytrium limacinum* που καλλιεργήθηκε ετεροτροφικά στο εργαστήριο σε θρεπτικό μέσο με: **(A)** ακατέργαστη γλυκερόλη (C: 36g L⁻¹) και εκροές από παραγωγή βιοαερίου 60% v/v + NH₄CL (N: 3g L⁻¹) και **(B)** ακατέργαστη γλυκερόλη (C: 36g L⁻¹), NH₄CL (N: 3g L⁻¹) και ιχνοστοιχεία.

Στο Σχήμα 2, παρουσιάζεται η παραγωγή ξηρής βιομάζας (i) και η αφομοίωση των αμμωνιακών ιόντων από το θρεπτικό διάλυμα (ii) στη διάρκεια του χρόνου καλλιέργειας του μικροφύκου *Schizochytrium limacinum* που καλλιεργήθηκε ετεροτροφικά στις πιλοτικές εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας σε θρεπτικό τελικού όγκου 1000 L.



Σχήμα 2. Παραγωγή ξηρής βιομάζας (i) και αφομοίωση των αμμωνιακών ιόντων από το θρεπτικό διάλυμα (ii) στη διάρκεια του χρόνου καλλιέργειας του μικροφύκου *Schizochytrium limacinum* που καλλιεργήθηκε ετεροτροφικά στις πιλοτικές εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας σε θρεπτικό μέσο ανάπτυξης που περιείχε ακατέργαστη γλυκερόλη (C: 36 g L^{-1}) και εκροές από παραγωγή βιοαερίου (A) 50% v/v (B) 25% v/v και (Γ) 12,5% v/v σε κάθε μία από τις μεταχειρίσεις αντίστοιχα.

Οι συγκεντρώσεις C και N (σε g L^{-1}) του θρεπτικού διαλύματος ανάπτυξης και η αντίστοιχη αναλογία C/N, ο ειδικός ρυθμός αύξησης (specific growth rate) του κατά την εκθετική φάση ανάπτυξης του μικροφύκου (μ_{exp}), η διάρκεια της εκθετικής φάσης και η παραγόμενη βιομάζα στο τέλος της εκθετικής φάσης με την οποία εισέρχεται στη στατική φάση ανάπτυξης το μικροφύκος, φαίνονται στον Πίνακα 1.

Ο ειδικός ρυθμός αύξησης (specific growth rate) του μικροφύκου κατά την εκθετική φάση ανάπτυξης (μ_{exp}), είναι υψηλότερος (0,375), άρα το μικροφύκος φτάνει πιο γρήγορα στην στατική φάση (διάρκεια εκθετικής φάσης 48h), όταν χρησιμοποιείται ως μοναδική

πηγή αζώτου το αμμωνιακό άζωτο, ενώ η παρουσία των εκροών του βιοαερίου επιβραδύνει το ρυθμό αύξησης (0,28) και παρατείνει τη διάρκεια της εκθετικής φάσης στις 120h, άρα φθάνει αργότερα στη στατική φάση. Όμως η παραγωγή βιομάζας στο τέλος της εκθετικής φάσης στην περίπτωση του βιοαερίου είναι 60% μεγαλύτερη σε σχέση με αυτή του NH₄CL (35 και 20 g L⁻¹ αντίστοιχα) στην ίδια συγκέντρωση άνθρακα και αζώτου στο θρεπτικό διάλυμα. Η τάση επιβράδυνσης του ειδικού ρυθμού αύξησης, φάνηκε και στα πειράματα με τις εκροές βιοαερίου σε μεγάλη κλίμακα, υποδεικνύοντας ότι ο χρόνος της καλλιέργειας πιθανόν να χρειαστεί να αυξηθεί πέρα από τις 180 ώρες για να έχουμε την παραγωγή των επιθυμητών προϊόντων στη στατική φάση.

Πίνακας 2. Συγκεντρώσεις άνθρακα (C) και αζώτου (N) σε g L⁻¹ και αναλογία C/N του θρεπτικού διαλύματος ανάπτυξης, ειδικός ρυθμός αύξησης (specific growth rate) του μικροφύκου κατά την εκθετική φάση ανάπτυξης (μ_{exp}), διάρκεια εκθετικής φάσης (d_{exp}) και παραγόμενη βιομάζα στο τέλος της εκθετικής φάσης με την οποία εισέρχεται στη στατική φάση ανάπτυξης (d_{exp}) στις καλλιέργειες του *Schizochytrium limacinum* σε εργαστηριακή και μεγάλη κλίμακα.

Μεταχειρίσεις	C (g L ⁻¹)	N (g L ⁻¹)	C/N	μ_{exp}	d_{exp} (h)	B_{exp} (g L ⁻¹)
Εκροές βιοαερίου 60% v/v, + NH ₄ CL, ΘΔ 0,4L	36	3	12	0,28	120 (12-132)	35
NH ₄ CL +Ιχνοστοιχεία ΘΔ 0,4L	36	3	12	0,375	48 (0-48)	20
Εκροές βιοαερίου 50% v/v, ΘΔ 1000L	36	0,72	50	0,07	120 (12-132)	15,3
Εκροές βιοαερίου 25% v/v, ΘΔ 1000L	36	0.36	100	0,08	120 (12-132)	13
Εκροές βιοαερίου 50% v/v, ΘΔ 1000L	36	0,18	200	0,07	120 (12-132)	11

Η παρεμπόδιση της ταχύτητας στην ανάπτυξη της βιομάζας, μπορεί να οφείλεται στην αρχική υψηλή συγκέντρωση ιχνοστοιχείων, όπως π.χ. του Zn και του Cu που έχει αναφερθεί ότι επιβραδύνουν την ταχύτητα ανάπτυξης των *Thraustochytrids* στα οποία ανήκει το *Schizochytrium* (Lin et al. 2010), ή η υψηλή συγκέντρωση ακατέργαστης γλυκερίνης να προκαλεί παρεμπόδιση υποστρώματος που εμφανίζεται συχνά στην περίπτωση υψηλών συγκεντρώσεων γλυκερόλης (Huang et al., 2012). Αντίθετα, η αύξηση στη βιομάζα και την παραγωγή λιπιδίων με την παρουσία των εκροών παραγωγής του βιοαερίου, μπορεί να αποδοθεί στην αυξημένη συγκέντρωση των ιχνοστοιχείων που λειτουργούν ως βιοδιεγέρτες στην παραγωγή βιομάζας και λιπών (Xu et al., 2020), καθώς η συγκέντρωση αζώτου, άνθρακα και μακροθρεπτικών, ήταν ίδια στις δύο μεταχειρίσεις.

Η αναλογία C/N στη σύσταση του θρεπτικού μέσου ανάπτυξης επηρέασε την παραγωγή βιομάζας. Όσο αυξάνονταν ο λόγος C/N μειώνονταν αντίστοιχα και η παραγωγή βιομάζας. Μάλιστα το μικροφύκος αναπτύχθηκε και σε πολύ μικρούς λόγους C/N, κάτι που δηλώνει ότι σε μεγάλη κλίμακα μπορεί να χρησιμοποιηθούν εκροές βιοαερίου με το περιεχόμενο του αζώτου που περιέχεται κάθε φορά σε αυτές χωρίς περαιτέρω επεξεργασία, με την προϋπόθεση η αποστείρωση να γίνεται μέσω UV ώστε να μην απομακρύνεται το N με τη

μορφής αμμωνίας λόγω μετατόπισης της αμφίδρομης αντίδρασης αμμωνιακών – αμμωνίας προς τη σύνθεση αμμωνίας όταν η αποστείρωση του θρεπτικού γίνεται στις μεγάλες θερμοκρασίες του αυτόκαυστου. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθούν μικρότερες συγκεντρώσεις των εκρών παραγωγής του βιοαερίου στο αρχικό διάλυμα, αποτρέποντας προβλήματα που διαπιστώθηκαν κατά την καλλιέργεια σε μεγάλη κλίμακα με τις μεγάλες συγκεντρώσεις (50%, 25%) εκρών, όπως ο έντονος αφρισμός κατά την ανάδευση και η απώλεια βιομάζας ή η παρουσία περισσότερης οργανικής ύλης που διαπέρασε τα φίλτρα κατά τον καθαρισμό των εκρών με διήθηση.

Το άζωτο στο θρεπτικό διάλυμα μειώνεται με την πάροδο του χρόνου καθώς αφομοιώνεται από τα κύτταρα του μικροφύκου για να χρησιμοποιηθεί για τον πολλαπλασιασμό τους, την παραγωγή πρωτεϊνών και άλλων μακρομορίων, οπότε αύξηση της βιομάζας της καλλιέργειας έχουμε όσο υπάρχει διαθέσιμο άζωτο, η κατανάλωση του οποίου οδηγεί και στη μείωση και αναστολή της αύξησης της παραγόμενης βιομάζας. Στα πειράματα μεγάλης κλίμακας, ουσιαστικά το άζωτο στο θρεπτικό διάλυμα χρησιμοποιείται στο διάστημα των πρώτων 5-6 ημερών, οπότε η καλλιέργεια φτάνει στη μέγιστη παραγωγή βιομάζας και εισέρχεται στη στατική φάση με καταπόνηση αζώτου, κάτι που το επιδιώκουμε, καθώς μελέτες έδειξαν ότι όταν τα μικροφύκη καλλιεργούνταν κάτω από καταπόνηση αζώτου, αυξάνουν σημαντικά την παραγωγή λιπών (Yokochi et al., 1998). Αυτή η αύξηση της παραγωγής των ολικών λιπών φάνηκε και στα πειράματα με το βιολίπασμα στο εργαστήριο, καθώς η παραγωγή των ολικών λιπών αυξήθηκε σημαντικά μετά την 120^η ώρα μετά την κατανάλωση του N στο θρεπτικό, αφού η κύρια επίδραση της ανεπάρκειας ενός σημαντικού θρεπτικού (κυρίως αζώτου) στο θρεπτικό μέσο ανάπτυξης σε καλλιέργεια μικροφυκών, περιλαμβάνει την αυξημένη βιοσύνθεση και χρησιμοποίηση του διαθέσιμου άνθρακα προς τη σύνθεση και συσσώρευση λιπών (Garay et al., 2014).

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι:

-Η ετεροτροφική καλλιέργεια του μικροφύκου *Schizochytrium limacinum* είναι εφικτή σε μεγάλη κλίμακα με τη χρήση ως αποκλειστικών πηγών θρεπτικών την ακατέργαστη γλυκερόλη ως πηγή άνθρακα και τις εκροές παραγωγής βιοαερίου, ως πηγή αζώτου και μακρο- και μικροθρεπτικών για την παραγωγή λιπών και DHA, με την προϋπόθεση η αποστείρωση του θρεπτικού να γίνεται με τη μέθοδο UV, ώστε να διατηρείται το περιεχόμενο σε N στο βιολίπασμα.

-Για την αύξηση σε παραγωγή ολικών λιπιδίων θα πρέπει η καλλιέργεια να ρυθμιστεί ώστε το μικροφύκος να εισέρχεται στη στατική φάση ανάπτυξης με καταπόνηση αζώτου, η οποία προάγει τη λιπογένεση.

-Για να μεγιστοποιήσουμε την παραγωγή ολικών λιπών άρα και DHA, η παραγωγή μπορεί να γίνει είτε σε δύο στάδιο, στο πρώτο από τα οποία να αναπτυχθεί το μικροφύκος με τη βέλτιστη συγκέντρωση αρχικού N και να εισέρθει στη στατική φάση με τη μέγιστη δυνατή βιομάζα και στο δεύτερο να γίνει η ανάπτυξη σε καταπόνηση αζώτου είτε το μικροφύκος να καλλιεργηθεί με παρατεταμένη περίοδο ανάπτυξης.

5. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η εργασία υλοποιήθηκε στο πλαίσιο της Δράσης ΕΡΕΥΝΩ – ΔΗΜΙΟΥΡΓΩ - ΚΑΙΝΟΤΟΜΩ και συγχρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση και εθνικούς πόρους μέσω του Ε.Π. Ανταγωνιστικότητα, Επιχειρηματικότητα & Καινοτομία (ΕΠΑνεΚ) (κωδικός έργου:Τ1ΕΔΚ-01580).

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Bouras, S., Katsoulas, N., Antoniadis, D. and Karapanagiotidis, I.T., 2020. Use of biofuel industry wastes as alternative nutrient sources for DHA-yielding *Schizochytrium limacinum* production. *Applied Science*, 10(12), 4398.
- Folch, J., Lees, M. and Sloane-Stanley, G.H., 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *Journal of Biological Chemistry*, 226, 497–509.
- Ganuza, E., Benítez-Santana, T., Atalah, E., Vega-Orellana, O., Ganga, R. and Izquierdo, M. S., 2008. *Cryptocodinium cohnii* and *Schizochytrium sp.* as potential substitutes to fisheries-derived oils from seabream (*Sparus aurata*) microdiets. *Aquaculture*, 277(1), 109-116.
- Garay, L.A., Boundy-Mills, K.L. and German, J.B., 2014. Accumulation of high-value lipids in single-cell microorganisms: a mechanistic approach and future perspectives. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62, 2709–2727.
- Huang, T.Y., Lu, W.C. and Chu, I.M., 2012. A fermentation strategy for producing docosahexaenoic acid in *Aurantiochytrium limacinum* SR21 and increasing C22: 6 proportions in total fatty acid. *Bioresource Technology*, 123, 8–14.
- Lin, Y.C., Leaño, E.M. and Pang, K.L., 2010. Effects of Cu (II) and Zn (II) on growth and cell morphology of thraustochytrids isolated from fallen mangrove leaves in Taiwan. *Botanica Marina*, 53, 581–586.
- Sarker, P.K., Kapuscinski, A.R., Lanois, A.J., Livesey, E.D., Bernhard, K.P. and Coley, M. L., 2016. Towards Sustainable Aquafeeds: Complete Substitution of Fish Oil with Marine Microalga *Schizochytrium sp.* Improves Growth and Fatty Acid Deposition in Juvenile Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *PloS one*, 11(6), e0156684.
- Wang, K., Sun, T., Cui, J., Liu, L., Bi, Y., Pei, G., Chen, L. and Zhang, W., 2018. Screening of chemical modulators for lipid accumulation in *Schizochytrium sp.* S31. *Bioresource Technology*, 260, 124–129.
- Xu, X., Huang, C., Xu, Z., Xu, H., Wang, Z. and Yu, X., 2020. *The strategies to reduce cost and improve productivity in DHA production by Aurantiochytrium sp.: from biochemical to genetic respects*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 104(22),9433-9447.
- Yokochi, T., Honda, D., Higashihara, T. and Nakahara, T., 1998. *Optimization of docosahexaenoic acid production by Schizochytrium limacinum SR21*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 49, 72–76.
- Zhu, L., Zhang, X., Ren, X. and Zhu, Q., 2008. Effects of culture conditions on growth and docosahexaenoic acid production from *Schizochytrium limacinum*. *Journal of Ocean University of China*, 7, 83–88.

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΜΙΚΡΟΦΥΚΩΝ

Δημήτριος Αντωνιάδης¹, Δημήτρης Κ. Παπαναστασίου^{1,2}, Βασίλειος Ανέστης¹,
Σοφοκλής Μπούρας¹, Νικόλαος Κατσούλας¹

¹Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος, Βόλος, nkatsoul@uth.gr

²Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Περιβάλλοντος, Λάρισα

Περίληψη

Σκοπός της εργασίας είναι η συγκριτική αποτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκαλούνται από τη συμβατική και δύο εναλλακτικές μεθόδους καλλιέργειας του πλούσιου σε ω-3 λιπαρά μικροφύκους *Schizochytrium limacinum* SR 21 για την παραγωγή βιομάζας. Στις εναλλακτικές μεθόδους καλλιέργειας, οι συμβατικές πηγές θρεπτικών αντικαταστάθηκαν από υγρά απόβλητα της βιομηχανίας παραγωγής βιοντίζελ και από εκροές από την αναερόβια ζύμωση αγροκτηνοτροφικών προϊόντων για την παραγωγή βιοαερίου. Αποτιμήθηκαν 18 κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων με τη χρήση ισάριθμων δεικτών και τα αποτελέσματα έδειξαν ότι υπάρχει δυνατότητα μείωσης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της καλλιέργειας μικροφυκών με κατάλληλες παρεμβάσεις στα θρεπτικά υλικά που χρησιμοποιούνται.

Λέξεις κλειδιά: Μικροφύκη, Μέθοδοι Καλλιέργειας, Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις

ENVIRONMENTAL IMPACT OF MICROALGAE CULTIVATION

Dimitrios Antoniadis¹, Dimitris K. Papanastasiou^{1,2}, Vasileios Anestis¹,
Sofoklis Bouras¹, Nikolaos Katsoulas¹

¹University of Thessaly, Department of Agriculture Crop Production and Rural Environment, Laboratory of Agricultural Constructions and Environmental Control, Volos, Greece, nkatsoul@uth.gr

²University of Thessaly, Department of Environmental Sciences, Larissa, Greece

Abstract

The aim of this work is the comparative assessment of the environmental impact caused by the conventional and two alternative methods of cultivation of the ω-3 fat-rich microalgae *Schizochytrium limacinum* SR 21 for biomass production. In alternative cultivation methods, conventional nutrient sources have been replaced by liquid wastes from biodiesel industries and from effluents from anaerobic fermentation of agricultural products for biogas production. 18 categories of environmental impacts were assessed using an equal number of indicators and the results showed that it is possible to reduce the environmental impact of microalgae cultivation with appropriate interventions in the nutrients used.

Keywords: Microalgae, Cultivation Methods, Environmental Impacts

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η καλλιέργεια μικροοργανισμών με υψηλή βιοσυνθετική ικανότητα σε πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (PolyUnsaturated Fatty Acids, PUFA), ιδιαίτερα εκείνων με μεγάλες ανθρακικές αλυσίδες όπως το εικοσιπενταενικό οξύ (EPA: 20:5n-3) και το δοκοσαεξανικό οξύ (DHA: 22:6n-3), έχει προσελκύσει τα τελευταία 20 χρόνια το ερευνητικό και επιχειρηματικό ενδιαφέρον. Τα θαλάσσια είδη μικροφυκών των γενών *Nannochloropsis* και *Schizochytrium* είναι παραδείγματα τέτοιων μονοκύτταρων οργανισμών του θαλάσσιου περιβάλλοντος που μπορούν να βιοσυνθέσουν πολύτιμα για τον άνθρωπο συστατικά όπως τα PUFA, να καλλιεργηθούν εύκολα σε διάφορα «φθηνά» υγρά θρεπτικά μέσα και να παράγουν αυτοτροφικά ή ετεροτροφικά σε μικρό χρονικό διάστημα μεγάλες ποσότητες βιομάζας.

Τα είδη του γένους *Nannochloropsis*, όπως τα *N.occulata*, *N. salina* και *N.gaditana*, ανήκουν στους φωτοσυνθέτοντες μικροοργανισμούς, συνεπώς απαραίτητη προϋπόθεση για την ανάπτυξη τους είναι το φως και ο άνθρακας που προσλαμβάνουν μέσω του διοξειδίου του άνθρακα από το υδάτινο περιβάλλον τους. Πέραν της ανάπτυξης και αύξησης τους ως φωτοαυτότροφοι μικροοργανισμοί, έχουν τη δυνατότητα να αναπτύσσονται και να αυξάνονται μικτοτροφικά (φωτοαυτοτροφικά κατά τη διάρκεια της ημέρας και ετεροτροφικά κατά τη διάρκεια της νύχτας). Η παραγωγή των συγκεκριμένων μικροφυκών σε EPA αγγίζει το 20-23 % επι των ολικών λιπών. Αντίθετα, τα είδη του γένους *Schizochytrium* (*Aurantiochytrium*), όπως το είδος *S. limacinum*, αναπτύσσονται αποκλειστικά ετεροτροφικά, δηλαδή απουσία φωτός μεταβολίζοντας πηγές οργανικού άνθρακα από το υδάτινο περιβάλλον τους. Στα συγκεκριμένα είδη μικροφυκών, το DHA αποτελεί το 35-40 % των ολικών λιπών που παράγουν (Yokochi et al., 1998). Τα είδη του γένους *Schizochytrium* έχουν την ικανότητα να μεταβολίζουν ένα ευρύ φάσμα υδατανθράκων και άλλων πηγών, μπορούν ν' αναπτυχθούν σε διάφορες φυσικοχημικές συνθήκες και να προσαρμοστούν σε στρατηγικές καλλιέργειας που αυξάνουν την παραγωγή ολικών λιπών και DHA (Huang et al., 2012).

Για την παραγωγή υψηλών συγκεντρώσεων σε λίπη, πάγια τακτική αποτελεί η σύνθεση ενός θρεπτικού διαλύματος (ΘΔ) πλούσιου σε αζωτούχες ενώσεις που θα εξαντληθεί κατά την διάρκεια της καλλιέργειας, ενώ η πηγή οργανικού άνθρακα θα βρίσκεται σε επάρκεια και θα αφομοιώνεται ως το τέλος της παραγωγικής διαδικασίας (Ratledge and Wynn, 2002).

Οι μικροοργανισμοί αυτοί καλλιεργούνται ήδη σε σύγχρονες μονάδες παραγωγής χρησιμοποιώντας συμβατικά θρεπτικά μέσα ανάπτυξης. Στην καλλιέργεια των ειδών του γένους *Schizochytrium*, ως πηγή άνθρακα χρησιμοποιείται η γλυκόζη ή η καθαρή γλυκερόλη και ως πηγές αζώτου οργανικό άζωτο με τη μορφή εκχυλίσματος μαγιάς και πεπτόνης, πηγές θρεπτικών που οδηγούν στην παραγωγή μεγάλης ποσότητας βιομάζας, είναι όμως ακριβές ως εισροές, με αποτέλεσμα και το προϊόν που παράγεται να είναι αντίστοιχα ακριβό (Wang et al., 2018). Πέραν των συμβατικών πηγών θρεπτικών, έχουν αξιολογηθεί διάφορες φθηνές εναλλακτικές πηγές θρεπτικών, με το μεγαλύτερο ενδιαφέρον να επικεντρώνεται στη χρήση παραπροϊόντων της βιομηχανίας των βιοκαυσίμων ή της αγροτικής παραγωγής, πλούσιων σε θρεπτικά (π.χ για το γένος *Schizochytrium* βλέπε Xu et al., 2020), υποστηρίζοντας έτσι και την αειφόρο διαχείριση αυτών των αποβλήτων.

Οι Bouras et al. (2020) αξιολόγησαν τη δυνατότητα ετεροτροφικής καλλιέργειας του μικροφύκου *Schizochytrium limacinum* SR 21 και μελέτησαν τη δυνατότητα καλλιέργειάς του με πηγές θρεπτικών τα υγρά απόβλητα της βιομηχανίας βιοκαυσίμων και συγκεκριμένα, με αντικατάσταση της πηγής άνθρακα με ακατέργαστη γλυκερόλη και αντικατάσταση των συμβατικών οργανικών πηγών αζώτου (εκχύλισμα μαγιάς και πεπτόνης) και μικροστοιχείων από εκροές βιοαερίου (8-48% v/v) με ρύθμιση της τελικής

συγκέντρωσης αζώτου με ανόργανο άζωτο (χλωριούχο αμμώνιο). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ταυτόχρονη χρήση των δύο αποβλήτων της βιομηχανίας βιοκαυσίμων μπορεί να λειτουργήσει ως πηγή θρεπτικών για την παραγωγή υψηλής βιομάζας και ολικών λιπών στην καλλιέργεια του μικροφύκου και ότι τα συμβατικά οργανικά θρεπτικά υψηλού κόστους που χρησιμοποιούνται στην συμβατική καλλιέργεια του μικροφύκου μπορούν να αντικατασταθούν από τα πλούσια σε θρεπτικά υγρά απόβλητα της βιομηχανίας βιοκαυσίμων χωρίς απώλειες σε βιομάζα.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η αποτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκαλούνται από τρεις μεθόδους καλλιέργειας του μικροφύκου *Schizochytrium limacinum* SR 21 που περιγράφονται παρακάτω, για την παραγωγή βιομάζας.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων

Για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων καθεμιάς από τις τρεις μεθόδους καλλιέργειας που εφαρμόστηκαν σε εργαστηριακή κλίμακα, ακολουθήθηκαν τα εξής βήματα: (α) καταγράφηκαν τα στάδια καλλιέργειας των μικροφυκών, (β) καταγράφηκαν οι εισροές των υλικών σε καθένα από τα στάδια με τις αντίστοιχες ποσότητές τους και προσδιορίστηκαν οι συνολικές ποσότητες των υλικών που απαιτούνται για την παραγωγή 1.000 λίτρων ΘΔ, (γ) καταγράφηκε το είδος του ηλεκτρομηχανολογικού (Η/Μ) εξοπλισμού, η ισχύς και ο χρόνος λειτουργίας καθενός από τα μηχανήματα που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε στάδιο καλλιέργειας και προσδιορίστηκε η συνολική ηλεκτρική ενέργεια (kWh) που καταναλώνεται για την παραγωγή 1.000 λίτρων ΘΔ, (δ) συλλέχθηκαν οι τιμές των δεικτών αποτίμησης ανά μονάδα μάζας (Kg) εισροής κάθε υλικού, (ε) έγιναν οι σχετικοί υπολογισμοί για την παραγωγή 1.000 λίτρων ΘΔ και κατασκευαστήκαν σχετικές γραφικές παραστάσεις.

2.2. Καλλιέργειες που εφαρμόστηκαν

Οι τρεις μέθοδοι καλλιέργειας που εφαρμόστηκαν ήταν α) η συμβατική, στην οποία ως πηγή αζώτου χρησιμοποιήθηκε οργανικό άζωτο από εκχύλισμα μαγιάς και πεπτόνης, β) η 1^η εναλλακτική, στην οποία ως πηγή αζώτου χρησιμοποιήθηκε ανόργανο άζωτο (χλωριούχο αμμώνιο) και γ) η 2^η εναλλακτική, στην οποία το θαλασσινό νερό και τα μικροστοιχεία αντικαταστάθηκαν με εκροές βιοαερίου (8 – 48% v/v) με προσθήκη ανόργανου άζωτου (χλωριούχο αμμώνιο) για τη ρύθμιση της τελικής συγκέντρωσης αζώτου στο θρεπτικό. Και στις τρεις αυτές μεθόδους καλλιέργειας ως πηγή άνθρακα χρησιμοποιήθηκε ακατέργαστη γλυκερόλη. Η προετοιμασία του θρεπτικού μέσου ανάπτυξης των μικροοργανισμών (τεχνητό θαλασσινό νερό, εμπλουτισμός με θρεπτικά και ιχνοστοιχεία, πηγές άνθρακα και αζώτου), η διαχείριση του μικροφύκου και τα στάδια καλλιέργειάς του (ενεργοποίηση κυττάρων, ανάπτυξη μέσου καλλιέργειας, πειραματική καλλιέργεια), περιγράφονται αναλυτικά από τους Bouras et al. (2020).

2.3. Εισροές υλικών

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται τα υλικά και οι συνολικές ποσότητές τους που απαιτούνται σε κάθε μέθοδο καλλιέργειας μικροφυκών που αποτιμήθηκε για την παραγωγή 1.000 λίτρων ΘΔ. Τα 1000 λίτρα ΘΔ που παράγονται με τη συμβατική, την 1^η εναλλακτική, και τη 2^η εναλλακτική μέθοδο καλλιέργειας (ΣΜΚ, 1^η ΕΜΚ, 2^η ΕΜΚ, αντίστοιχα), περιέχουν 17, 32, και 49 Kg ξηρής βιομάζας (ΞΒ) αντίστοιχα.

Πίνακας 1. Υλικά και ποσότητές τους (σε g) που απαιτούνται στα στάδια των μεθόδων καλλιέργειας μικροφυκών που αποτιμήθηκαν για την παραγωγή 1.000 λίτρων ΘΔ.

Υλικό	ΣΜΚ	1η ΕΜΚ	2η ΕΜΚ
Ακατέργαστη Γλυκερίνη			
Πειραματική καλλιέργεια		120000	
Σύνολο		120000	
Θαλασσινά Άλατα			
NaCl – Mg – K – Ca			
Ενεργοποίηση κυττάρων	1,5 – 0,06 – 0,0371 – 0,0165		
Ανάπτυξη εμβολίου καλλιέργειας	2000 – 80 – 49,4 – 22		
Πειραματική καλλιέργεια	15950 – 638 – 393,9 - 175,4	8346 – 333,8 – 206,1 – 91,8	
Σύνολο	17952 – 718 – 443 – 198	10348 – 414 – 256 – 114	
Απεσταγμένο Νερό (d = 1 g·ml⁻¹)			
Ενεργοποίηση κυττάρων	50		
Ανάπτυξη εμβολίου καλλιέργειας	100000		
Παραγωγή διαλύματος θρεπτικών	4905		
Πειραματική καλλιέργεια	797500	417300	
Σύνολο	902455	517350	
Ιχνοστοιχεία			
ZnSO ₄ · 7 H ₂ O – MnSO ₄ · 4 H ₂ O – H ₃ BO ₃ – Co(NO ₃) ₂ · 6 H ₂ O – Na ₂ MoO ₄ · 2 H ₂ O – CuSO ₄ · 5 H ₂ O – FeSO ₄ · 7 H ₂ O – EDTA	0,005 – 0,01 – 0,05 – 0,005 – 0,005 – 0,000025 – 3,5 – 4		
Πηγή Αζώτου			
Εκχύλισμα Μαγιάς			
Ενεργοποίηση κυττάρων	0,05		
Ανάπτυξη εμβολίου καλλιέργειας	500		
Πειραματική καλλιέργεια	35000		
Σύνολο	35500	500	
Πεπτόνη			
Ενεργοποίηση κυττάρων	0,05		
Ανάπτυξη εμβολίου καλλιέργειας	200		
Πειραματική καλλιέργεια	35000		
Σύνολο	35200	200	
Χλωριούχο Αμμώνιο			
Πειραματική καλλιέργεια		31500	
Σύνολο		31500	
Πηγή Άνθρακα			
Γλυκόζη			
Ενεργοποίηση κυττάρων	0,25		
Ανάπτυξη εμβολίου καλλιέργειας	5000		
Σύνολο	5000		
Άλατα Μαγνησίου και Καλίου			
MgSO ₄ – KH ₂ PO ₄			
Ανάπτυξη εμβολίου καλλιέργειας	70 – 150		
Σύνολο	70 – 150		
Απόβλητα Αναερόβιας Χώνευσης			
Πειραματική καλλιέργεια		385200	
Σύνολο		385200	

Οι διαφορές στις εισροές μεταξύ των μεθόδων καλλιέργειας ήταν οι εξής: (α) Στην 1^η ΕΜΚ σε σχέση με τη ΣΜΚ, χρησιμοποιήθηκε επιπλέον χλωριούχο αμμώνιο και μικρότερες ποσότητες εκχυλίσματος μαγιάς και πεπτόνης, (β) στη 2^η ΕΜΚ σε σχέση με τη ΣΜΚ, δε χρησιμοποιήθηκαν ιχνοστοιχεία, ενώ χρησιμοποιήθηκαν απόβλητα αναερόβιας χώνευσης και χλωριούχο αμμώνιο, καθώς και μικρότερες ποσότητες θαλασσινών αλάτων, εκχυλίσματος μαγιάς και πεπτόνης και απεσταγμένου νερού, (γ) στη 2^η ΕΜΚ σε σχέση με την 1^η ΕΜΚ, χρησιμοποιήθηκαν μικρότερες ποσότητες θαλασσινών αλάτων και απεσταγμένου νερού και επιπλέον ποσότητα αποβλήτων αναερόβιας χώνευσης, ενώ δε χρησιμοποιήθηκαν ιχνοστοιχεία.

2.4. Η/Μ εξοπλισμός

Στον Πίνακα 2 παρουσιάζεται ο Η/Μ εξοπλισμός και τα στοιχεία λειτουργίας του που χρησιμοποιήθηκε στα στάδια των μεθόδων καλλιέργειας. Ο εξοπλισμός, ο χρόνος λειτουργίας των συσκευών κι επομένως και η συνολική ενέργεια που καταναλώθηκε από τον εξοπλισμό, ήταν κοινά στοιχεία και για τις τρεις μεθόδους καλλιέργειας που μελετήθηκαν. Για το λόγο αυτό, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας δεν λήφθηκε υπόψη στη συγκριτική αποτίμηση των μεθόδων καλλιέργειας.

Πίνακας 2. Η/Μ εξοπλισμός και στοιχεία λειτουργίας του που απαιτείται στις μεθόδους καλλιέργειας μικροφυκών που αποτιμήθηκαν για την παραγωγή 1.000 λίτρων ΘΔ.

Συσκευή	Ονομαστική ισχύς (KW)	Συνολικός χρόνος λειτουργίας (h)	Συνολική ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται (KWh)
Συσκευή εκκόλαψης	1	480	480
Μοτέρ ανάδευσης	0,09	336	30,24
Αντλία αέρα μεγάλης κλίμακας	2,6	336	873,6
Συσκευή αποστείρωσης	6	1,39	8,34

2.5. Κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων που αποτιμήθηκαν και σχετικοί δείκτες αποτίμησης

Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται οι κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων (ΚΠΕ) που αποτιμήθηκαν για τις μεθόδους καλλιέργειας μικροφυκών που μελετήθηκαν, μαζί με το δείκτη που χρησιμοποιήθηκε για την αποτίμηση κάθε κατηγορίας. Συνολικά υπολογίστηκαν 18 δείκτες προκειμένου να αποτιμηθούν ισάριθμες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Οι τιμές των δεικτών αποτίμησης των 18 ΚΠΕ ανά μονάδα εισροής κάθε υλικού (Kg) που χρησιμοποιήθηκε στις μεθόδους καλλιέργειας μικροφυκών, αναφέρονται σε όλη την αλυσίδα τροφοδοσίας των εισροών μέχρι και την τοποθεσία ανάπτυξης των καλλιεργειών και ελήφθησαν χρησιμοποιώντας σχετικά σύνολα δεδομένων της βάσης Ecoinvent v. 3.4 και εφαρμόζοντας τη μεθοδολογία αποτίμησης επιπτώσεων κύκλου ζωής ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.02, όπως αυτά είναι διαθέσιμα στο λογισμικό SimaPro (έκδοση 8.5.2.0 PhD) (Pré, 2017).

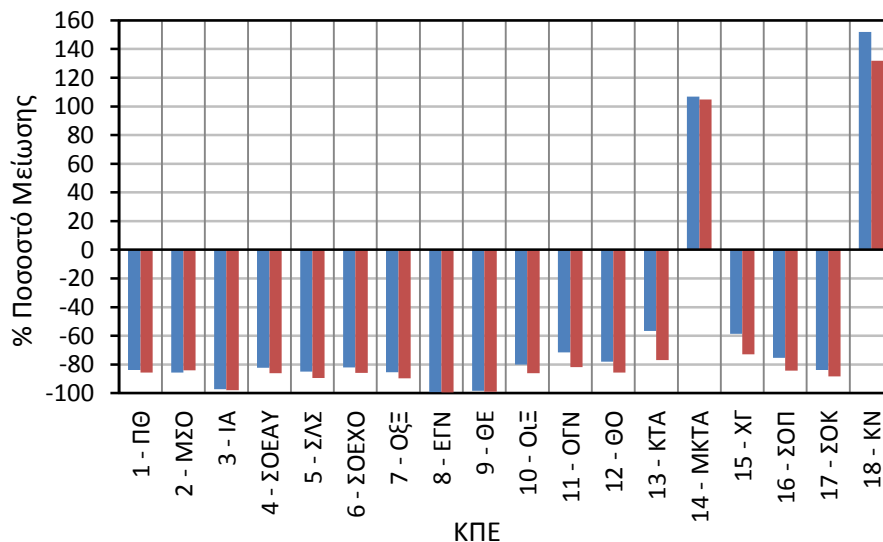
Παραπλήσια μεθοδολογία αποτίμησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων καλλιέργειας μικροφυκών έχει εφαρμοστεί και σε άλλες εργασίες που έχουν δημοσιευθεί (ενδεικτικά: Branco-Vieira et al., 2020; Seghetta et al., 2017).

Πίνακας 3. ΚΠΕ και δείκτες αποτίμησής τους. DCB: Διχλωροβενζόλιο

α/α	ΚΠΕ	Δείκτης
1	Παγκόσμια θέρμανση (ΠΘ) – Global warming	Kg CO ₂ eq
2	Μείωση στρατοσφαιρικού όζοντος (ΜΣΟ) – Stratospheric ozone depletion	Kg CFC11 eq
3	Ιονίζουσα ακτινοβολία (ΙΑ) – Ionizing radiation	KBq Co-60 eq
4	Σχηματισμός όζοντος, επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία (ΣΟΕΑΥ) – Ozone formation, impacts on human health	Kg NO _x eq
5	Σχηματισμός λεπτόκοκκων σωματιδίων (ΣΛΣ) – Fine particulate matter formation	Kg PM _{2.5} eq
6	Σχηματισμός όζοντος, επιπτώσεις στα χερσαία οικοσυστήματα (ΣΟΕΧΟ) – Ozone formation, impacts on terrestrial ecosystems)	Kg NO _x eq
7	Οξίνιση ξηράς (ΟΞ) – Terrestrial acidification	Kg SO ₂ eq
8	Ευτροφισμός γλυκού νερού (ΕΓΝ) – Freshwater eutrophication	Kg P eq
9	Θαλάσσιος ευτροφισμός (ΘΕ) – Marine eutrophication	Kg N eq
10	Οικοτοξικότητα ξηράς (ΟιΞ) – Terrestrial ecotoxicity	Kg 1,4-DCB ¹ eq
11	Οικοτοξικότητα γλυκού νερού (ΟΓΝ) – Freshwater ecotoxicity	Kg 1,4-DCB eq
12	Θαλάσσια οικοτοξικότητα (ΘΟ) – Marine ecotoxicity	Kg 1,4-DCB eq
13	Καρκινογόνος τοξικότητα στον άνθρωπο (ΚΤΑ) – Human carcinogenic toxicity	Kg 1,4-DCB eq
14	Μη καρκινογόνος τοξικότητα στον άνθρωπο (ΜΚΤΑ) – Human non-carcinogenic toxicity	Kg 1,4-DCB eq
15	Χρήση γης (ΧΓ) – Land use	m ² a crop eq
16	Σπανιότητα ορυκτών πόρων (ΣΟΠ) – Mineral resource scarcity	kg Cu eq
17	Σπανιότητα ορυκτών καυσίμων (ΣΟΚ) – Fossil resource scarcity	kg oil eq
18	Κατανάλωση νερού (ΚΝ) – Water consumption	m ³

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται το % ποσοστό μείωσης των δεικτών αποτίμησης των ΚΠΕ ανά Kg παραγόμενης ΞΒ που εκτιμήθηκε για την 1^η και τη 2^η ΕΜΚ σε σύγκριση με τη ΣΜΚ.

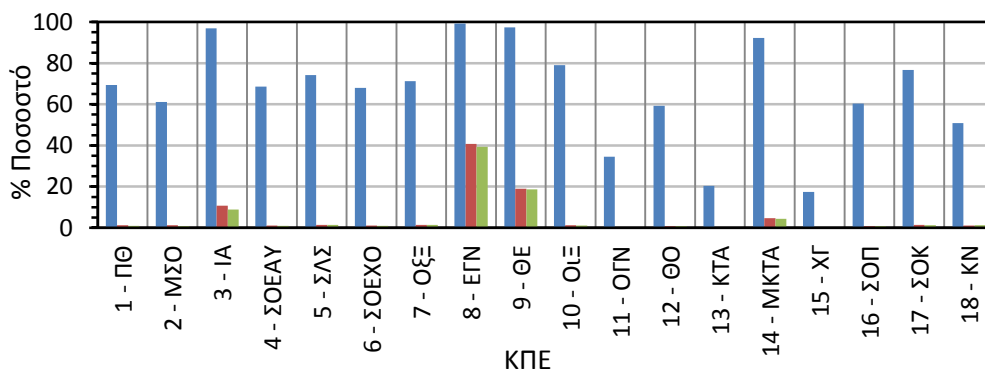


Σχήμα 1. % ποσοστό μείωσης των δεικτών αποτίμησης των ΚΠΕ ανά Kg παραγόμενης ΞΒ. Μπλε μπάρες: 1^η ΕΜΚ vs ΣΜΚ – Κόκκινες μπάρες: 2^η ΕΜΚ vs ΣΜΚ.

Από το Σχήμα 1 προκύπτει ότι στις 16 από τις 18 ΚΠΕ παρατηρήθηκε μεγάλη μείωση των τιμών των δεικτών αποτίμησης κατά την εφαρμογή της 1^{ης} και της 2^{ης} ΕΜΚ σε σχέση με τις

τιμές που παρατηρήθηκαν κατά την εφαρμογή της ΣΜΚ. Η μείωση αυτή κυμάνθηκε από 57% έως 99% κατά την εφαρμογή της 1^{ης} ΕΜΚ και από 73% έως 100% κατά την εφαρμογή της 2^{ης} ΕΜΚ. Από το Σχήμα 1 προκύπτει ακόμη ότι στις 17 από τις 18 ΚΠΕ παρατηρήθηκαν ελαφρώς καλύτερες τιμές στους δείκτες αποτίμησης κατά την εφαρμογή της 2^{ης} ΕΜΚ σε σχέση με τις τιμές που παρατηρήθηκαν κατά την εφαρμογή της 1^{ης} ΕΜΚ. Η συνεισφορά των θαλασσινών αλάτων, του απεσταγμένου νερού και των θρεπτικών, στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκαλούνται από την εφαρμογή της ΣΜΚ δεν ήταν μεγαλύτερες από 12%, 0,4%, και 0,01%, αντίστοιχα. Αναμενόμενη εξαίρεση αποτέλεσε η επίδραση της χρήσης του απεσταγμένου νερού στην κατανάλωση του νερού, η οποία εκτιμήθηκε ίση με 15,4%.

Στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται το % ποσοστό συνεισφοράς της πεπτόνης στις τιμές των δεικτών αποτίμησης των ΚΠΕ ανά Kg παραγόμενης ΞΒ κατά την εφαρμογή των τριών μεθόδων καλλιέργειας. Από το Σχήμα 2 παρατηρεί κανείς ότι η πεπτόνη είναι υπεύθυνη για το μεγαλύτερο μέρος των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκαλούνται κατά την εφαρμογή της ΣΜΚ, με τη συνεισφορά της στις τιμές των δεικτών αποτίμησης να κυμαίνεται από 17% έως 99%. Από το Σχήμα 2 προκύπτει επίσης ότι η χρήση ελάχιστης πεπτόνης κατά την εφαρμογή της 1^{ης} και της 2^{ης} ΕΜΚ (0,6% σε σχέση με την ποσότητα που χρησιμοποιήθηκε κατά την εφαρμογή της ΣΜΚ), οδήγησε σε μεγάλη μείωση των τιμών των δεικτών αποτίμησης των ΚΠΕ. Βέβαια, από το Σχήμα 2 παρατηρεί κανείς ότι ακόμη και αυτή η μικρή ποσότητα πεπτόνης είχε αξιόλογη συνεισφορά στον ευτροφισμό.



Σχήμα 2. % ποσοστό συνεισφοράς της πεπτόνης στις τιμές των δεικτών αποτίμησης των ΚΠΕ ανά Kg παραγόμενης ΞΒ. Μπλε, κόκκινες, πράσινες μπάρες: ΣΜΚ, 1η ΕΜΚ, 2η ΕΜΚ, αντίστοιχα.

Το % ποσοστό συνεισφοράς του χλωριούχου αμμωνίου στις τιμές των δεικτών αποτίμησης των ΚΠΕ ανά Kg παραγόμενης ΞΒ κατά την εφαρμογή της 1^{ης} και της 2^{ης} ΕΜΚ παρέμεινε σχεδόν το ίδιο κατά την εφαρμογή των δύο αυτών μεθόδων καλλιέργειας. Αξίζει βέβαια να παρατηρήσει κανείς ότι η μέγιστη τιμή αυτής της συνεισφοράς ξεπέρασε το 60%.

Το % ποσοστό συνεισφοράς των αποβλήτων αναερόβιας χώνευσης στις τιμές των δεικτών αποτίμησης των ΚΠΕ ανά Kg παραγόμενης ΞΒ κατά την εφαρμογή της 2^{ης} ΕΜΚ, κυμάνθηκε από 0% έως 41%. Χρειάζεται εδώ να τονιστεί ότι συνολικά η χρήση αποβλήτων αναερόβιας χώνευσης οδηγεί σε περαιτέρω μικρότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, καθώς τα απόβλητα αυτά δεν αποτίθενται στο περιβάλλον στις μονάδες αναερόβιας χώνευσης, αλλά επαναχρησιμοποιούνται στο πλαίσιο των αρχών της κυκλικής οικονομίας.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Υπάρχει η δυνατότητα μείωσης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της καλλιέργειας του μικροφύκου *Schizochytrium limacinum* SR 21 με κατάλληλες παρεμβάσεις στα

θρεπτικά υλικά που χρησιμοποιούνται. Αν και τα αποτελέσματα της εργασίας αναφέρονται σε πειραματική κλίμακα, αποτελούν ιδιαίτερα θετική ένδειξη για αντίστοιχα συμπεράσματα σε μεγαλύτερες κλίμακες. Ωστόσο, αυτό απομένει να επιβεβαιωθεί με επιπλέον αντίστοιχη έρευνα στις κλίμακες αυτές.

- Η 2^η εναλλακτική μέθοδος (EMK) καλλιέργειας είναι αυτή που οδήγησε στη μεγαλύτερη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Η μείωση αυτή θα μπορούσε να αποδοθεί κυρίως στη μείωση της ποσότητας της πεπτόνης που χρησιμοποιήθηκε και στην αντικατάστασή της από το χλωριούχο αμμώνιο για να συμπληρωθεί η συγκέντρωση του αζώτου στη βέλτιστη συγκέντρωση.

- Η χρήση αποβλήτων αναερόβιας χώνευσης κατά την εφαρμογή της 2^{ης} EMK, συνέβαλε στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε σχέση με αυτές που προκαλούνται κατά την εφαρμογή της 1^{ης} EMK. Στο πλαίσιο της κυκλικής οικονομίας, η μείωση αυτή εκτιμάται ότι είναι μεγαλύτερη, καθώς τα απόβλητα αναερόβιας χώνευσης επαναχρησιμοποιούνται και δεν αποτίθενται στο περιβάλλον.

5. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η εργασία υλοποιήθηκε στο πλαίσιο της Δράσης ΕΡΕΥΝΩ – ΔΗΜΙΟΥΡΓΩ - ΚΑΙΝΟΤΟΜΩ και συγχρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση και εθνικούς πόρους μέσω του Ε.Π. Ανταγωνιστικότητα, Επιχειρηματικότητα & Καινοτομία (ΕΠΑνεΚ) (κωδικός έργου:Τ1ΕΔΚ-01580).

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Bouras, S., Katsoulas, N., Antoniadis, D. and Karapanagiotidis, I.T., 2020. *Use of Biofuel Industry Wastes as Alternative Nutrient Sources for DHA-Yielding Schizochytrium limacinum Production*. Applied Science, 10(12), 4398.
- Branco-Vieira, M., Costa, D.M.B., Mata, T.M., Martins, A.A., Freitas, M.A.V. and Caetano, N.S., 2020. *Environmental assessment of industrial production of microalgal biodiesel in central-south Chile*. Journal of Cleaner Production, 266, 121756.
- Huang, T.Y., Lu, W.C. and Chu, I.M., 2012. *A fermentation strategy for producing docosahexaenoic acid in Aurantiochytrium limacinum SR21 and increasing C22: 6 proportions in total fatty acid*. Bioresour. Technology, 123, 8–14.
- Pré, 2017. Simapro [WWW Document]. URL <https://simapro.com>
- Ratledge, C. and Wynn, J.P., 2002. *The Biochemistry and Molecular Biology of Lipid Accumulation in Oleaginous Microorganisms*. Advances in Applied Microbiology, 51, 1-51.
- Seghetta, M., Romeo, D., D'Este, M., Alvarado-Morales, M., Angelidaki, I., Bastianoni, S. and Thomsen, M., 2017. *Seaweed as innovative feedstock for energy and feed – Evaluating the impacts through a Life Cycle Assessment*. Journal of Cleaner Production, 150, 1–15.
- Wang, K., Sun, T., Cui, J., Liu, L., Bi, Y., Pei, G., Chen, L. and Zhang, W., 2018. *Screening of chemical modulators for lipid accumulation in Schizochytrium sp. S31*. Bioresour. Technology, 260, 124–129.
- Xu, X., Huang, C., Xu, Z., Xu, H., Wang, Z. and Yu, X., 2020. *The strategies to reduce cost and improve productivity in DHA production by Aurantiochytrium sp.: from biochemical to genetic respects*. Applied Microbiology and Biotechnology, 104(22), 9433–9447.
- Yokochi, T., Honda, D., et al., 1998. *Optimization of docosahexaenoic acid production by Schizochytrium limacinum SR21*. Applied Microbiological Biotechnology, 49, 72–76.

DAM BREAK ANALYSIS USING HEC-RAS: THE CASE OF TRIANTAFYLLIA DAM IN NORTHERN GREECE

C. Mattas¹, P. Georgiou², D. Karpouzos², T. Tsapanos¹

¹School of Geology A.U.Th, Department of Geology, 54124, Thessaloniki

²School of Agriculture A.U.Th, Department of Hydraulics, Soil Science & Agricultural Engineering, 54124, Thessaloniki, e-mail: cmattas@geo.auth.gr

Abstract

Earth-fill (embankment) dams are the most common type of dams in Greece. They provide multi-purpose services focusing on irrigation, water supply, and energy production. Dams are expensive constructions that ensure food production, sustain farmers' income and cover a large percentage of drinking demands in urban areas. In this paper, the hypothetical failure of the Triantafyllia dam in Florina Prefecture, Greece, is presented. A two-dimensional model for the overtopping failure mode was created to simulate the dam break process and flood wave routing using HEC-RAS software. Modeling was based on digital elevation models, land use, and meteorological data. The Probable Maximum Flood Hydrograph value was estimated for the basin (270.6 m³/s) as well as the Maximum Discharge at the dam (9331.9 m³/s) and the outlet of the study area (1667.4 m³/s). The extent of the inundated area reveals that villages, infrastructures, and cultivated land will be affected in a case of a dam break.

Keywords: dam break, Triantafyllia, HEC-RAS, overtopping, flood.

ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΘΡΑΥΣΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ HEC-RAS: Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΙΑΣ ΣΤΗ ΒΟΡΕΙΑ ΕΛΛΑΔΑ

Χ. Μάττας¹, Π. Γεωργίου², Δ. Καρπούζος², Θ. Τσάπανος¹

¹Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Γεωλογίας, 54124 Θεσσαλονίκη

²Τμήμα Γεωπονίας Α.Π.Θ., Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής, 54124 Θεσσαλονίκη, e-mail: cmattas@geo.auth.gr

Περίληψη

Τα χωμάτινα φράγματα είναι ο πιο συνηθισμένος τύπος φραγμάτων στην Ελλάδα. Είναι κατασκευές πολλαπλού σκοπού με επίκεντρο την άρδευση, την ύδρευση και την παραγωγή ενέργειας. Τα φράγματα είναι ακριβές κατασκευές που διασφαλίζουν την παραγωγή τροφίμων, το εισόδημα των αγροτών και καλύπτουν μεγάλο ποσοστό των αναγκών σε πόσιμο νερό σε αστικές περιοχές. Στην παρούσα εργασία, διερευνάται η υποθετική αστοχία του φράγματος της Τριανταφυλλιάς στο Νομό Φλώρινας. Ένα δισδιάστατο μοντέλο για μια αστοχία τύπου υπερπήδησης δημιουργήθηκε για να προσομοιώσει τη διαδικασία θραύσης του φράγματος και την κίνηση του πλημμυρικού κύματος χρησιμοποιώντας το λογισμικό HEC-RAS. Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα αναγλύφου, χρήσεων γης και μετεωρολογικά δεδομένα. Υπολογίστηκε η τιμή της Πιθανής Μέγιστης Πλημμύρας από το υδρογράφημα (270,6 m³/s), η Μέγιστη Παροχή στο φράγμα (9331,9 m³/s) και η μέγιστη παροχή στην έξοδο της περιοχής μελέτης (1667,4 m³/s). Η έκταση της πλημμυρισμένης περιοχής δείχνει ότι οικισμοί, υποδομές και καλλιεργούμενη γη θα επηρεαστούν σε περίπτωση θραύσης του φράγματος.

Λέξεις κλειδιά: Θραύση φράγματος, Τριανταφυλλιά, HEC-RAS, υπερπήδηση, πλημμύρα

1. INTRODUCTION

A dam is a barrier constructed across the water flow in the riverbed of a stream or river. At the back of this barrier, a reservoir is formed that collects water. Dams are expensive constructions, and their reservoirs provide many different services. Water collected in the reservoir can be used for irrigation or drinking purposes, hydropower generation, flood prevention, debris control, and recreation. According to the definition of the International Commission on Large Dams (ICOLD), dams are identified as large if they are higher than 15m, measured from the deepest part of the foundation, or if they form a reservoir with a capacity over $3 \times 10^6 \text{m}^3$, and their height is greater than 5m. The Greek Committee on Large Dams has registered 135 dams operating in the Greek territory (2013). Most of them were constructed after the decade of the 1950s following the population growth and hence the increased drinking and irrigation demands, the improvement of the living standards of Greek society, and the need for power generation. The older studies conducted for dam construction focused only on the hydrological aspect. In recent decades, studies have needed to incorporate and assess environmental, ecological, economic, and societal values.

Dams have positive and negative effects on the environment, economy, and local societies. The dams trap sediments necessary to sustain processes and habitats downstream, such as river deltas, floodplains, and coastal wetlands, severely impacting agriculture productivity since the areas mentioned above usually constitute fertile cultivated land. The dam will block fish species migration bringing changes that affect their survival in the new habitat. The temperature and water quality will be altered due to the dam construction affecting the fauna and flora of the river system. The area's microclimate will change, and the evapotranspiration of water from the reservoir will be increased. New perspectives concerning the economic activities will appear for the inhabitants (agriculture, tourism, energy production, etc.). Dams often constitute a popular visiting destination to locals for leisure since they provide new recreational activities (fishing, sports, etc.), improving people's social lives.

On the other hand, people might migrate from their homes or lose their properties due to dam construction. In many cases, local societies were against the construction of a dam as they considered that their living status would be deteriorated. Their main objections concern the development of tourist activities that will disrupt their daily lives, will increase the noise from the operation of commercial stores, and the passage of vehicles (Tahmiscioğlu et al. 2007).

Since dam construction and operation are related to the economic development of an area, food and energy security, and human well-being, a probable dam failure will have tremendous impacts on societies. There have been many cases of dam failures in the past that caused huge economic costs and even loss of many human lives around the world. Well-known case studies are the failure of Malpasset dam in 1959 (Duffaut 2013; Goodman 2013) and Vajont Dam in 1963 that resulted in the death of many people and the complete damage of infrastructures, villages, and cultivations due to the flood wave that followed the dam collapse. Floods are natural disasters that affect many people globally every year. Flood is defined as a water flow with high discharge, in which water rises and drowning out its land around that are not usually underwater (Golshan et al. 2016). According to United Nations Office for Outer Space Affairs (<https://www.un-spider.org/flood>), a simple definition of flooding is: water where it is not wanted. Flooding phenomena due to dam failure can be attributed to many different causes such as 1) Earthquake; 2) Landslide; 3) Extreme storm; 4) Piping; 5) Equipment malfunction; 6) Structure damage; 7) Foundation failure; 8)

Sabotage (US Army Corps of Engineers, 1997). Most dam failures have been recorded on earthen dams most frequently after extreme rainfall events that resulted in heavy floods (Luo et al. 2012).

The two prevailing types of dam failure are overtopping and piping. Overtopping failures result from the erosive action of water on the embankment. Erosion is due to the uncontrolled flow of water over, around, and adjacent to the dam. Once erosion has begun during overtopping, it is almost impossible to stop (<https://damsafety.org/damowners/earth-dam-failures>). Piping failure occurs when seepage through a dam is not properly filtered, and soil particles continue to progress and form sinkholes in the dam (<https://damsafety.org/dam-failures>).

Risk assessment is a significant part of dam management plans nowadays and is part of the required studies for the approval of dam construction from the competent authorities. Dam break modeling and analysis are relatively new and are used to estimate the potential risks associated with a failure of a structure. This includes different elements such as: estimation of the dam breach parameters, estimation of the dam breach outflow hydrograph, spatial and temporal variation of flood depth, flood inundation extent, and severity (El-Naqa and Jaber 2018; Muda et al. 2021). Modeling is achieved through the coupling of Geographical Information Systems, Remote Sensing, and specific hydrologic software. The Hydrologic Engineering Center's River Analysis System (HEC-RAS), free software provided by the US Army Corps of Engineers (USACE), gained popularity among researchers and is often used in dam break studies. Selected references are provided as follows: El-Naqa et al. (2018), Shahrin and Ros (2020), Balaji and Kumar (2018), Psomiadis et al. (2021), Urzica et al. (2021).

This study is an attempt to investigate the hypothetical failure of the Triantafyllia dam in western Macedonia, Greece using HEC-RAS software along with GIS, DEM, and remote sensing images. The objective is to simulate the flood wave movement at the downstream area. The case of gradual overtopping failure is examined. The scope of this study is to compute within the flood zone: a) outflow hydrograph for the breach b) maximum water depth c) maximum velocity d) duration of flood and e) arrival time of the peak flow at the outlet. Based on the above information, inundation maps were derived allowing estimation of the extent of a potential damage and the respective management actions.

2. CASE STUDY DESCRIPTION

Florina watershed is located in the West Macedonia region in Greece, covering 863 Km². The catchment upstream of the Triantafyllia dam is developed within the Florina basin boundaries, as it is depicted in Figure 1.

The mean precipitation in the Florina basin is 870mm, and the mean temperature is equal to 11.34 °C. The Florina basin belongs to the Pelagonian geotectonic zone. The basin's mountainous area is occupied by carbonate and crystalline rocks (Kazakis and Voudouris, 2008). The lower parts consist of Neogene and Quaternary sediments. The Quaternary sediments are alluvial deposits and consist of alternations of sands, gravels, conglomerates, and clays, while the Neogene sediments consist of marls, sandstone, sands, and marly limestone (Figure 2).

The Papadia basin upstream of the dam covers an area of 19.18 km². The elevation ranges from 786.88 m to 1864.4 m, and the mean elevation is 1243.54 m. The mean slope is 33.39%. According to CORINE LAND COVER (2018), the basin is occupied by broad leaved

forest, agricultural land and natural vegetation, natural grasslands, and transitional woodland-shrub (Figure 3).

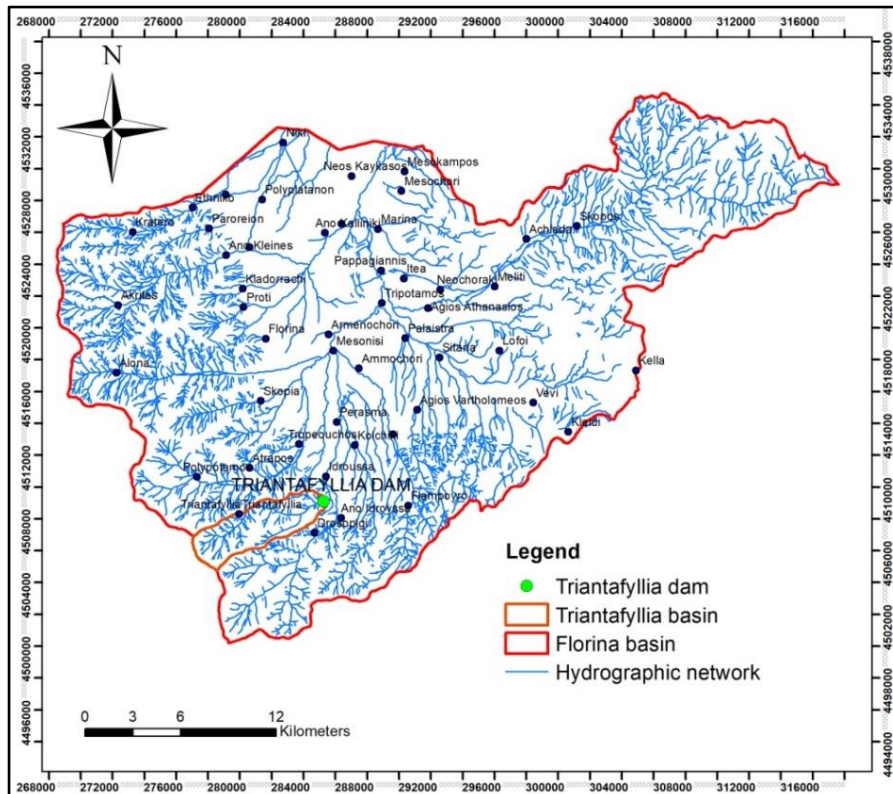


Figure 1. Florina and Triantafyllia drainage basins.

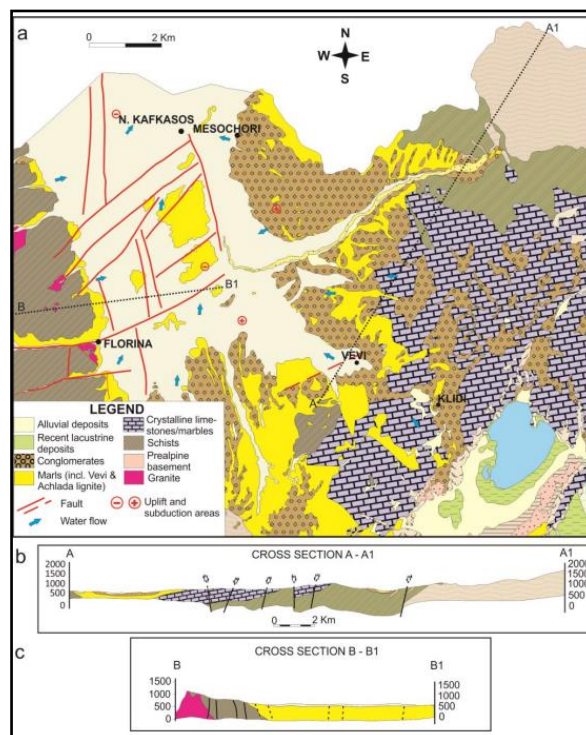


Figure 2. Geological map of the Florina drainage basin (Koukouzas et al. 2015).

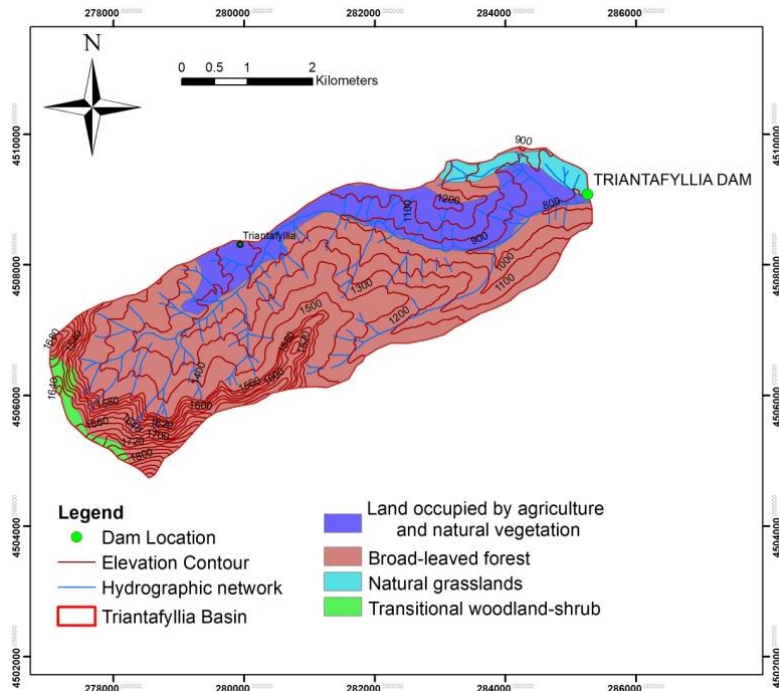
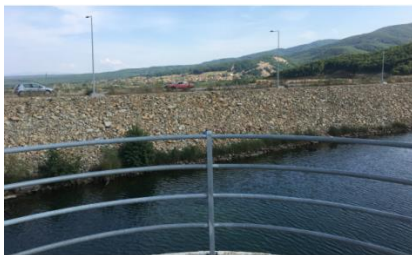


Figure 3. Triantafyllia basin land use (CORINE LAND COVER, 2018).

The Triantafyllia dam started its operation in 2016. It is an earth-fill dam with an impervious clay core, and it is constructed for irrigation and water supply purposes (Photo 1). The dam reservoir will irrigate an area of $45 \times 10^6 \text{ m}^2$. The main technical characteristics of the Triantafyllia dam and its spillway are shown in Table 1.



(a) View of the dam face from the reservoir



(b) View of the downstream dam face



(c) View of the dam spillway

Photo 1. View of the Triantafyllia dam.

Table 1. Triantafyllia dam technical characteristics.

Parameter	Value
Crest elevation (m)	+844
Crest length (m)	510
Crest width (m)	16
Maximum height of the dam from the foundation (m)	75
Volume of storage area at crest elevation ($\times 10^6 \text{ m}^3$)	13.23
Upstream dam face slope	2:1
Downstream dam face slope	1.8:1
Spillway maximum capacity (m^3/sec)	375
Spillway crest elevation (m)	+838
Spillway width (m)	31.5

3. MATERIALS AND METHODS

The HEC RAS 5.0.7 version was used for the dam breach modeling. In this case study, the 2D Flow simulation using unsteady flow routing and the Full Momentum (Saint Venant equations) computational method was used. The overtopping failure mode is investigated. The dam breach parameters were calculated by Froehlich (2008) equation, as follows:

$$B_{ave} = 0.27K_o V_w^{0.32} h_b^{0.04} \quad (1)$$

$$t_f = 63.2 \sqrt{\frac{V_w}{gh_b^2}} \quad (2)$$

where: B_{ave} = average breach width (meters), K_o = constant (1.3 for overtopping failures), V_w = reservoir volume at time of failure (cubic meters), h_b = height of the final breach (meters), g = gravitational acceleration (9.80665 meters per second squared) and t_f = breach formation time (seconds).

The HEC RAS 5.0.7 version requires the following data:

- Digital terrain of the area
- Land use (Manning roughness coefficient)
- The 2D grid flow area
- Storage area
- Storage area-2D flow area connection (dam)
- The geometry of the dam
- Breach structure geometry and characteristics
- Upstream Boundary Conditions (Probable Maximum Flood hydrograph)
- Downstream Boundary Conditions (normal depth)

The Digital Elevation Model (DEM) was obtained by the Hellenic Military Geographical Service (HMGS). The spatial resolution is 30m after digitization of contours (20m intervals) of the topographic diagrams (scale 1:5000). The Geographic Coordinate System is GCS_GGRS_1987 (Greek Grid). The digital land cover map for the area was derived from CORINE Land Cover Inventory (latest update 2018, available on <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>). The determination of Manning roughness coefficient for the 2D flow area was based on the land cover maps of Chow tables (1959) and on-site observations. The 2D grid flow and storage area were digitized based on the DEM, satellite images (ArcWorld Images), and field observation.

The Probable Maximum Flood (PMF) is the theoretically largest flood resulting from a combination of the most severe meteorological and hydrologic conditions that could conceivably occur in a given area and is mainly used as a security assessment for existing dams and other impounding structures. It is a design criterion for proposed similar hydraulic structures to avoid dam failures and catastrophic floods. In this study, the Probable Maximum Precipitation is estimated using precipitation data from the Florina meteorological station. It was the only station with long-term data and is also representative of the study area. The duration of maximum precipitation is 24 hours, and the number of annual values is 44 (time series from 1961 to 2004). The Probable Maximum Precipitation (PMP) is equal to 290.8 mm. The lag time of the unit hydrograph for the Triantafyllia catchment and the duration of the unit rainfall are given in Table 2. Figure 4 depicts the PMF of the Triantafyllia dam catchment that was used as input data in the model for the hydrologic simulation.

Table 2. Lag time of the unit hydrograph for the catchments and the duration of the unit rainfall

Catchment	Lagtime (L_g)	Duration of unitrainfall
Triantafyllias' dam	3.02	0.55

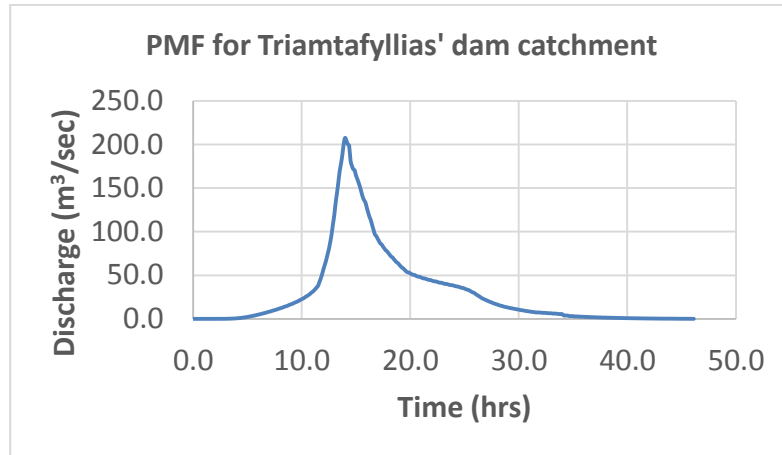


Figure 4. The PMF for the Triantafyllia's dam catchment.

The dam breach data used as input to the HEC-RAs software are presented in Table 3 while Figure 5 shows the overtopping geometry. The boundaries of the 2D flow area downstream of Triantafyllia dam are depicted in Figure 6. The upstream boundary condition is at the storage area of the dam and the downstream (outlet) at the Tripotamos river.

Table 3. Dam breach data for overtopping failure mode.

2D flow area cell size	25m×25m
Failure mode	Overtopping
Manning's n value	0.035
Storageareavolume	11.66x10 ⁶ m ³
Finalbottomwidth	31 m
Finalbottomelevation	+800 m
Weir coefficient for breach area	1.44
Breach formation time (gradual)	0.44 hrs
Trigger failure at water surface elevation (starting water surface)	+844 m
Normaldepth (slope)	0.05
Computational time step (gradual)	0.5 s
Duration of simulation	32:15 hrs
PeakProbableMaximumFlood	207.55 m ³ /s

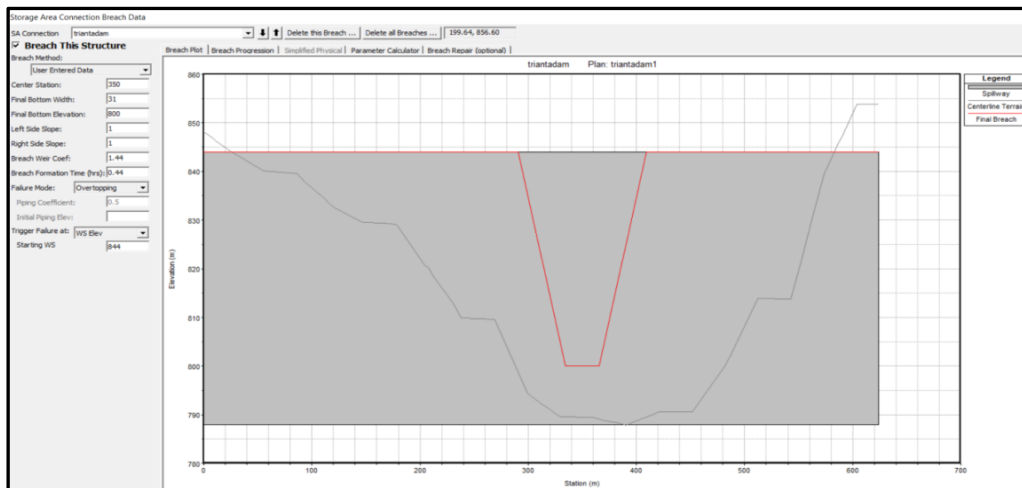


Figure 5. Triantafyllias' breach structure geometry (overtopping)

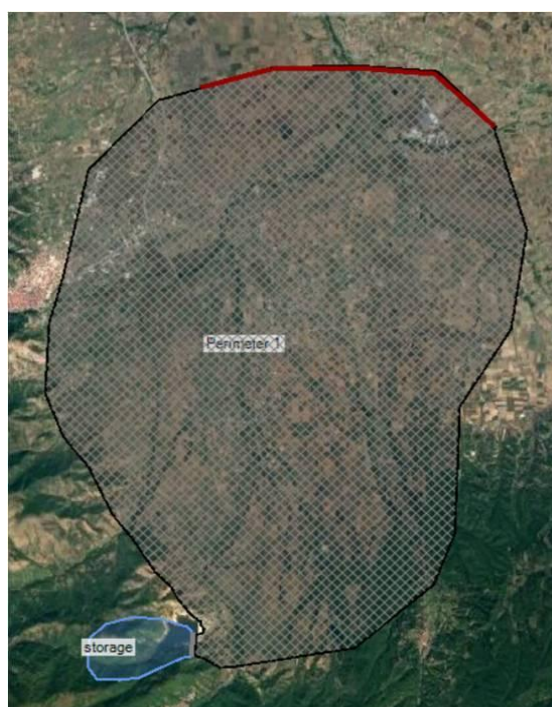


Figure 6. 2D flow grid downstream of the Triantafyllia dam.

4. RESULTS AND DISCUSSION

In the model elaboration, the spillway is considered blocked, and the water surface in the reservoir was set at the dam crest height (844 m). At the beginning of the failure, it is considered that the maximum value of Probable Maximum Flood hydrograph ($270.6 \text{ m}^3/\text{s}$) occurs as an inflow in the storage area. Based on these assumptions, the outcomes of the simulation are the following:

1. Maximum discharge on the dam breach structure is equal to $9331.9 \text{ m}^3/\text{s}$ and occurs 23 minutes after the beginning of failure
2. Maximum discharge on the outlet of the 2D flow area is equal to $1667.4 \text{ m}^3/\text{s}$ and occurs 113 minutes after the beginning of failure
3. Maximum Flood Water Depth is 16.2 m
4. Maximum Flood Water Velocity is 17 m/s

The extent of the flood area and spatial distribution of flood water depth is depicted in Figure 7. In Figure 8, the spatial distribution of flood water velocity is illustrated.

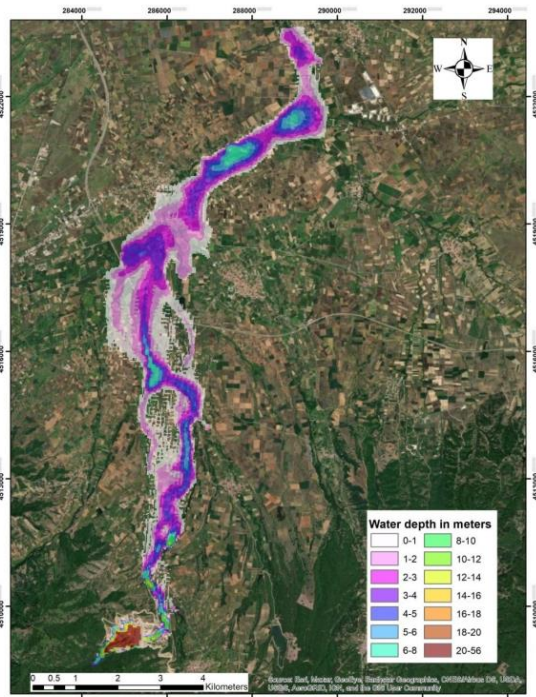


Figure 7. Maximum water depth-boundaries of inundated area

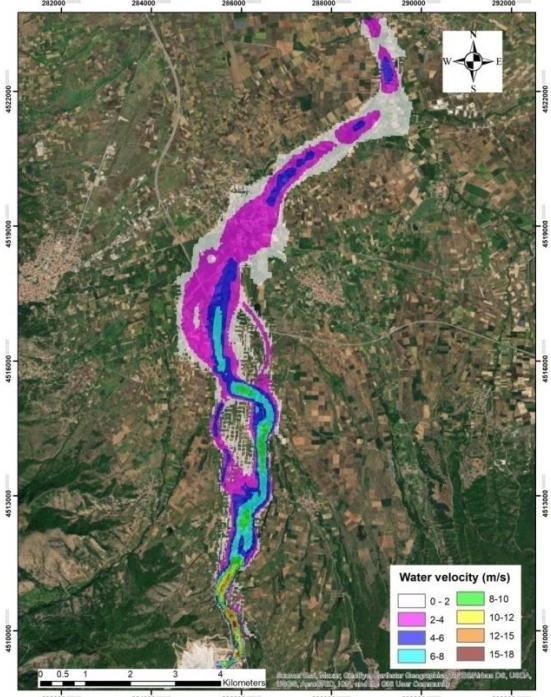


Figure 8. Maximum water velocity.

The extent of the inundated area is significant and will affect many villages, infrastructures, and cultivated land downstream from the dam. The distribution of the inundated area per land cover type is presented in Table 4. According to this table, approximately 17 km² will be inundated, and 94.91% of this area is cultivated land.

Table 4. Inundated land cover

LAND COVER	AREA (km ²)	AREA (%)
112: Discontinuous urban fabric	0.31	1.86
211: Non – irrigated arable land	12.24	73.25
242: Complex cultivation patterns	3.17	18.97
243: Land occupied by agriculture or natural vegetation	0.45	2.69
311: Broad – leaved forest	0.28	1.67
321: Pastures	0.26	1.56
Total	16.71	100

The areas that will be most damaged are those close to the main channel riverbed, where the maximum water depth and velocity occur. The competent authorities of the area should be prepared to manage such a crisis in case it appears since the economic cost will be significant and will affect many aspects of inhabitants' life. That means that precautionary measures (such as cleaning or widening of the riverbed, construction of protective dykes at the riverbanks, etc.) should be taken, and detailed evacuation plans should be developed.

One of the main parameters that is crucial for the effective application of such actions is that local society should be informed timely about the steps they should follow for the evacuation. All issues concerning overlapping of authorities due to bureaucracy must be solved in advance and the involved authorities must be aware of their specific role. Finally, the required infrastructures and the means for implementing the evacuation must be available by the time they will be needed.

5. CONCLUSIONS

It is very important for the environment, the society, and the economy of an area to evaluate the impacts of a probable dam failure. The need for risk assessment and creation of management plans has led to the use of specialized softwares (such as HEC-RAS) that simulates dam breach conditions and flood wave routing and has gained popularity over the years. However, the exact mechanisms that can cause dam failure and the flooding phenomena procedures cannot be predicted in detail. The simulation of such phenomena requires the knowledge of data and parameter values that are not always available or cannot be calculated. Despite the fact that many assumptions are required for the creation of the hydrologic and the dam breach model, the outcomes provide sufficient and reliable information for decision-makers, managers, and authorities to create plans to manage the crisis and avoid the disastrous impacts in case of a dam failure. In this study, the probable failure of the Triantafyllia dam in the Florina Prefecture is investigated. The worst-case scenario of an overtopping failure is examined. It assumes that the dam reservoir will be full of water, the spillway will be blocked, the dam will collapse from the foundation to the crest and the maximum flood discharge will arrive at the storage area when the failure begins. The model results showed that the maximum discharge on the dam ($9331.9 \text{ m}^3/\text{s}$) and the outlet ($1667.4 \text{ m}^3/\text{s}$) occur at 23 minutes and 113 minutes respectively, after the beginning of failure. That means that every minute is valuable for people and authorities to react as the maximum flood water height will be about 16.2 m, and the maximum water velocity equal to 17 m/s. Many villages and infrastructures will be threatened, and cultivated land will be inundated. The creation of management and evacuation plans is of major importance since it could prevent detrimental effects on economies and societies that are developed downstream of a dam area.

ACKNOWLEDGMENTS

This work is part of the project "Joint Cross Border Cooperation for Securing Societies against Natural and Man-Made Disasters (J-CROSS)" funded by Interreg IPA Cross border Cooperation Programme "Greece - Republic of North Macedonia 2014-2020".

REFERENCES

- Balaji, B., & Kumar, S. 2018. *Dam break analysis of Kalyani dam using HEC-RAS*. International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET), Volume 9, Issue 5, pp. 372–380. ISSN Print: 0976-6308 and ISSN Online: 0976-6316.
- Chow, V. T. 1959. *Open-channel hydraulics*. McGraw-Hill civil engineering series.
- Duffaut, P. 2013. *The Traps Behind the Failure of Malpasset Arch Dam, France, in 1959*. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 335-341.
- El-Naqa, A., & Jaber, M. 2018. *Floodplain analysis using ArcGIS, HEC-GeoRAS and HEC-RAS in Attarat Um Al-Ghudran oil shale concession area, Jordan*. J. Civil Environ Eng, 8(5), 1-11.

- Golshan M, Jahanshahi A, Afzali A 2016. *Flood hazard zoning using HECRAS in GIS environment and impact of Manning roughness coefficient changes on flood zones in Semi-arid climate*. Desert 21: 24-34.
- Goodman, R. 2013. *On the Failure of Malpasset Dam*. AEG Shlemon Specialty Conference: Dam Failures and Incidents. Denver: Association of Environmental and Engineering Geologists.
- Greek Committee on Large Dams 2013. *Large dams of Greece*. Copyright 2013 by Greek Committee on Large Dams.
- Kazakis, N. T., & Voudouris, K. S. 2008. *Hydrometeorological and Hydrogeological data of Florina basin, Florina prefecture, Western Macedonia region, Greece*. WATER-MAP Project, 22.
- Kilania, S., & Chahar, B. R. 2019. *A dam break analysis using HEC-RAS*. In *World Environmental and Water Resources Congress 2019: Hydraulics, Waterways, and Water Distribution Systems Analysis* (pp. 382-389). Reston, VA: American Society of Civil Engineers.
- Koukouzas, N., Tasianas, A., Gemeni, V., Alexopoulos, D., & Vasilatos, C. 2015. *Geological modelling for investigating CO₂ emissions in Florina Basin, Greece*. Open Geosciences, 1 (open-issue).
- Luo, Y., Chen, L., Xu, M., & Tong, X. 2012. *Review of dam-break research of earth-rock dam combining with dam safety management*. Procedia Engineering, 28b(2011), 382–388.
- Muda, R. S., Khidzir, A. B. M., & Amin, M. F. M. 2021. *Dam Break Flood Mapping Analysis and Impact Assessment*. In *Water Management and Sustainability in Asia*. Emerald Publishing Limited.
- Psomiadis, E., Tomanis, L., Kavvadias, A., Soulis, K. X., Charizopoulos, N., & Michas, S. 2021. *Potential dam breach analysis and flood wave risk assessment using HEC-RAS and remote sensing data: A multicriteria approach*. Water, 13(3), 364.
- Shahrim, M. F., & Ros, F. C. 2020. *Estimation of breach outflow hydrograph using selected regression breach equations*. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 476, No. 1, p. 012129). IOP Publishing.
- Tahmiscioğlu, M.S., Anul, N., Ekmekçi, F., and Durmuş, N., 2007. *Positive and negative impacts of dams on the environment*. In International Congress on River Basin Management, pp. 759-769.
- Urzică, A., Mișu-Pintilie, A., Stoleriu, C. C., Cîmpianu, C. I., Huțanu, E., Pricop, C. I., & Grozavu, A. 2021. *Using 2D HEC-RAS Modeling and Embankment Dam Break Scenario for Assessing the Flood Control Capacity of a Multi-Reservoir System (NE Romania)*. Water, 13(1), 57.
- U.S. Army Corps of Engineers, "Engineering and Design –Hydrologic Engineering Requirements for Reservoirs," EM 1110-2-1420, 31 October 1997.



**12^ο Πανελλήνιο Συνέδριο
Γεωργικής Μηχανικής**

ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ & ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΙ



ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΜΙΚΡΟΨΕΚΑΣΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΣΕ ΑΜΠΕΛΙΑ

Κ. Δαγρές, Ν. Μυλωνάς, Β. Ψηρούκης, Μ.Γ. Κουτσιαράς, Γ. Μπουροδήμος, Σ. Φουντάς

Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα ΑΦΠ-ΓΜ, Ιερά Οδός 75, 11855, Αθήνα, e-mail:

dagreskon@gmail.com

Περίληψη

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η μελέτη της εναπόθεσης του ψεκαστικού νέφους ενός καινοτόμου μικροψεκαστικού συστήματος ακριβείας σε αμπέλια. Οι ψεκασμοί πραγματοποιήθηκαν στο βιολογικό αμπελώνα του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών στα Σπάτα, υπό κανονικές συνθήκες ψεκασμού και ακολουθώντας τις προβλεπόμενες πειραματικές διατάξεις. Εξετάστηκαν δύο διαφορετικοί τύποι ακροφυσίων και παράλληλα έγιναν ψεκασμοί από συμβατικό ψεκαστικό, ακολουθώντας τις ίδιες συνθήκες διεξαγωγής με το καινοτόμο. Κατόπιν, τα δείγματα αναλύθηκαν με τη χρήση φασματοφωτόμετρου και υπολογίστηκε η περιεκτικότητα των δειγμάτων σε ταρτραζίνη, χρωστική που χρησιμοποιήθηκε για ανίχνευση, έτσι ώστε να διαπιστωθεί η κατανομή του ψεκαστικού νέφους σε κάθε πειραματική περιοχή του αμπελώνα. Συμπερασματικά, η εργασία αυτή καθορίζει την ποιότητα του ψεκασμού ενός μικροψεκαστικού συστήματος για να είναι συμβατό με τις αρχές της Γεωργίας Ακριβείας και ταυτόχρονα εξετάζει τη μελλοντική υποκατάσταση του συμβατικού από το καινοτόμο.

Λέξεις κλειδιά: ρομποτικό ψεκαστικό αμπελώνων, αξιολόγηση της εναπόθεσης του ψεκαστικού υγρού στην κόμη, ακριβής ψεκασμός, αποτελεσματικότητα ψεκασμού

EVALUATION AND OPTIMIZATION OF AN AUTONOMOUS ACCURATE MICRO-SPRAYING SYSTEM IN VINEYARDS

K. Dagres, N.Mylonas, V.Psiroukis, M.G. Koutsiaras, G. Bourodimos, S. Fountas

Agricultural University of Athens, Department NRM & Ag.Eng., Iera Odos 75, 11855, Athens, e-mail:

dagreskon@gmail.com

Abstract

The purpose of this paper is to study the deposition of the spray cloud of an innovative precision micro-spray system in vineyards. Spraying applications were carried out in the organic vineyard of the Agricultural University of Athens in Spata, under normal spraying conditions and following the prescribed experimental provisions. Two different types of nozzles were tested and also spraying applications were performed by a conventional sprayer, following the same conditions as the innovative one. The samples were then analyzed using a spectrophotometer and the content of tartrazine, a dye used for detection, was calculated to determine the distribution of the spray cloud in each experimental area of the vineyard. In conclusion, this paper determines the quality of the spray of a micro-spraying system to be compatible with the principles of Precision Agriculture and at the same time examines the future substitution of the conventional by the innovative.

Keywords: robotic vineyard sprayer, canopy spray deposit assessment, precise spraying, spray efficiency

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα φυτά που προσβάλλονται από διάφορες ασθένειες, μύκητες ή έντομα πρέπει να προστατεύονται μέσω κατάλληλων χημικών σκευασμάτων τα οποία εφαρμόζονται σε αυτά. Η εφαρμογή των παραπάνω ουσιών γίνεται με τα ψεκαστικά μηχανήματα τα οποία προορίζονται για ψεκασμό υγρής ή στερεάς μορφής υδατοδιαλυτών φαρμάκων. Η ποιότητα της εργασίας του μηχανήματος ψεκασμού επηρεάζεται από διάφορους τεχνολογικούς, τεχνικούς και κλιματολογικούς παράγοντες, οι σημαντικότεροι από τους οποίους περιλαμβάνουν τον τύπο του μηχανήματος, την επιλογή των ακροφυσίων, τις κατάλληλες παραμέτρους ψεκασμού, τη θερμοκρασία και την υγρασία του αέρα, καθώς και την τήρηση των οδηγιών φυτοπροστατευτικών προϊόντων που πρέπει να ακολουθούν οι παραγωγοί (Sawa et al., 2003).

Τα τελευταία χρόνια, η εισαγωγή των ηλεκτρονικών συστημάτων και των αυτοματισμών στα ψεκαστικά μηχανήματα έχει επιφέρει μεγάλες αλλαγές στον κλασικό τρόπο λειτουργίας τους. Ενέργειες όπως η ρύθμιση της παροχής ή της πίεσης πριν από την έναρξη του ψεκασμού, πλέον μπορούν να ρυθμίζονται αυτόματα και συνεχώς κατά τη διάρκεια του ψεκασμού. Πολλοί από τους αυτοματισμούς αυτούς έχουν προσφέρει τη δυνατότητα για εισαγωγή των τεχνικών γεωργίας ακριβείας κατά τους ψεκασμούς δίνοντας την ικανότητα ανάπτυξης ρομποτικών συστημάτων.

Αρκετοί ερευνητές πειραματίστηκαν με την εφαρμογή των ρομπότ στους ψεκασμούς των καλλιεργειών. Ειδικότερα, οι Monta et al., (1995) μελέτησαν ένα γεωργικό ρομπότ πολλαπλών χρήσεων αποτελούμενο από ένα χειριστήριο, έναν οπτικό αισθητήρα, μια διακινούμενη συσκευή και τελικούς τελεστές. Οι Blackmore et al., (2004) πρότειναν ορισμένες απαιτήσεις συστήματος για ένα μικρό αυτόνομο τρακτέρ και οι Longo et al., (2013) πειραματίστηκαν με την εξεύρεση αποτελεσματικής λύσης στο πρόβλημα της καλλιέργειας των δυσπρόσιτων αμπελώνων. Από τους Oberti et al., (2013) προτάθηκε η δημιουργία ρομπότ ψεκασμού με ικανότητα επιλεκτικής εφαρμογής, που επέτρεψε στους γεωργούς να πραγματοποιούν τους αναγκαίους ψεκασμούς στην καλλιέργειά τους όταν απαιτείται, σύμφωνα με το πρόγραμμα έγκαιρης εκτέλεσης εργασιών. Οι Grella et al., (2020) ασχολήθηκαν με τη μελέτη της εναπόθεσης ενός ψεκαστήρα σε αμπελώνες, χρησιμοποιώντας περιοχές για τη διεξαγωγή και δειγματοληψία μετρήσεων των ψεκαζόμενων περιοχών και οι Marucco et al., (2020) πειραματίστηκαν εξετάζοντας διαφορετικές διαμορφώσεις ψεκασμού ανάμεσα σε έναν καινοτόμο ψεκαστήρα και έναν συμβατικό, με σκοπό τη διερεύνηση της εναπόθεσης σε αμπελώνα στα πλαίσια ερευνητικού προγράμματος.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Το πείραμα έλαβε χώρα στο βιολογικό αμπελώνα του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών στα Σπάτα που εκτείνεται σε ένα αγρόκτημα 240 στρεμμάτων. Η πειραματική περιοχή αποτελείται από τρία πρέμνα μιας σειράς του αμπελώνα στα οποία τοποθετήθηκαν συλλέκτες για την εξέταση συγκεκριμένων παραμέτρων ψεκασμού. Η διάταξη δειγματοληψίας αποτελείται από τους στύλους, τις βάσεις και τους συλλέκτες (Σχήμα 1) και οι παράμετροι που εξετάστηκαν είναι το ύψος, το βάθος και οι διατάξεις λειτουργίας των ψεκαστικών μηχανημάτων. Η πυκνότητα της κόμης θεωρήθηκε ομοιόμορφη για το σύνολο του αμπελώνα και επομένως δεν εξετάστηκε στο πείραμα αυτό. Για τον υπολογισμό της εναπόθεσης του ψεκαστικού στην κόμη των φυτών χρησιμοποιήθηκαν χάρτινα φίλτρα με διηθητική ικανότητα (*filter papers*) επιφάνειας 120 cm², σχήματος ορθογωνίου και τοποθετήθηκαν και στις δύο όψεις των βάσεων. Οι θέσεις

των βάσεων τοποθέτησης των συλλεκτών επιλέχθηκε να είναι στα 60 cm, 100 cm και 140 cm από την επιφάνεια του εδάφους για τους κάτω, μεσαίους και πάνω συλλέκτες, αντίστοιχα, λαμβάνοντας υπόψιν τις γωνίες εκτόξευσης του ψεκαστικού υγρού από τα ακροφύσια και την επικάλυψη του ψεκασμού από αυτά. Επιπλέον, οι σύλτοι είναι τοποθετημένοι σε τρεις θέσεις, εξωτερικά, ενδιάμεσα και εσωτερικά της κόμης του πρέμνου σε απόσταση επί της γραμμής 25 cm μεταξύ τους.



Σχήμα 1. Διάταξη δειγματοληψίας

Οι ψεκασμοί πραγματοποιήθηκαν από την καινοτόμα πλατφόρμα ψεκασμού (Σχήμα 2), η οποία είναι κατάλληλα διαμορφωμένη ώστε να κινείται αυτόνομα, να πραγματοποιεί ψεκασμό ακριβείας καθώς και να εργάζεται σε επικλινείς αμπελώνες με δύσβατο έδαφος. Τα ακροφύσια που εξετάστηκαν στο ρομποτικό ψεκαστικό είναι τύπου σκούπας *GEOLine Flat Fan Nozzle BD 110 – 03* και τύπου κοίλου κώνου *Teejet ConeJet Visiflo Hollow cone TXA8003VK*. Όσον αφορά το συμβατικό ψεκαστικό, πρόκειται για έναν συρόμενο νεφελοψεκαστήρα που διαθέτει μια δεξαμενή ψεκασμού από πολυεστέρα χωρητικότητας 1000 L, έναν ανεμιστήρα αξονικού τύπου διαμέτρου 800 mm δύο ταχυτήτων και 7 ακροφύσια στην κάθε πλευρά του. Τα ακροφύσια, είναι συμβατικά τύπου κοίλου κώνου *Teejet TXA 8002VK*, με κίτρινη χρωματική κωδικοποίηση και ονομαστική παροχή 1,40 L/min έκαστο στα 10 bar.



Σχήμα 2. Καινοτόμο (αριστερά) και συμβατικό ψεκαστικό (δεξιά)

Για τη μέτρηση των εναποθέσεων στους απορροφητικούς συλλέκτες, προστέθηκε στο δοχείο και των δύο ψεκαστικών η χρωστική ταρτραζίνη E-102, 85% w/w σε συγκέντρωση 4 g/L. Η ταρτραζίνη επιλέχθηκε ως ιχνηθέτης για την υψηλή ικανότητα εκχύλισης και τη

χαμηλή αποδόμησή της (Pergher, 2001). Πριν από κάθε ψεκάσμο, προηγήθηκε επιμελημένη ανάδευση στη δεξαμενή των ψεκαστικών για να διαλυθεί ομοιόμορφα στο νερό και να μην υπάρχουν επικαθήσεις. Αξίζει να αναφερθεί ότι η ταρτραζίνη σε αυτή τη συγκέντρωση είναι μια ακίνδυνη ουσία τόσο για τον άνθρωπο, όσο και για τα φυτά. Η διάρθρωση του πειράματος φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 1. Οργάνωση και χαρακτηριστικά ψεκασμών

Διάταξη	Ψεκαστήρας	Τύπος ακροφυσίου	Πίεση (bar)	Ταχύτητα (km/h)	Επαναλήψεις
1	Συμβατικός	Κοίλου κώνου	10	5,5	3
2	Καινοτόμος	Κοίλου κώνου	3	3,0	3
3	Καινοτόμος	Σκούπας	3	3,0	3

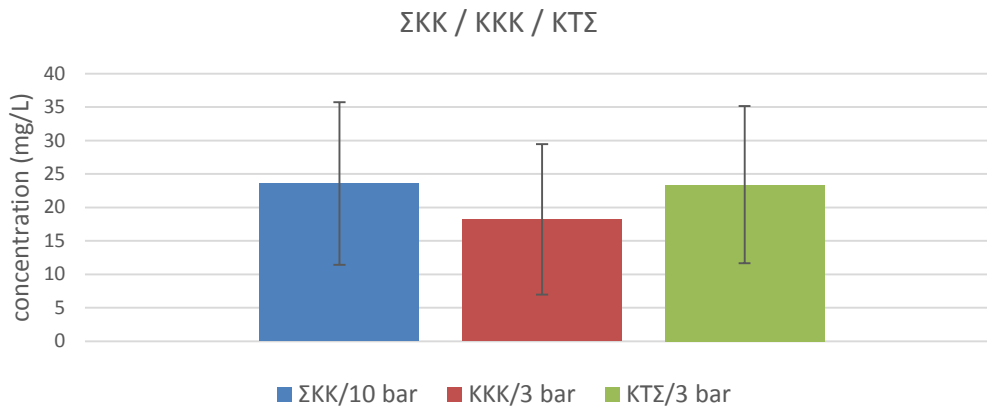
Μετά την εκτέλεση των ψεκασμών, τα χάρτινα φίλτρα συλλέχθηκαν και μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο για ανάλυση με τεχνικές φασματοφωτομετρίας. Οι μετρήσεις που λήφθηκαν αφορούσαν στην απορρόφηση της χρωστικής του ψεκαστικού υγρού και τη συγκέντρωσή της σε αυτό. Να σημειωθεί, ότι οι ψεκασμοί έγιναν σε κατάλληλες καιρικές συνθήκες που προβλέπονται από τους διεθνείς κανονισμούς.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων προέκυψαν με στατιστική ανάλυση χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα Microsoft Excel 2016. Αρχικά, από την επεξεργασία σχηματίστηκε γενική εικόνα του ψεκασμού κάθε τύπου ακροφυσίου και στη συνέχεια ακολούθησαν επιμέρους αναλύσεις ως προς το ύψος και το βάθος. Επιπλέον, έγινε ανάλυση της διασποράς (ANOVA) για τις τρεις παραμέτρους προκειμένου να διαπιστωθεί αν υπάρχει στατιστικά σημαντική επίδραση του κάθε παράγοντα στα αποτελέσματα και ως προϋπόθεση για την ANOVA πραγματοποιήθηκε έλεγχος Shapiro-Wilk (Shapiro & Wilk, 1965) που επιβεβαίωσε την κανονικότητα της κατανομής.

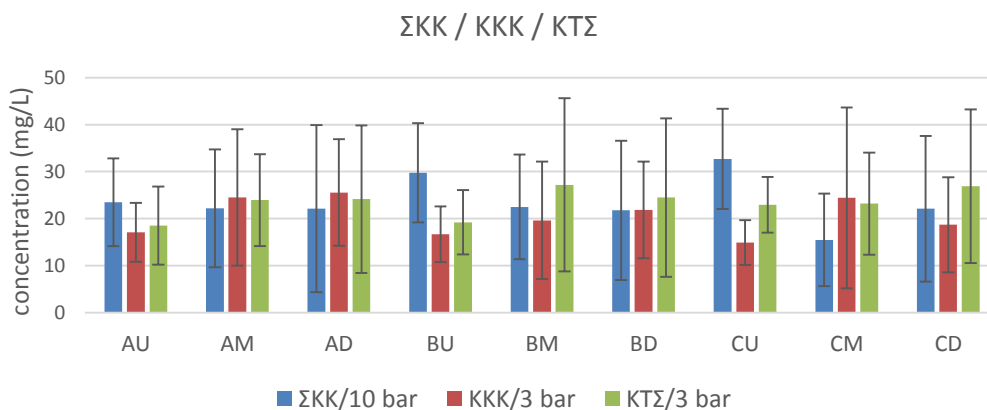
Πίνακας 2. Ερμηνεία συμβόλων

Παράμετρος	Σύμβολα
Ύψος	U, M, D (Up, Middle, Down)
Βάθος	1, 2, 3
Όψη	F (Front)
Θέση	Βάθος
1	Εξωτερικό
2	Ενδιάμεσο
3	Εσωτερικό
Τύπος ακροφυσίου	Σύμβολο
Συμβατικό κοίλου κώνου	ΣΚΚ
Καινοτόμο τύπου κοίλου κώνου	ΚΚΚ
Καινοτόμο τύπου σκούπας	ΚΤΣ



Διάγραμμα 5. Γενική σύγκριση ακροφυσίων

Από το Διάγραμμα 1 παρατηρείται ότι τα συμβατικά ακροφύσια και τα καινοτόμα τύπου σκούπας σημείωσαν παραπλήσιες ποσότητες εναπόθεσης, σε αντίθεση με τα καινοτόμα τύπου κοίλου κώνου. Συνεπώς, εξάγεται το συμπέρασμα ότι το καινοτόμο ψεκαστικό, μέσω των ακροφυσίου τύπου σκούπας είναι ποσοτικά εφάμιλλο του συμβατικού.



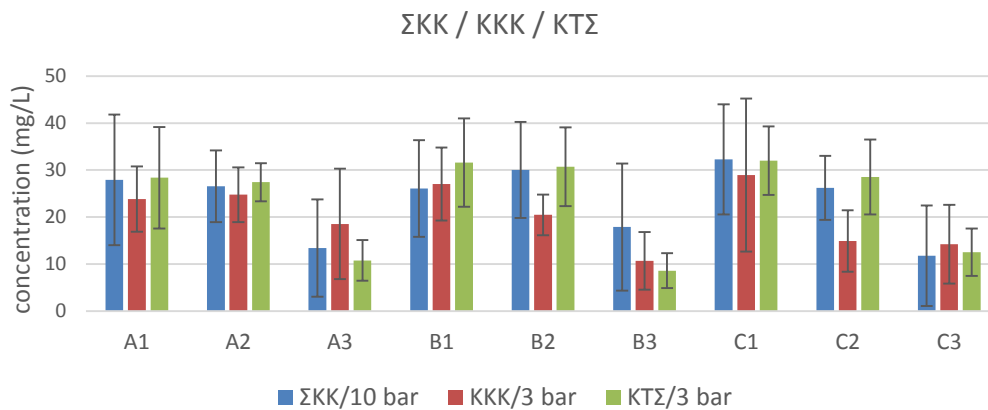
Διάγραμμα 6. Σύγκριση ακροφυσίων ως προς το ύψος εναπόθεσης

Στο Διάγραμμα 2, βασική διαπίστωση αποτελεί η μεγαλύτερη εναπόθεση του συμβατικού ψεκαστικού στο πάνω μέρος του πρέμνου και του καινοτόμου στα μεσαία και κάτω μέρη. Αυτό εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους όπως είναι οι θέσεις των ακροφυσίων και η μεταξύ τους απόσταση στον ιστό ψεκασμού και στη στεφάνη όπως και στις γωνίες εκτόξευσης ψεκασμού, που λειτουργεί σε συνδυασμό με την επικάλυψή τους ως προς τον κατακόρυφο άξονα. Οι παράγοντες αυτοί επιδρούν και στην ομοιομορφία των ψεκασμών, έχοντας ως αποτέλεσμα να παρατηρούνται μεγάλες αποκλίσεις και στους τρεις τύπους ακροφυσίων.

Πίνακας 3. Ανάλυση διακύμανσης ως προς το ύψος των συλλεκτών

ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΔΥΟ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΜΕ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ			
Προέλευση διακύμανσης	F	τιμή-P	κριτήριο F
Ύψος	3,501618228	0,000059417	1,7096195
Τύπος ακροφυσίου	1,54599782	0,222733642	3,175140971
Αλληλεπίδραση	1,743780798	0,14977763	2,498918583

Από τον παραπάνω πίνακα, συμπεραίνεται ότι σε διάστημα εμπιστοσύνης 95% το ύψος είναι στατιστικά σημαντικός παράγοντας για την εναπόθεση του ψεκαστικού υγρού στα πρέμνα, λόγω της τιμής P που είναι σημαντικά χαμηλότερη από το επίπεδο σημαντικότητας 5%. Αντίθετα, ο τύπος ακροφυσίου δεν αποτελεί σημαντικό παράγοντα, καθώς η τιμή P είναι αρκετά μεγαλύτερη του 5%, όπως και η αλληλεπίδραση των δύο παραγόντων. Αυτό δηλώνει την ανεξαρτησία των ακροφυσίων στην περίπτωση αυτή καθώς η επικάλυψη του ψεκαστικού υγρού από αυτά δεν επηρεάζει την εναπόθεση.



Διάγραμμα 7. Σύγκριση ακροφυσίων ως προς το βάθος των συλλεκτών

Το Διάγραμμα 3 απεικονίζει αναμενόμενα αποτελέσματα αφού οι εξωτερικοί συλλέκτες συγκέντρωσαν μεγαλύτερη ποσότητα χρωστικής από τους αντίστοιχους εσωτερικούς. Εξαιρέση αποτελούν τα συμβατικά ακροφύσια στο πρέμνο Β (B1, B2) και τα ακροφύσια κοίλου κώνου στο πρέμνο Α (A1, A2), όπου η εναπόθεση στα ενδιάμεσα φύλλα ήταν μεγαλύτερη λόγω αραιού φυλλώματος και διεισδυτικής ικανότητας αντίστοιχα. Οι αποκλίσεις ως προς την ομοιομορφία είναι μεγάλες, όμως οι μικρές αποκλίσεις των ακροφυσίων τύπου σκούπας στα εσωτερικά φύλλα όλων των πρέμνων, συγκριτικά με τα άλλα ακροφύσια, ανεξάρτητα από τις χαμηλές συγκεντρώσεις, είναι ενδεικτικό ευστοχίας και συνέπειας στην ομοιομορφία της εναπόθεσης.

Πίνακας 5. Ανάλυση διακύμανσης ως προς το βάθος των συλλεκτών

ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΔΥΟ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΧΩΡΙΣ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ			
Προέλευση διακύμανσης	F	τιμή-P	κριτήριο F
Βάθος	2,926947803	0,000486773	1,7096195
Τύπος ακροφυσίου	5,8431577	0,005139108	3,175140971
Αλληλεπίδραση	1,942350565	0,112638140	2,498918583

Από τον παραπάνω πίνακα, συμπεραίνεται ότι το βάθος των πρέμνων είναι στατιστικά σημαντικός παράγοντας για την εναπόθεση του ψεκαστικού υγρού στα πρέμνα. Ομοίως, ο τύπος ακροφυσίου συνιστά στατιστικά σημαντικό παράγοντα, καθώς η τιμή P είναι μικρότερη του 5%. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε ανάλυση της διακύμανσης τριών παραγόντων (three-way ANOVA).

Πίνακας 7. Ανάλυση διακύμανσης τριών παραγόντων

Πηγή παραλλακτικότητας	Τιμή p	Σημαντικότητα
Εναπόθεση ψεκαστικού υγρού		
A (Ψεκαστική διάταξη)	0,05071719098978960000	NS
B (Βάθος)	0,000000000000000355182	***
C (Υψος)	0,62729987370582500000	NS
A x B	0,01151044390811840000	*
A x C	0,00026634743190988800	***
B x C	0,00002323372765502820	***
A x B x C	0,00092411852022418300	***

Επίπεδα σημαντικότητας: NS P > 0.05; *P < 0.05; **P < 0.01; ***P < 0.001

Από τα δεδομένα του παραπάνω πίνακα διαπιστώνεται ότι μόνο ο παράγοντας βάθος είναι στατιστικά σημαντικός για την εναπόθεση του ψεκαστικού υγρού στα πρέμνα. Αυτό σημαίνει ότι οι τιμές της εναπόθεσης παρουσίασαν αξιοσημείωτη μεταβολή στα διάφορα βάθη της κόμης. Αντίθετα, τόσο οι διατάξεις ψεκασμού, που περιλαμβάνουν τους τύπους ακροφυσίων, τον τύπο ψεκαστικού και τις πιέσεις και ταχύτητες ψεκασμού, όσο και το ύψος τοποθέτησης των συλλεκτών δεν επιδρούν στην εναπόθεση. Παρόλα αυτά, οι αλληλεπιδράσεις των παραγόντων εκφράζουν στατιστική σημαντικότητα καθώς όλοι οι συνδυασμοί αποδεικνύονται ικανοί να επηρεάσουν την εναπόθεση του ψεκαστικού υγρού.

Πίνακας 8. Εναπόθεση σε δεδομένη επιφάνεια

Τύπος ακροφυσίου	Εναπόθεση (mg/cm ²)
Συμβατικά κοίλου κώνου	0,637 ± 0,368
Καινοτόμα κοίλου κώνου	0,484 ± 0,348
Καινοτόμα τύπου σκούπας	0,744 ± 0,471
Τύπος ακροφυσίου	Όγκος ψεκασμού (L/ στρέμμα)
Συμβατικά κοίλου κώνου	45,8
Καινοτόμα κοίλου κώνου	70,8
Καινοτόμα τύπου σκούπας	75

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι μεγαλύτερη εναπόθεση έχουν τα ακροφύσια τύπου σκούπας, έχουν όμως και μεγαλύτερη ανομοιομορφία, ενώ μικρότερη εναπόθεση εμφανίζουν τα καινοτόμα κοίλου κώνου με περισσότερη όμως συνέπεια στον ψεκασμό. Η διαφορά που προκύπτει στον όγκο ψεκασμού ανάμεσα στα δύο ψεκαστικά, οφείλεται κυρίως στη μεγαλύτερη ταχύτητα κίνησης του συμβατικού σε σχέση με το καινοτόμο. Ωστόσο, η ποσοτικά μεγαλύτερη εναπόθεση του καινοτόμου ψεκαστικού, μπορεί να αντισταθμιστεί μέσω του κατάλληλου σχεδιασμού για το σκοπό που εξυπηρετεί και τα καινοτόμα συστήματα που διαθέτει.

4.ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την ανάλυση των αποτελεσμάτων υποστηρίζουν την αρχική υπόθεση για ικανότητα του καινοτόμου ψεκαστικού να είναι εφάμιλλο του συμβατικού καθώς το καινοτόμο επιτυγχάνει καλύτερη εναπόθεση, που σε συνδυασμό με τη μειωμένη πίεση ψεκασμού συντελεί στην αποφυγή διασποράς του ψεκαστικού νέφους, η οποία είναι περιβαλλοντικά και οικονομικά ανεπιθύμητη. Εντούτοις, το καινοτόμο ψεκαστικό μειονεκτεί λόγω μεγαλύτερου όγκου ψεκασμού και μειωμένης συγκέντρωσης της χρωστικής στους εξωτερικούς συλλέκτες σε σχέση με το συμβατικό, που οφείλεται στη

χαμηλότερη πίεση και ταχύτητα ψεκασμού, συγκριτικά με το συμβατικό. Ωστόσο, το καινοτόμο ψεκαστικό προσφέρει προηγμένες λύσεις που απορρέουν από τον κατάλληλο σχεδιασμό για το σκοπό που εξυπηρετεί και τα καινοτόμα συστήματα που διαθέτει. Ειδικότερα, σχεδιάζεται για επιλεκτικό ψεκασμό τύπου «on/off» που έχει ως επακόλουθο ο μεγαλύτερος όγκος εφαρμογής και η μικρότερη επάρκεια κάλυψης σε στρέμματα, να αντισταθμίζονται από τον έξυπνο ψεκασμό, όπου χρειάζεται. Όσον αφορά τον τύπο ακροφυσίων, τα τύπου σκούπας κρίνονται ως πιο ικανοποιητικά, σε σχέση με τα κούλου κώνου.

Για μελλοντικά πειράματα, προτείνονται κάποιες βελτιώσεις, έτσι ώστε να γίνουν πιο ακριβείς οι συνθήκες διεξαγωγής τους. Ειδικότερα, θα πρέπει οι συλλέκτες να παραμένουν αμετακίνητοι καθ' όλη τη διάρκεια εκτέλεσης των ψεκασμών, για να είναι όσο το δυνατόν πιο αμερόληπτο το αποτέλεσμα που θα προκύψει. Επίσης, τα χάρτινα φίλτρα, θα ήταν καλύτερο να στερεώνονται στις βάσεις με συρραπτικό, διότι τα λαστιχάκια δεσμεύουν μια επιφάνεια απαραίτητη για τη σωστή δειγματοληψία. Επιπλέον, παρουσιάζει ενδιαφέρον η εξέταση διαφόρων θέσεων τοποθέτησης των ακροφυσίων στον ιστό ψεκασμού, ενδεχομένως ακόμη και το πλήθος των ακροφυσίων που συμμετέχουν στον ψεκασμό, με σκοπό να μελετηθεί η επίπτωση των παραπάνω στην αποτελεσματικότητα του ψεκασμού, που περιλαμβάνει την ευστοχία της εναπόθεσης, την επικάλυψη των ακροφυσίων και τη μείωση της παραλλακτικότητας του ψεκασμού στις διάφορες περιοχές της καλλιέργειας, προκειμένου να εντοπίζεται ομοιομορφία.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Blackmore, B., Fountas, S., Tang, L. & Have, H., 2004. Systems Requirements For a Small Autonomous Tractor. *Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development*.
- Grella, M., Miranda-Fuentes, A., Marucco, P. & Balsari, P., 2020. Field assessment of a newly-designed pneumatic spout to contain spray drift in vineyards: evaluation of canopy distribution and off-target losses. *Pest Management Science*, Volume 76, p. 4173–4191.
- Longo, D. et al., 2013. A small autonomous electrical vehicle as partner for heroic viticulture. *Acta Horticulturae*, Volume 978, pp. 391-398.
- Marucco, P. et al., 2020. Optima Project: development of a smart sprayer for vineyards. Brighton, Sussex, UK, EU H2020.
- Monta, M., Kondo, N. & Shibano, Y., 1995. Agricultural robot in grape production system. Japan, IEEE, Piscataway, NJ, United States, pp. 2504-2509.
- Oberti, R. et al., 2013. Selective spraying of grapevine's diseases by a modular agricultural robot. *Journal of Agricultural Engineering*, Volume 44, pp. 149-153.
- Pergher, G., 2001. Recovery rate of tracer dyes used for spray deposit assessment. Washington, DC, ASAE, pp. 787-794.
- Sawa, J., Huyghebaert, B. & Koszel, M., 2003. Sprayers' working parameters and the quality of spraying. Skierniewice, The Institute of Fruit and Floriculture, pp. 84-89.
- Shapiro, S. & Wilk, M., 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52(3-4), pp. 591-611.

ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΣΠΗΛΑΙΩΣΗΣ ΣΕ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ, ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΣΗΜΑΤΩΝ ΗΧΟΥ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗΣ

Μ.Καραγιωβανίδης¹, Χ.Ε.Πανταζή¹, Β.Φράγκος¹, Δ.Μόσχου¹

¹ Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωπονίας, 54124, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα
e-mail: mkaragiovanidis@gmail.com

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η ανίχνευση του φαινομένου σπηλαίωσης σε φυγοκεντρικές αντλίες νερού, με χρήση σύγχρονων υπολογιστικών μεθόδων ανάλυσης σημάτων ήχου. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε είναι η μέτρηση του παραγόμενου ήχου της αντλίας στο ανθρώπινο ακουστικό εύρος. Τα σήματα ήχου επεξεργάστηκαν με υπολογιστικές μεθόδους, ώστε να εξαχθούν τα σχετικά χαρακτηριστικά των σημάτων στο πεδίο του χρόνου και της συχνότητας. Τα χαρακτηριστικά αυτά χρησιμοποιήθηκαν για την εκπαίδευση τεχνητού νευρωνικού δικτύου στην ορθή αναγνώριση των διαφόρων καταστάσεων λειτουργίας της αντλίας, καθώς το φαινόμενο σπηλαίωσης εξελίσσεται. Μελετήθηκαν όλα τα πειραματικά αποτελέσματα και η ανάλυση των ευρημάτων, απέδειξε τη δυνατότητα επιτυχούς ανίχνευσης συνθηκών σπηλαίωσης σε πραγματικές συνθήκες με χρήση απλών και χαμηλού κόστους αισθητήρων.

Λέξεις-κλειδιά: σπηλαίωση, αντλία, ήχος, νευρωνικό δίκτυο

CAVITATION DETECTION ON CENTRIFUGAL IRRIGATION PUMPS, USING AUDIBLE SOUND SIGNAL AND COMPUTATIONAL INTELLIGENCE

M. Karagiovanidis¹, X.E. Pantazi¹, V. Fragkos¹, D. Moshou¹

¹ Laboratory of Agricultural Engineering, Aristotle University of Thessaloniki, Faculty of Agriculture, 54124, Thessaloniki, Greece
e-mail: mkaragiovanidis@gmail.com

Abstract

Scope of this study is the detection of cavitation phenomenon in centrifugal water pumps, by analyzing the produced audible sound signals with computational methods. The analysis was based on comparing sound signals in different operating conditions, in reference to the Best Efficiency Point of the pump. The sound signals were processed by computational methods to extract the relative features in frequency domain and use them to train an Artificial Neural Network to be able to identify the different pump operating conditions, while cavitation phenomenon evolves. Experimental results proved a possible successful detection of cavitation in real conditions, using simple and low cost sensor.

Key words: cavitation, pump, sound, neural network

1. INTRODUCTION

Cavitation in water pumps occurs when Available Net Positive Suction Head ($NPSH_A$) is less than Required Net Positive Suction Head ($NPSH_R$), or by other words when absolute static pressure p at some point within a pump falls below saturated vapor pressure p_v of water at the prevailing temperature. Vaporization of water creates air bubbles which collapse within the pump when they reach a region of higher pressure. The collapse or implosion of the bubbles creates tremendous increase in pressure, in form of mini hammer blows (Cudina, 2012). There are three undesired effects that can occur: a) deterioration of the hydraulic performance of the pump, b) gradual pitting and material erosion in the vicinity of the collapsing bubbles, c) vibration of the pump walls, causing further pump damage and undesirable crackling or hissing noise (Cudina 2003, Cudina & Prezelj 2008).

To avoid and remedy cavitation in irrigation centrifugal water pumps, the evolving phenomenon should be detected early enough. There are several methods capable of detecting cavitation either during operation or by inspecting the interior of the pump. In this study, the possibility of using computational data analysis and Artificial Neural Networks (ANN) techniques to process measured audible sound signals, taken close to pump casing was explored. The proposed method offers real time early detection of cavitation conditions.

2. MATERIALS AND METHODS

The purpose of the study was to assess the use of simple and low cost equipment along with ANN techniques for detecting cavitation in water pumps. The embedded sensor of a mobile phone (GT-I8262, from Samsung) and corresponding recording software were chosen. A complete water pumping station setup was used for the experiment. To simulate different operating conditions, throttling valves were installed in suction and discharge lines. A flow sensor was installed in the discharge line and pressure sensors were installed in suction and discharge lines respectively.

Table 2.1: Experimental setup equipment list

Pump	Saer, IR50-250ND, centrifugal, closed impeller, single stage
Motor	Saer, 400V, 17 kW, 2990 rpm
Flowmeter	Danfoss, MagFlow MAG 3100, Electromagnetic,
Discharge line pressure sensor	Wica, ECO-1, 0-48 bar
Suction line pressure sensor	Wica, vacuum gauge, 0 to 1 bar
Suction piping	Steel, DN50, non-return valve, throttling valve,
Discharge piping	Steel, DN65 to DN125, throttling valve DN125
Water tank	Steel, volume 9 m ³



Figure 2.1: Actual experimental setup

In total, 8 different efficiency points of the pump (states) were simulated, at constant water temperature (22.8 C) and constant motor speed (2951 rpm). Starting the experiment, the pump was run at the Best Efficiency Point (BEP) for sufficient time to equalize water temperature. By throttling the suction or discharge valve progressively, desired operating conditions for each state were achieved.

Table 2.2: The 8 different operating states

State No	Description
State 1	Best Efficiency Point
State 2	Suction line partially closed – stage 1
State 3	Suction line partially closed – stage 2
State 4	Suction line partially closed – stage 3
State 5	Suction line partially closed – stage 4
State 6	Discharge line wide open – stage 1
State 7	Discharge line wide open – stage 2
State 8	Discharge line wide open – stage 3

For each state, sound signal recordings were repeated several times and at different distances from the casing of the pump, at different heights and at different angles in relation to its axis. Recorded signal measurements were processed using Matlab and preliminary data analysis was conducted, followed by transformation to the frequency domain (spectral analysis) by applying Direct Fourier Transformation (DFT).

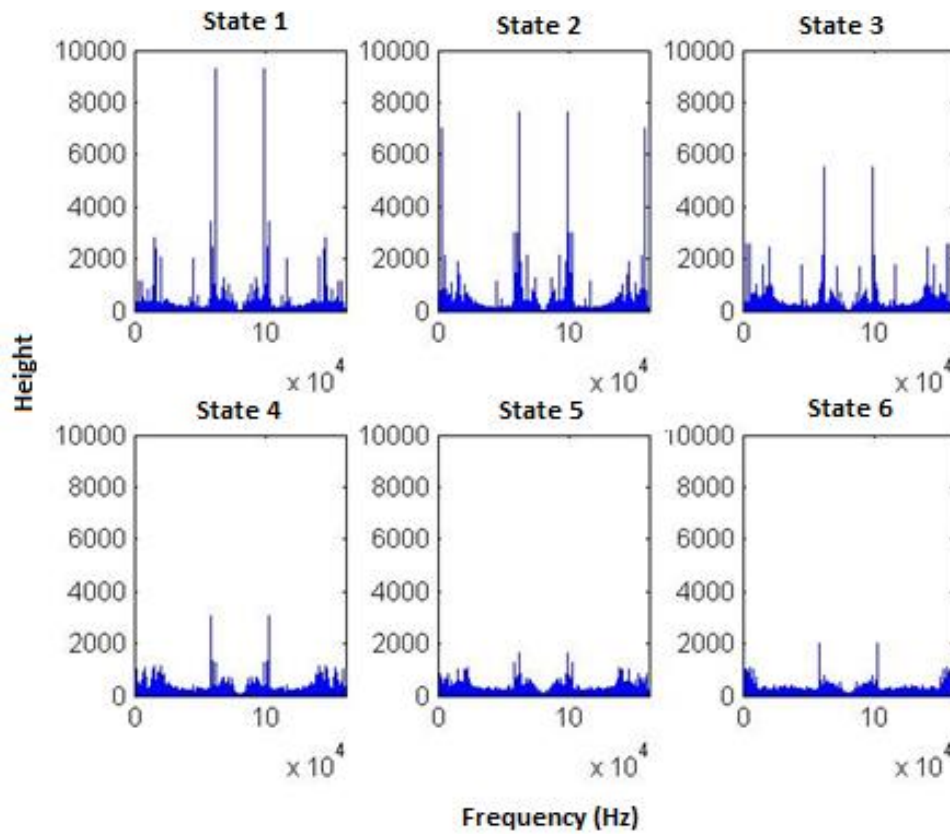


Figure 2.2: Frequency domain plots for the first 6 states

Then, the pre-processed sound signals were used to extract twelve characteristic features in frequency domain shown in Figure 2.3. Feature F1 indicate the vibration energy in the frequency domain. Features F2-F4, F6 and F10-F12 describe the convergence of the spectrum power and features F5 and F7-F9 provide information about the position change of main frequencies. (Moshou et al., 2010).

$$F_1 = \frac{\sum_{k=1}^K s(k)}{K} \quad (13)$$

$$F_7 = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^K f_k^2 s(k)}{\sum_{k=1}^K s(k)}}$$

$$F_2 = \frac{\sum_{k=1}^K (s(k) - F_1)^2}{K - 1} \quad (14)$$

$$F_8 = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^K f_k^4 s(k)}{\sum_{k=1}^K f_k^2 s(k)}}$$

$$F_3 = \frac{\sum_{k=1}^K (s(k) - F_1)^3}{K (\sqrt{F_2})^2} \quad (15)$$

$$F_9 = \frac{\sum_{k=1}^K f_k^2 s(k)}{\sqrt{\sum_{k=1}^K s(k) \sum_{k=1}^K f_k^4 s(k)}}$$

$$F_4 = \frac{\sum_{k=1}^K (s(k) - F_1)^4}{KF_2^2} \quad (16)$$

$$F_{10} = \frac{F_6}{F_5}$$

$$F_5 = \frac{\sum_{k=1}^K f_k s(k)}{\sum_{k=1}^K s(k)} \quad (17)$$

$$F_{11} = \frac{\sum_{k=1}^K (f_k - F_5)^3 s(k)}{KF_6^3}$$

$$F_6 = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^K (f_k - F_5)^2 s(k)}{K}} \quad (18)$$

$$F_{12} = \frac{\sum_{k=1}^K (f_k - F_5)^4 s(k)}{KF_6^4}$$

Figure 2.3: Features extraction in frequency domain

These features were used to train a feed-forward MultiLayer Perceptron neural network (MLP) with one hidden layer and one output unit. The MLP classifiers are networks where the nodes receive inputs coming from previous layers. As a result, the information flows in a single direction to the output layer. In addition, Automatic Relevance Determination (ARD) was used to attain weight regularization by considering related weights connected to the hidden neurons. ARD finds automatically relevant neurons by modulating their connections strength to maximize relevant neurons in terms of evidence presented from the data, while a weighted evidence of multi-feature sets amounts to fusion since adaptive weights are determined to combine effectively input features. The obstacle is overfitting which is avoided by the Bayesian regularization applied during learning which restricts overfitting. The MLP-ARD classifier was used to attempt classifying each data set to the corresponding operating state of the pump (Córcoles, et al, 2013).

3. RESULTS – DISCUSSION

Table 3.1 presents the results concerning the application of the Automatic Relevance Determination method through the Multi-Layer Perceptron Network (MLP-ARD). Each bar contains the samples in percentages, for which the operating state was correctly classified.

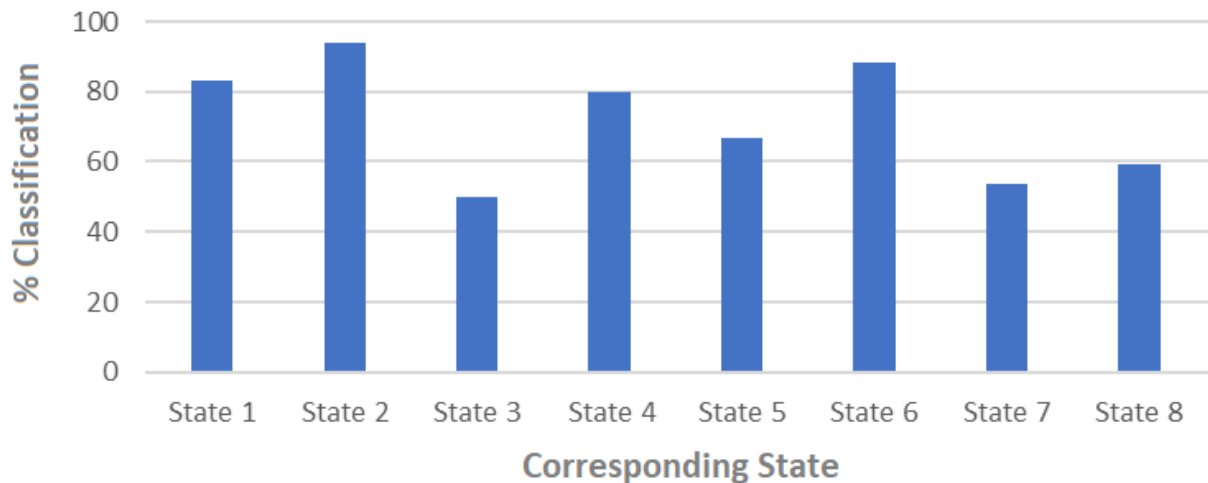


Figure 3.1: Percentage of successful identification for each state

First two states correspond to the normal operating conditions and are classified correctly for more than 80% of the data. State 3 corresponds to the initial development of cavitation when suction valve is throttled to closed position, and the success rate is low because the characteristic sound is not yet loud enough. State 4 corresponds to further development of cavitation when suction valve is gradually closed more, water velocity increases and cavitation develops more. For state 4 successful classification reaches 80%. State 5 corresponds to fully developed cavitation where pump contains great amount of gas phase. In that state, noise starts to decrease because of absorption of pressure energy by present bubbles themselves, so the successful detection rate decreases to 67%. At the same time bubbles absorb pump energy and delivery head drops rapidly (Nelik, 1999 & Cernetic et al., 2008).

Finally, states 6, 7 and 8 correspond to opening stages of discharge valve, whole suction valve is fully open, causing higher water velocity and gradual development of cavitation. State 6 is closer to normal operating stage, while on states 7 and 8 cavitation is gradually developing, and the classifier achieves better scores.

4. CONCLUSIONS

Data analysis of audible sound signals using Fourier Transformation theory, in combination with the Bayesian Multi-Layer Artificial Neural Network with Automatic Relevance Determination (MLP-ARD), proved that the 12 characteristics of the signals in the frequency domain used, can detect with high success rates the various operating modes of the pump. This method achieved good results in classifying correctly both cases of suction cavitation and discharge cavitation, at several stages of development of the phenomenon. Being sufficiently successful, accurate and robust, even using a low cost sensor of a “smartphone” device, this method could be used in commercial applications, to assist pump operators identify cavitation conditions in real time and before any equipment damage occurs.

5. REFERENCES

Cudina M., 2003, Detection of cavitation phenomenon in a centrifugal pump using audible sound. *Mech. Syst. Signal Process.*, Vol. 17, No. 6, 1335-1347

- Cudina M., Prezelj J., 2008, Use of audible sound for safe operation of kinetic pumps. *Int. J. Mech.Sci.*, Vol. 50, No. 9, 1335-1343
- Cudina M., 2012, Monitoring of cavitation by sound in audible range and some new proposals for prevention cavitation in kinetic pumps, 5th Congress of Alps-Adria Acoustic Association, Croatia
- Kyparissis S. and Margaris D., 2012, Experimental Investigation and Passive Flow Control of Cavitating Centrifugal Pump, *International Journal of Rotating Machinery*, Volume 12, ID 248082
- Moshou D., Kateris D., Gravalos I., Loutridis S., Sawalhi N., Gialama T., Xyradakis P, Tsiropoulos Z., 2010, Determination of fault topology in mechanical subsystems of agricultural machinery based on feature fusion and neural networks. 4th International Conference TAE, Czech University of Life Sciences, pp. 448-453
- Córcoles, J.I., Ortega J.F., Hernández, D., Moreno, M.A., 2013, Estimation of leaf area index in onion (*Allium cepa* L.) using an unmanned aerial vehicle. *Biosyst. Eng.* 115, 31–42
- Kateris, D., Moshou, D, Pantazi, X.E., Gravalos, I., Sawalhi, N. Loutridis. S., 2013, A machine learning approach for the condition monitoring of rotating machinery. *Journal of Mechanical Science and Technology* 28 (1), 2014, 61-71
- Nabney, I. T., 2001, *Netlab: Algorithms for Pattern Recognition*. London, Springer
- Thobiani, F., 2010, Monitoring of cavitation in centrifugal pumps using spectral entropy of vibro-acoustic measurements. University of Huddersfield
- Bishop, C., 1995. *Neural Networks for Pattern Recognition*. (1st ed.), New York, Oxford University Press
- Gupta, S., Chouksey, V. K., Srivatava, M., 2013, Online Detection of Cavitation Phenomenon in a Centrifugal Pump using Audible Sound. ISSN (PRINT) :2320 –8945, Volume -1, Issue-5
- Cernetic, J., Prezelj, J, Cudina, M, 2008, Use of noise and vibrationsignal for detection and monitoring of cavitation in kinetic pumps. *Acoustics*, 2008, Psris
- Nelik, L., 1999, *Centrifugal pump design and performance*. ETI, Vermont, USA

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΕΙΦΟΡΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΩΝ ΠΡΑΚΤΙΚΩΝ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΣΚΛΗΡΟΥ ΣΙΤΟΥ

Γιάκα Ανθούλα¹, Καβαλάρης Χρήστος^{1,2}, Καραμούτης Χρήστος^{1,2}, Κώστας Θεοχαρίδης³ & Γέμτος Θεοφάνης^{2,3}

¹Εταιρία Προώθ. Αειφ. Καλλιεργ. Συστ. – ΕΠΑΚΣ, Θεσ/νίκη, Παν/πολη ΑΠΘ, 54124 a.giaka19@gmail.com

²Παν. Θεσσαλίας, Τμ. Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγρ. Περιβάλλοντος, Βόλος chkaval@uth.gr

³Misko, Πρόγραμμα Ελληνικού Σίτου, <https://miskoprogrammasitou.gr> Kostas.Theocharidis@barilla.com

Περίληψη

Η αποδοτικότητα και η ωφέλεια από την εφαρμογή αειφόρων μεθόδων καλλιέργειας στο σκληρό σιτάρι αξιολογήθηκαν υπό πραγματικές συνθήκες παραγωγού σε ένα πιλοτικό αγρό. Οι αειφόρες πρακτικές ήταν η απ'ευθείας σπορά (ακατεργασία), η αμειψισπορά με ψυχανθές, η διαφορική αζωτούχος λίπανση και η αξιοποίηση ενός λογισμικού συστήματος υποβοήθησης λήψης αποφάσεων (granoduro.net). Ο αγρός διαμοιράστηκε σε οκτώ τεμάχια. Στα έξι εφαρμόστηκαν συνδυασμοί των ως άνω πρακτικών και στα δύο ο παραγωγός ακολούθησε τις δικές του πρακτικές. Καταρτίστηκαν οικονομικά ισοζύγια και έγινε ανάλυση του κύκλου ζωής. Η απ'ευθείας σπορά πέτυχε εφάμιλλες ή και καλύτερες αποδόσεις από το σύστημα που εφαρμόζε ο παραγωγός που ήταν μειωμένη κατεργασία. Η διαφορική λίπανση αύξησε κυρίως τις πρωτεΐνες στο σπόρο ενώ η αμειψισπορά με ψυχανθές συνέβαλε στην εξοικονόμηση αζώτου. Οι συμβουλές του granoduro.net αποδείχτηκαν εύστοχες και βοήθησαν στην βελτίωση του περιβαλλοντικού της αποτυπώματος.

Λέξεις κλειδιά : Σιτάρι, Αειφορία, Βιωσιμότητα, Οικονομική ανάλυση, Ανάλυση κύκλου ζωής

ECONOMIC ANALYSIS AND LIFE CYCLE ASSESMENT FOR SUSTAINABLE FARMING PRACTICES APLLIED IN DURUM WHEAT

Giaka Anthoula¹, Chris Cavalaris^{1,2}, Chris Karamoutis^{1,2}, Kostas Theocharides³ and Theofanis Gemtos^{2,3}

¹HACA, Thes/niki, AUTH, 54124 a.giaka19@gmail.com

²UTH, Dep. Agr. Crop Prod. & Rural Env. Volos 38446 chkaval@uth.gr

³Misko, Hellenic Wheat Programme, <https://miskoprogrammasitou.gr> Kostas.Theocharidis@barilla.com

Abstract

A pilot field was established to evaluate the performance and profitability of sustainable farming practices including direct drilling (DD), legume rotation (LR), variable rate fertilization (VRF) and the use of a decision support system (DSS) (granoduro.net) in winter wheat. The field was divided into eight plots, six with combinations of the above and two with the farmer practices. The evaluation was based in an economic analysis and a life cycle assesment. DD provided similar and even better yields than reduced tillage applied by the farmer. VRF improved the grain protein content while LR reduced the nitrogen needs. The DSS advice helped to reduce the environmental impact.

Keywords: Wheat, Sustainability, Viability, Economic analysis, Life cycle assesment

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

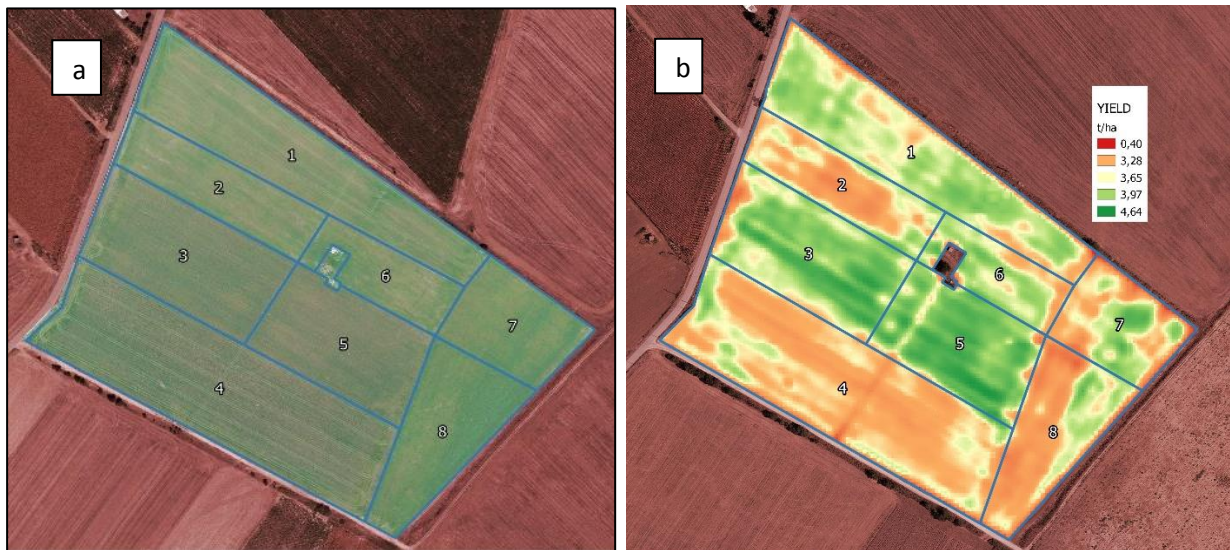
Το σκληρό σιτάρι είναι μια από τις σημαντικότερες καλλιέργειες της χώρας. Καλλιεργείται σε περισσότερα από τρία εκατομμύρια στρέμματα ετησίως (ΕΛΣΤΑΤ, 2018). Παρότι θεωρείται μια καλλιέργεια μέτριων εισροών, η βιωσιμότητά της σε ένα καθεστώς αυξημένου κόστους παραγωγής και, «ποινικοποίησης» των περιβαλλοντικών επιπτώσεων σύμφωνα με τις επιταγές της νέας ΚΑΠ, τίθεται υπό αμφισβήτηση. Στη παραδοσιακή καλλιεργητική πρακτική οι αγρότες εφαρμόζουν συμβατική κατεργασία με όργανο, βασική λίπανση με φωσφόρο και άζωτο και λιγότερο με κάλιο και επιφανειακή λίπανση με άζωτο σε μια δόση στα μέσα Φεβρουαρίου ή τις αρχές Μαρτίου ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες του έτους. Συνήθως γίνονται ψεκασμοί για τα ζιζάνια και τελευταία άρχισαν να εφαρμόζουν προληπτικά ψεκασμούς για διάφορες μυκητολογικές ασθένειες. Άρδευση γίνεται όταν υπάρχει διαθέσιμο αρδευτικό δίκτυο και μόνο όταν οι βροχοπτώσεις της άνοιξης είναι περιορισμένες. Το σύνολο των πιο πάνω εισροών συμβάλει σε ένα κόστος παραγωγής που συχνά ξεπερνά τα 70€ το στρέμμα, δίχως να λογίζεται η αμοιβή του ίδιου του παραγωγού, και το οποίο δύσκολα καλύπτεται σε χρονιές ή περιοχές με μειωμένες παραγωγές κάτω από τα 350 κιλά το στρέμμα. Σαν αποτέλεσμα, οι παραγωγοί επαφίονται στις επιδοτήσεις για την εξασφάλιση ενός βασικού εισοδήματος, που, στα πλαίσια της νέας ΚΑΠ, θα είναι μειωμένες και θα δίνονται με βάση το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της καλλιέργειας. Είναι προφανές επομένως ότι η στροφή σε αειφόρες καλλιεργητικές πρακτικές μειωμένων εισροών και χαμηλού κόστους αποτελεί μονόδρομο για την εξασφάλιση της βιωσιμότητας των γεωργικών εκμεταλλεύσεων. Τέτοιου είδους πρακτικές είναι για παράδειγμα οι τεχνικές της γεωργίας ακριβείας, η υιοθέτηση συστημάτων υποβοήθησης λήψης αποφάσεων (Decision Support Systems) και συστήματα που προστατεύουν το έδαφος όπως η Γεωργία Διατήρησης (Conservation Agriculture). Τα πιο πάνω συστήματα στοχεύουν στην αριστοποίηση των εισροών με σκοπό τη ελαχιστοποίηση του λόγου κόστος / οφέλους. Με την εφαρμογή μειωμένης κατεργασίας του εδάφους για παράδειγμα υπάρχουν σημαντικά περιθώρια για εξοικονόμηση ενέργειας (Καβαλάρης κ.α. 2003) και κατ'επέκταση, μείωση του κόστους παραγωγής και περιορισμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Σε μια πρόσφατη μελέτη, οι Cavalaris et al., (2021) έδειξαν ότι ο συνδυασμός μηδενικής κατεργασίας του εδάφους, αμειψισποράς με ψυχανθές και διαφορικής αζωτούχου λίπανσης μπορεί να βελτιώσει την οικονομικότητα της καλλιέργειας του σκληρού σίτου μέχρι και 0,08€/kg.

Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν να διερευνήσει τις οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την υιοθέτηση αειφόρων καλλιεργητικών πρακτικών σε πραγματικές συνθήκες παραγωγού. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε με τη σύμπραξη του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, της Εταιρείας Προώθησης Αειφορικών Καλλιεργητικών Συστημάτων – ΕΠΑΚΣ και του Προγράμματος Ελληνικού Σίτου MISKO.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Τον Νοέμβριο του 2020 εγκαταστάθηκε στη περιοχή Κιλελέρ στη Λάρισα Θεσσαλίας, πιλοτικός αγρός στον οποίο δοκιμάστηκαν διάφορες αειφόρες καλλιεργητικές τεχνικές όπως ακατεργασία του εδάφους, διαφορική λίπανση και διαχείριση της καλλιέργειας σύμφωνα με τις οδηγίες ενός συστήματος υποβοήθησης αποφάσεων (granoduro.net). Ο πιλοτικός αγρός είχε έκταση 96 στρεμμάτων και χωρίστηκε σε 8 τεμάχια. Σε αυτά έγινε σύγκριση των αειφορικών καλλιεργητικών πρακτικών με τη παραδοσιακή πρακτική που ακολουθεί ο παραγωγός. Ένα τμήμα του αγρού, τη προηγούμενη χρονιά είχε καλλιεργηθεί με βαμβάκι και ένα άλλο με κουκί. Στο μεγαλύτερο τμήμα του αγρού υπήρχε δυνατότητα

άρδευσης και σε ένα μικρό (17στρ.) όχι. Το έδαφος ήταν αργιλοπηλώδες (26% άμμος, 37% άργιλος, 37% ιλύς) και είχε επάρκεια φωσφόρου και καλίου καθώς και αζώτου για τα αρχικά στάδια ανάπτυξης της φυτείας.



Εικόνα 1: a) Διάταξη πιλοτικού υγρού με τα 8 πειραματικά τεμάχια b) χάρτης της παραγωγής

Η διεύθυνση των πειραματικών τεμαχίων στο χωράφι απεικονίζεται στο Εικόνα 1a. Οι οκτώ μεταχειρίσεις είχαν ως εξής (αναλυτικά οι καλλιεργητικές πρακτικές περιγράφονται στον Πίνακα 1):

Τεμάχιο 1: Παραδοσιακή διαχείριση σύμφωνα με το παραγωγό. Κατεργασία με δισκοσβάρνα και σπορά με σπαρτική σιτηρών. Λίπανση με σταθερές δόσεις. Προηγούμενη καλλιέργεια κουκί. Δυνατότητα άρδευσης.

Τεμάχιο 2: Διαχείριση σύμφωνα με τις υποδείξεις του granoduro.net. Μη κατεργασία του εδάφους και εγκατάσταση καλλιέργειας με μειωμένη ποσότητα σπόρου και απ'ευθείας σπορά. Διαφορική λίπανση. Προηγούμενη καλλιέργεια κουκί. Δυνατότητα άρδευσης.

Τεμάχιο 3: Όμοια με τη μεταχείριση 2 με τη διαφορά ότι η προηγούμενη καλλιέργεια ήταν βαμβάκι.

Τεμάχιο 4: Όμοια με τη μεταχείριση 1 με τη διαφορά ότι η προηγούμενη καλλιέργεια ήταν βαμβάκι και ότι η σπορά έγινε στα πεταχτά με σπαρτική σιτηρών χωρίς τους σωλήνες μεταφοράς του σπόρου και η κάλυψη με πέρασμα ενός καλλιεργητή.

Τεμάχιο 5: Όμοιο με το τεμάχιο 3 με τη διάφορα ότι δεν έγινε διαφορική λίπανση

Τεμάχιο 6: Όμοιο με το τεμάχιο 2 με τη διάφορα ότι δεν έγινε διαφορική λίπανση.

Τεμάχιο 7: Μη δυνατότητα άρδευσης. Μη κατεργασία του εδάφους και εγκατάσταση καλλιέργειας με μειωμένη ποσότητα σπόρου και απ'ευθείας σπορά. Λίπανση με σταθερές δόσεις. Προηγούμενη καλλιέργεια κουκί.

Τεμάχιο 8: Όμοιο με το τεμάχιο 7 με τη διάφορα ότι έγινε διαφορική λίπανση.

Πίνακας 1. Καλλιεργητικές πρακτικές στα 8 πειραματικά τεμάχια.

Τεμάχιο	1	2	3	4	5	6	7	8
Ημερομηνία Σποράς	13/11/20	6/11/20	6/11/20	13/11/20	6/11/20	6/11/20	6/11/20	6/11/20
Προηγούμενη καλλιέργεια	Κουκί	Κουκί	Βαμβάκι	Βαμβάκι	Βαμβάκι	Κουκί	Κουκί	Κουκί
Τεχνικές	Δισκοσβάρνα (X2)	Ακατεργασία	Ακατεργασία	Ελαφρύς καλλιεργ. (μετά τη σπορά)	Ακατεργασία	Ακατεργασία	Ακατεργασία	Ακατεργασία
	Σπορά με συμβατική ή σπαρτική	Απ'ευθείας σπορά με ειδική σπαρτική	Απ'ευθείας σπορά με ειδική σπαρτική	Σπορά στα πεταχτά με συμβατική ή σπαρτική	Απ'ευθείας σπορά με ειδική σπαρτική	Απ'ευθείας σπορά με ειδική σπαρτική	Απ'ευθείας σπορά με ειδική σπαρτική	Απ'ευθείας σπορά με ειδική σπαρτική
	24 κ.σπ/στρ	20 κ.σπ/στρ	20 κ.σπ/στρ	24 κ.σπ/στρ	20 κ.σπ/στρ	20 κ.σπ/στρ	20 κ.σπ/στρ	20 κ.σπ/στρ
	Κυλίνδρισμα			Κάλυψη με ελαφρύ καλλιεργητή				
		granoduro.net®	granoduro.net®		granoduro.net®	granoduro.net®		
Λίπανση								
Πρώτη	30 κ/στρ 46-0-0 (12 μονάδες)	9,8 κ/στρ 46-0-0	26,3 κ/στρ 46-0-0	30 κ/στρ 46-0-0 (12 μονάδες)	26,3 κ/στρ 46-0-0	9,8 κ/στρ 46-0-0	30 κ/στρ 46-0-0 (12 μονάδες)	5 κ/στρ 46-0-0
Δεύτερη		22,5 κ/στρ νιτρική αμμωνία	9κ/στρ νιτρική αμμωνία		9κ/στρ νιτρική αμμωνία	22,5 κ/στρ νιτρική αμμωνία		9,5 κ/στρ νιτρική αμμωνία
Διαφυλλικό Λίπασμα	Ομοιόμορφη Alzon 20-0-0 0,4%	Διαφορική	Διαφορική	Ομοιόμορφη Alzon 20-0-0 0,4%	Ομοιόμορφη	Ομοιόμορφη	Ομοιόμορφη	Διαφορική
Ζιζανιοκτονία								
Ζιζάνια προηγ.καλλ.	Roundup Flex 500ml/στρ	Roundup Flex 500ml/στρ				Roundup Flex 500ml/στρ	Roundup Flex 500ml/στρ	
Πλατύφυλλα	Biathlon	Biathlon	Biathlon	Biathlon	Biathlon	Biathlon	Biathlon	Biathlon
Μυκητοκτονία								
Σεπτόρια	Custodia	Madison	Madison	Custodia	Madison	Madison	Custodia	Madison
Άρδευση								
	Δεν έγινε	Δεν έγινε	Δεν έγινε	Δεν έγινε	Δεν έγινε	Δεν έγινε	Ξηρικό	Ξηρικό

Συνοπτικά, τα τεμάχια 1 και 4 περιλάμβαναν τη συμβατική διαχείριση του παραγωγού ενώ τα υπόλοιπα τεμάχια διάφορους συνδυασμούς αειφορικών πρακτικών. Η απ' ευθείας σπορά πραγματοποιήθηκε με την ειδική σπαρτική μηχανή του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (Kuhn SDliner 3000). Η διαφορική λίπανση έγινε με το σύστημα της εταιρίας Augmenta. Στο

σύστημα granoduro.net τέθηκε μια παραγωγή-στόχος 600kg/στρ για τις μεταχειρίσεις με δυνατότητα άρδευσης (1-6) και 400kg/στρ για τις μεταχειρίσεις που δεν μπορούσε να γίνει άρδευση (7 & 8).

Η συγκομιδή έγινε στις 8/6/21 με μια θεριζοαλωνιστική CLAAS Lexion 6800 με αισθητήρες για καταγραφή της παραγωγής. Η μηχανή αποδίδει σημειακά δεδομένα με χωρική ανάλυση περίπου 7x7m στα οποία έγινε γραμμική παρεμβολή με τη μέθοδο Kriging και δημιουργήθηκε ο χάρτης παραγωγής της Εικόνας 1b. Στη συνέχεια, για κάθε μεταχείριση υπολογίστηκε ο μέσος όρος.

Κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου κρατήθηκε αναλυτικό ημερολόγιο όλων των εισροών (Πίνακας 1). Τα δεδομένα αυτά εισήχθησαν στο granoduro.net το οποίο παράλληλα υπολογίζει την ανάλυση κύκλου ζωής και το αποτύπωμα των εισροών. Καταγράφηκαν επίσης οι τιμές των προϊόντων και των εργασιών για την εκτίμηση του οικονομικού αποτελέσματος.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Οικονομική Ανάλυση

Πίνακας 2. Ανάλυση κόστους παραγωγής

Τεμάχιο	1	2	3	4	5	6	7	8
Εργασίες / Εισροές (€/στρ)								
Ψεκαστικό	3	3				3	3	3
Roundup	1,5	1,5				1,5	1,5	1,5
Δισκοσβάρνα x 2	6							
Καλλιεργητής				3				
Κύλινδρος	3			3				
Σπαρτική συμβατική	4			4				
Σπαρτική ακαλλιέργειας		7	7		7	7	7	7
Σπόρος 20κ/στρ		12	12		12	12	12	12
Σπόρος 24κ/στρ	14,4			14,4				
Λιπασματοδιανομέας	3	6	6	3	6	6	3	6
Λίπασμα 46-0-0	12,48	4,8	12,48	12,48	12,48	4,8	12,48	2,4
Λίπασμα N/A		7,08	2,8		2,86	7,31		3,09
Ψεκαστικό	3	6	6	3	6	6	3	6
Ζιζανιοκτόνο Biathlon	2,63	2,63	2,63	2,63	2,63	2,63	2,63	2,63
Μυκητοκτόνο Custodia	1,52			1,52			1,52	
Μυκητοκτόνο Madison		4,35	4,35		4,35	4,35	4,35	4,35
Διαφυλλικό Λίπασμα Alzon	0,36			0,36			0,36	
Βελτιωτικό Dash	1			1			1	
Συγκομιδή	10	10	10	10	10	10	10	10
Σύνολο Κόστους (€/στρ)	65,89	64,36	63,26	58,39	63,32	64,59	57,49	57,97
Παραγωγή kg/στρ	349	351	389	351	385	349	347	342
Πρωτεΐνες %	15,9	15,8	15,72	14,76	15,87	15,9	14,1	14,86
Βασική τιμή €/kg	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
Πριμ ποιότητας €/kg	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Συνολική τιμή €/κιλό	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Ακαθάριστο εισόδημα €/στρ	87,25	87,75	97,25	87,75	96,25	87,25	86,75	85,5
Καθαρό εισόδημα €/στρ	21,36	23,39	33,99	29,36	32,93	22,66	29,26	27,53
Διαφορά από το παραγωγό		9,5	15,77		12,16	6,09		-5,91

Στον Πίνακα 2 γίνεται ανάλυση του κόστους παραγωγής, της παραγωγής και το κέρδους που απέφερε στο παραγωγό το κάθε τεμάχιο. Στα τεμάχια μετά το βαμβάκι τα τεμάχια με

αιεφορική διαχείριση έδωσαν υψηλότερο εισόδημα κατά 12 (ομοιόμορφη λίπανση) και 15,77% (διαφορική λίπανση). Μετά από το κουκί η αιεφορική διαχείριση έδωσε αυξημένο κέρδος κατά 6 09% αντίστοιχα. Στα ξηρικά τεμάχια οι διαφορές δεν αξιολογούνται γιατί ήταν ένα μίγμα καλλιεργητικών πρακτικών. Στόχος ήταν να συγκρίνουμε αρδευόμενα με ξηρικά που δεν κατέσσει δυνατό. Οι διαφορές είναι μικρές καθώς ο στόχος για παραγωγή 600 kg/στρ δεν επιτεύχθηκε λόγω των ιδιαίτερων μετεωρολογικών συνθηκών τη συγκεκριμένη χρονιά (καταγράφηκαν 5 φαινόμενα παγετού με το τελευταίο στις 8-9 Απριλίου) που μείωσαν ουσιαστικά την απόδοση. Παρ' όλα αυτά η μείωση του κόστους από την ακατεργασία και το μειωμένο σπόρο, μαζί με τη μεγαλύτερη παραγωγή μετά από το βαμβάκι έδωσαν καλύτερο αποτέλεσμα. Η διαφορική λίπανση βελτίωσε ελαφρώς το κέρδος για τον αγρότη και οδήγησε σε καλύτερα επίπεδα πρωτεϊνών στο σπόρο.

3.2 Ανάλυση κύκλου ζωής

Πίνακας 3. Ανάλυση κύκλου ζωής

Τεμάχιο		1	2	3	4	5	6	7	8
Παράμετρος	Μονάδες								
Παραγωγή	ton/ha	3,49	3,51	3,89	3,51	3,85	3,49	3,47	3,42
Αποτύπωμα άνθρακα ανά παραγόμενο τόνο	CO2 eq ton/ton	0,59	0,461	0,472	0,553	0,506	0,47	0,522	0,25
Αποτύπωμα νερού ανά παραγόμενο τόνο	H2O m3/ton	2150	1814	1979	2062	2022	1831	2159	1634
Οικολογικό αποτύπωμα ανά παραγόμενο τόνο	Global ha/ton	0,773	0,754	0,688	0,773	0,712	0,759	0,785	0,778
Κατανάλωση πετρελαίου ανά παραγόμενο τόνο	l/ton	26	18	16	32	16	17	16	19
Λιπάσματα ανά παραγόμενο τόνο	kg/ton	98,6	91,1	85	87,3	91,7	93,6	87,3	43
Προϊόντα φυτοπροστασίας ανά παραγόμενο τόνο	kg/ton	0,685	0,632	0,411	0,684	0,426	0,636	0,684	0,664
Ποσότητα σπόρου ανά παραγόμενο τόνο	kg/ton	67,6	56,4	51	67,6	52,7	56,8	58,2	59,2
Συντελεστής αποτελεσματικότητας αζώτου	kg prod./kg N dist.	22,8	28,6	27,1	26,1	25,7	27,7	25,2	70,3
Περιεκτικότητα του σπόρου σε πρωτεΐνη	% dm	15,9	15,8	15,7	14,8	15,9	15,9	14,1	14,9

Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ) έδειξε ότι τα δύο τεμάχια που διαχειρίστηκε ο παραγωγός (1 & 4) είχαν αποτύπωμα άνθρακα μεγαλύτερο από τα τεμάχια που εφαρμόστηκαν εναλλακτικές αιεφόρες πρακτικές (Πίνακας 3). Είναι σαφές ότι η μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας για τη κατεργασία του εδάφους μαζί με τη ποσότητα σπόρου έδωσαν μεγαλύτερο αποτύπωμα άνθρακα από την ακατεργασία, τη μικρότερη ποσότητα σπόρου και τη διαχείριση με το granoduro.net®. Παρ' όλο που η διαχείριση στόχευε σε παραγωγή 600 kg/στρ κάτι που όπως αναφέρθηκε δεν επιτεύχθηκε, λόγω των ζημιών από τους παγετούς και της μη εφαρμογής άρδευσης, η διαχείριση με τις προτεινόμενες πρακτικές έδωσε καλύτερο αποτέλεσμα. Η διαφορική λίπανση έδωσε μικρότερο αποτύπωμα άνθρακα σε σχέση με την ομοιόμορφη λίπανση. Τις ίδιες τάσεις έχουν και οι

δύο άλλοι δείκτες της ΑΚΖ, δηλαδή το αποτύπωμα νερού και το οικολογικό αποτύπωμα γεγονός που ενισχύει την βιωσιμότητα των εναλλακτικών πρακτικών. Επίσης, η μειωμένη κατανάλωση πετρελαίου και η καλύτερη αξιοποίηση του αζώτου είναι δύο δείκτες που δείχνουν τη βελτίωση που επιτυγχάνεται μέσω των τεχνικών της ακατεργασίας και της ορθής λίπανσης.

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η χρονιά που δημιουργήθηκε ο πιλοτικός αγρός ήταν ιδιαίτερη. Παρ' όλο που ήταν μια βροχερή χρονιά οι αυξομειώσεις της θερμοκρασίας με τους 5 παγετούς ήταν μη συνήθη φαινόμενα για την εποχή όπως δείχνει το διάγραμμα. Οι παγετοί έκαναν διαδοχικές ζημιές στο φύλλωμα και κυρίως ο τελευταίος της 8-9/4/21 έκανε ζημιές και στο στάχυ. Αυτό σημαίνει ότι κάθε φορά θα πρέπει να υπάρχει αναπροσαρμογή του εκάστοτε καλλιεργητικού πλάνου σύμφωνα με τα δεδομένα της χρονιάς. Προς αυτή τη κατεύθυνση βοήθησε σημαντικά το σύστημα υποβοήθησης λήψης αποφάσεων. Ο παραγωγός για παράδειγμα, εφάρμοσε μόνο μια δόση αζώτου, ίδια σε όλα τα τεμάχια. Δεν έλαβε υπόψη ούτε τις διαφορετικές συνθήκες του αγρού ούτε τις ιδιαίτερες καιρικές συνθήκες. Αντίθετα, το granoduro.net έλαβε υπόψη: την αναμενόμενη μειωμένη παραγωγή στα τεμάχια 7 & 8 (χωρίς δυνατότητα άρδευσης), το υπολειμματικό άζωτο μετά από το κουκί και τις καιρικές συνθήκες. Κατένειμε επομένως τη λίπανση αρχικά σε δύο δόσεις και στη συνέχεια, λόγω της πρόβλεψης βροχοπτώσεων στον Απρίλιο, πρότεινε και μια τρίτη. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να βελτιωθεί η οικονομικότητα της παραγωγής, η ποιότητα του προϊόντος και οι περιβαλλοντικοί δείκτες.

Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι ο συγκεκριμένος παραγωγός δεν χρησιμοποίησε συμβατική κατεργασία του εδάφους με όργωμα αλλά κάποια μορφή μειωμένης κατεργασίας που μειώνει το κόστος. Εάν η σύγκριση γινόταν με τη μέθοδο του οργώματος, τα οφέλη θα ήταν πολύ μεγαλύτερα. Η χρήση από την πλευρά του 24kg σπόρου στο στρέμμα αντί για 20kg που πρότεινε το granoduro.net αποδείχτηκε ότι δεν ήταν αναγκαία και απλά αύξησε το κόστος.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Το σύστημα υποβοήθησης λήψης αποφάσεων granoduro.net® αποδείχτηκε ένας αξιόπιστος σύμβουλος καθώς όλες οι συμβουλές που πρότεινε ήταν θετικές και βοήθησαν στη καλύτερη διαχείριση της καλλιέργειας και τη βελτίωση του περιβαλλοντικού της αποτυπώματος.
- Η ακατεργασία έδωσε ίδιες ή καλύτερες αποδόσεις από τη μειωμένη κατεργασία.
- Η διαφορική λίπανση την άνοιξη με περισσότερες από μια εφαρμογές, αύξησε τις πρωτεΐνες στο σπόρο.
- Η διαφορική λίπανση έδωσε ενθαρρυντικά στοιχεία παρόλο που το κιτρίνισμα των φύλλων από τους παγετούς δεν βοηθούσε στην αναγνώριση του χρώματος

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΣΤΑΤ 2018. <https://www.statistics.gr/documents/20181/7215cd6b-e28b-e577-10af-31dced4dfb40>

Καβαλάρης Χ., Καραμούτης Χ., Παπαθανασίου Ι. και Θ.Α. Γέμτος, (2003). Προοπτικές εξοικονόμησης ενέργειας κατά την εφαρμογή μειωμένης κατεργασίας του εδάφους στο σιτάρι. Πρακτικά 3ου Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, Θεσ/νίκη 2003, σσ 484-491

Cavalaris C., C. Karamoutis, A. Giaka and T.A. Gemtos (2021). Assessment of economic impacts of Conservation Agriculture and precision agriculture technologies on a winter wheat crop. *Proceedings of the 8th World Congress on Conservation Agriculture*, Bern 2021.

CONSERVATION AGRICULTURE FOR SUSTAINABLE AND VIABLE COTTON PRODUCTION

Chris Cavalaris¹, Chris Karamoutis¹, Athanasios Tsoutsas²

¹University of Thessaly, Department of Agriculture, Crop Production and Rural Environment, Fytokou str. Volos 38446 Greece chkaval@uth.gr

²BASF Hellas S.A., 2, Paradisou, 15125 Maroussi - Athens, Greece

Abstract

Scope of the present study was to evaluate under real farmers conditions Conservation Agriculture practices in order to achieve an environmentally sustainable and farmer viable cotton production. To that end, two pilot cotton fields were established in Central Greece to compare No-tillage (NT) and strip tillage (ST) practices following a perennial legume rotation, with farmers conventional practices following a wheat (CTw) and a cotton (CTc) rotation. An energy, carbon footprint and economic analysis was performed. The results shown that even though CT methods achieved higher yields, NT reduced significant the energy inputs resulting on a similar energy productivity. It also provided 24.3% lower CO₂ emissions per ha and 9.1-15.6% per kg of cotton. The sustainable methods offered also considerable savings in production cost and provided the opportunity to comply with the 30% CO₂ reductions of the Paris Agreement allowing also a margin to trade carbon credits in the market.

Key words: Cotton, sustainability, conservation agriculture, carbon footprint, economic analysis.

ΓΕΩΡΓΙΑ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΓΙΑ ΑΕΙΦΟΡΟ ΚΑΙ ΒΙΩΣΙΜΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΑΜΒΑΚΙΟΥ

Χρήστος Καβαλάρης¹, Χρήστος Καραμούτης, Αθανάσιος Τσούτσας²

¹Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Φυτόκου, Βόλος e-mail: chkaval@uth.gr

²BASF Ελλάς Α.Β.Ε.Ε., Παραδείσου 2, 15125 Μαρούσι- Αθήνα, Ελλάδα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας είναι η αξιολόγηση αειφόρων και βιώσιμων καλλιεργητικών πρακτικών στο βαμβάκι υπό πραγματικές συνθήκες παραγωγού. Η αξιολόγηση έγινε σε δύο γειτονικούς πιλοτικούς αγρούς στη Θεσσαλία. Στον έναν εφαρμόστηκαν αειφόρες πρακτικές με απ'ευθείας σπορά με ακατεργασία του εδάφους (NT) και κατεργασία σε λωρίδες (ST) σε συνδυασμό με μια επωφελή αμειψισπορά με μηδική ενώ στο δεύτερο, μετά από βαμβάκι (CTc) και σιτάρι (CTw), ο παραγωγός ακολούθησε τις συνήθεις καλλιεργητικές πρακτικές με κατεργασία του εδάφους. Καταρτίστηκαν οικονομικά ισοζύγια και έγινε ανάλυση κύκλου ζωής. Παρότι οι μέθοδοι του παραγωγού πέτυχαν υψηλότερες αποδόσεις, η ακατεργασία κατάφερε σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας οδηγώντας σε μια ισότιμη ενεργειακή αποδοτικότητα. Συνέβαλε στην μείωση των εκπομπών CO₂ κατά 24.3% ανά στρέμμα και κατά 9,1-15,6% ανά κιλό σύσπορου προϊόντος. Οι αειφόρες πρακτικές έδωσαν το περιθώριο για ουσιαστική μείωση του κόστους παραγωγής και τη δυνατότητα συμμόρφωσης με τις επιταγές της Ε.Ε. για μείωση των εκπομπών CO₂ κατά 30% μέχρι το 2030 αναδεικνύοντας με τον τρόπο αυτό μια νέα πιθανή πηγή εισοδήματος για τους παραγωγούς μέσω της εμπορίας πιστώσεων άνθρακα.

Λέξεις κλειδιά: Βαμβάκι, αειφορία, γεωργία διατήρησης, αποτύπωμα άνθρακα, οικονομική ανάλυση

1. INTRODUCTION

Cotton is the most important non-food crop in the world. It provides almost half of the human used textiles. On the same time though, it's a crop of high demands with a significant environmental impact. Excessive use of agrochemicals, water quality and scarcity and land degradation are recognized among the most important threats for crop viability and profitability (cottonupguide.org). Sustainable agricultural techniques like Conservation Agriculture (CA) provide significant perspectives to reduce energy use, protect the soil, conserve soil water and eliminate the dependence on chemical fertilizers (www.ecaf.org). The scope of the present study was to demonstrate in real farmer conditions, the feasibility to cultivate cotton with sustainable practices and to identify the impacts on the environment and the farmer's profit. Sustainability was based on the three principles of CA as defined by FAO (<http://www.fao.org/conservation-agriculture>)

2. MATERIAL AND METHODS

The study was conducted on two adjacent pilot fields owned to two different farmers. The one was used for implementing the sustainable practices and the other one for applying the traditional (conventional) practices as a control. The pilots were established in 2020 in central Greece at the region of Rizomilos, Magnesia (39.439732° N, 22.759816° E). (Figure 1). Field 1 was 1.6ha and the previous crop was perennial alfalfa. Field 2 was 3.5ha and included two previous crops, wheat at the 2/3 and cotton at the 1/3.

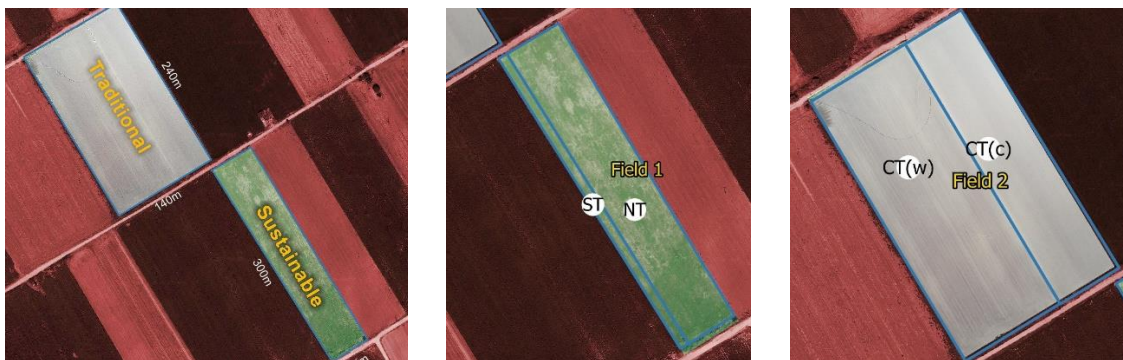


Figure 1. Aerial photo of the two fields at 10/4/20 prior establishing of the pilots (left). Position and size of the four treatments in the two fields (center and right).

Two sustainable practices were established in Field 1, namely:

1. **No tillage (NT)** including direct sowing of the cotton crop with the special planter (Monosem NX-5) owned by University of Thessaly.
2. **Strip tillage (ST)** including soil preparation on strips, 25cm wide at a distance of 95cm (the same as cotton rows) using a special prototype equipment designed by the Lab of Farm Mechanization of University of Thessaly (Gemtos et al., 2006).

The previous alfalfa crop was terminated in both cases by applying glyphosate at a dose of 8L/ha at 11/4/20, prior sowing. Field 2 included traditional (or Conventional) cultivation techniques of cotton comprising of soil tillage with ploughing, tine cultivator and power harrow. Field 2 was divided into two more treatments.

3. **Conventional tillage CTc** after cotton rotation
4. **Conventional tillage CTw** after the winter wheat rotation

Sowing for all the treatments was done at 24/4/20. Variety Elsa was used. Seed rate was 22 seeds per m of row in CTc, CTw and ST methods and 21 seeds per meter of row in NT. The

sowing in the strip tillage method and the two conventional treatments were done by the farmer with his own planter (Gaspardo MTR). Both machines sow on rows of 0.95m apart. The rest of the cropping practices remained more or less the same. The basic differences are traced in: 1) fertilization (farmer 1 in NT & ST field didn't applied a basic fertilizer but farmer 2 in CTc & CTw did). 2) irrigation (farmer 2 applied two more irrigations at the end while farmer 1 applied more water to each irrigation event, at a total however, the applied almost the same amount of water) and 3) at the growth regulator (farmer 2 applied it twice while farmer 1 made a single application).

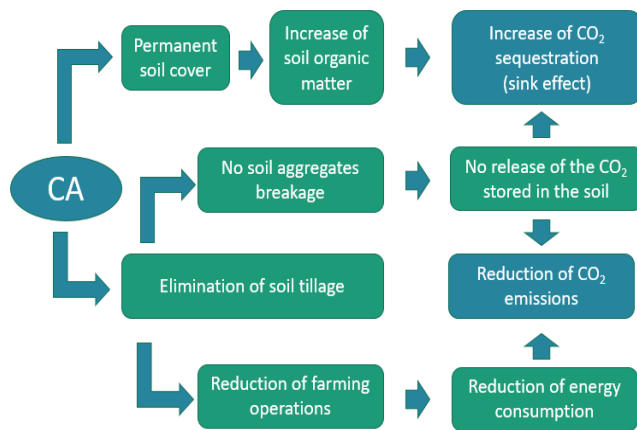


Figure 2. Climate Change mitigation mechanisms through CA (adapted from by Gil Ribes et al., 2017).

Crop yield was estimated by handpicking cotton at 19 GPS marked spots of 2 adjacent rows, 3m each). The location was chosen based on NDVI maps (data not shown) in order to capture the field spatial variability. Additionally, the total production from each treatment was weighted separately. Samples were placed in oven at 72°C for 48h to estimate water content. Yields were corrected to a common moisture content of 13%.

During the growing period cultivation tasks, machinery and agricultural commodities were recorded systematically. The

information was used to estimate energy flows in production process as described by Gemtos et al. (2013). Flows of energy is essential for estimating CO₂ emissions and also an important step for proceeding to a complete economic analysis. The carbon footprints were estimated according to the IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. The mechanisms for climate change mitigation through CA identified by Gil Ribes et al. (2017) were used to access the effects of the present pilots (Figure 2).

The economic analysis was performed with the FarmEcon tool developed by University of Thessaly (Cavalaris et al., 2015). The FarmEcon tool provides the option to choose different kind of expenses as inputs associated to variable and fixed costs. Variable costs are costs associated to commodities, fuels, labor and repairs and maintenance of equipment. They are estimated on a annual basis and are costs that farmers realize because they make regular payments within the growing period. Fixed costs are also recognized as hidden costs for the farmers because either they were paid once as investments (e.g costs of capital spending and interests) or the farmers don't associate them directly to the production process (e.g Fees and taxes, storage costs). They comprise however an important part of the total costs and if overlooked, may result to a fictitious view of the actual economic conditions.

3. RESULTS AND DISCUSSION

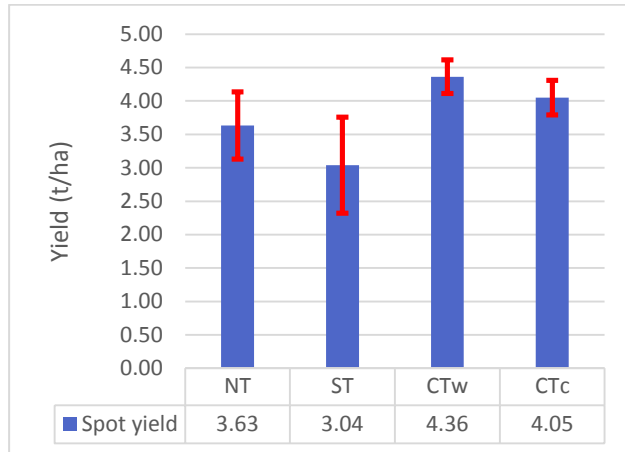


Figure 3. Cotton yield estimated in the spot samples.

the use of glyphosate for weed control and therefore introduces an extra input that is however much less energy intensive than tillage. Energy savings in NT were also obtained from the reduced use of fertilizers and the slightly lower seed rate. On the other hand, the energy for irrigation was a little bit higher because of the higher amount of water. Summing-up, no-tillage provided the opportunity to reduce energy use by 13.3%. Energy productivity in terms of the energy required to produce one kg of cotton was more or less the same for NT, CTw and CTc and much lower for ST (Table 4). Therefore, NT gave the same amount of production with 13.3% less energy use.

Table 1 shows also the CO₂eq emissions for the alternative methods. No tillage eliminated tillage oriented emissions by 468 kg CO₂eq/ha, reduced fertilizer oriented emissions by 66 kg CO₂eq/ha and increased emissions through crop protection by 37 kg CO₂eq/ha and through irrigation by 19 kg CO₂eq/ha (Table 5). Totally, No-tillage offered 24.7% lower CO₂ emissions per ha compared to the Conventional methods. Strip tillage offered also lower CO₂ emissions by 17.6% per ha. Converted to CO₂eq per kg of cotton, No-tillage presented the lowest carbon emissions (by 9.1-15.6% compared to CTw and CTc respectively) and Strip tillage the highest.

Table 1. Energy inputs, energy productivity and carbon emissions.

	Energy Inputs (MJ/ha)				CO ₂ emissions (CO ₂ eq/ha)			
	NT	ST	CTw	CTc	NT	ST	CTw	CTc
Tillage	0	1,783	6,277	6,277	0	133	468	468
Sowing	1,204	1,246	1,246	1,246	24	25	25	25
Fertilization	9,246	9,246	12,178	12,178	164	164	220	220
Crop protection	9,399	9,333	5,981	5,981	165	160	128	128
Irrigation	15,459	15,459	15,196	15,196	1,034	1,034	1,015	1,015
Harvest	865	865	865	865	64	64	64	64
Total	36,173	37,933	41,745	41,745	1,452	1,581	1,919	1,919
Yield (kg/ha)	3,630	3,040	4,360	4,050	3,630	3,040	4,360	4,050
Energy Productivity (kg/MJ)	0.100	0.080	0.104	0.097				
CO₂eq per product (CO₂eq / kg)					0.40	0.52	0.44	0.47

3.1 Yield

Average cotton (seed/lint) yields are shown in Figure 3. NT gave 3.63t/ha, ST 3.04t/ha, CTw 4.36t/ha and CTc 4.05 t/ha. Compared to the highest yielding CTw method, CTc gave 7.1% lower yield and NT 16.7% lower. The differences among the NT, CTw and CTc were not significant.

3.2 Carbon footprint

Table 1 presents the energy budget for the four treatments. No tillage provides the opportunity to eliminate tillage energy inputs. It employs though

Besides reducing CO₂ emissions, a second path that CA are capable to reduce atmosphere CO₂ is through its fixation in organic forms into the soil. According to Gonzalez-Sanchez et. al. (2018) CA provides the potential to increase soil organic carbon in the Mediterranean European countries by 0.74 to 0.85 t per ha annually. For Greece, the potential is estimated to be 0.81 t / ha-year. Considering the molecular weight of carbon and oxygen, 1 ton of organic C are generated from 3.7 ton of CO₂.

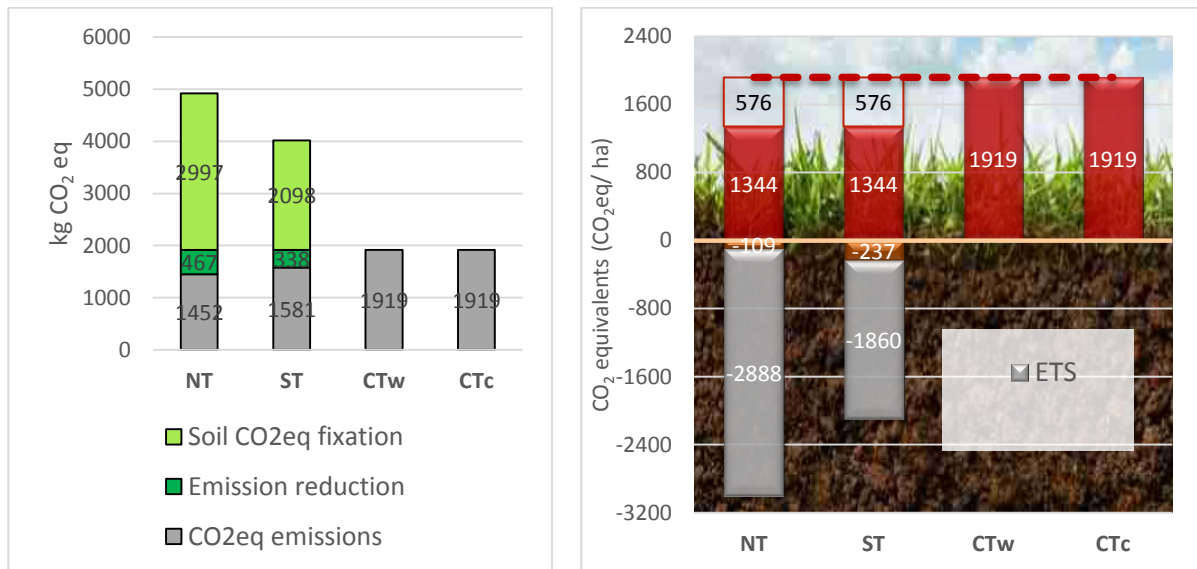


Figure 4. Total CO₂eq emissions, potential savings and capability for soil fixation (left). Carbon mitigation potential and chances to trade carbon credits in the ETS sector (right).

As shown in Figure 4, CO₂ emissions in NT and ST are 467 kg /ha and 338 kg/ha lower respectively, compared to the CT methods. There is also a potential to sequester annually, 2.997 kg CO₂ and 2098 kg CO₂ per ha in NT and ST methods respectively. Totally, NT provides the opportunity to mitigate carbon emissions by 3.464 kg CO₂eq /ha (180% compared to CT) and ST by 2.436 kg CO₂eq /ha (123% compared to CT).

The Paris Agreement pursues to strengthen the global response to the threat of climate change, in the context of sustainable development and efforts to eradicate poverty. To comply with the 40% target compared to 1990, an Emission Reductions compared to 2005 is planned in two areas: 1) 43% in sectors belonging to the EU Emissions Trading Scheme (ETS). 2) 30% in sectors not belonging to the EU Emissions Trading Scheme (non-ETS). Agriculture belongs to the non-ETS sector. At the present case, it should reduce the 1.919 kg CO₂eq per ha produced in the conventional methods by 30%, that is 576 kg CO₂eq per ha. The total CO₂eq emissions in NT are already lower than CT by 1.919-1.452 = 467 kg CO₂eq per ha. They should be decreased further by 576-467 = 109 kg CO₂eq per ha to match the 30% requirements of the Paris Agreement. This can be achieved by utilizing the soil carbon pool potential of 2.997 kg CO₂ per ha and per year. In that case, the soil carbon pool potential will be decreased by 2.997 – 109 = 2.888 kg CO₂ per ha which could be used for trading carbon credits in the ETS markets. Similarly, ST provides the potential of trading 1.860 kg CO₂ per ha annually in the ETS sector (Figure 4).

3.3 Economic analysis

Table 2 summarizes both variable and fixed costs. Compared to CT, total costs are reduced by 325€/ha (15.4%) in NT and by 177€/ha (8.4%) in ST. The cost reduction in NT

originates from elimination of tillage operations (185.7€/ha), reduced tractor depreciation (97.1€/ha), reduced use of fertilizers (93.2€/ha), avoiding mechanical weeding (21.2€/ha), and reduced cost of stalk shredding (2.5€/ha). NT involved however an increased production cost of 56.8€/ha for spraying glyphosate and 16.6€/ha for sowing. There was also a small increase in the cost of irrigation at 1.2€/ha due to the slightly higher water rate. ST provided cost reduction through reducing tillage (119.4€/ha), fertilizer use (93.6€/ha) and eliminating mechanical weeding (21.2€/ha) but involved a higher cost of spraying (55.7€/ha) due to the use of glyphosate.

On a net income basis, the most profitable method proved CTw which allowed a profit of 330€/ha (Table 2 and Figure 5). Second best however was NT with a profit of 246€/ha. CTw hence, allowed for an improved income of 84€/ha. It is worth mentioning that NT outperformed CTc which had a profit of 156€/ha. It is obvious that the achieved yield in CTc didn't justify the increased production costs. From the four methods, ST was the only one to lead on a loss of income due to the considerable low yield which wasn't compensated by the reduction in production costs. Considering the cost to produce one kg of cotton it is estimated that CTw and CTc had the same fixed costs but CTc had a rather higher variable cost (Figure 5). As though, the profit margin for CTw was 0.10€/kg and for CTc, 0.07€/kg. NT had the same variable cost with CTc but lower fixed costs. As a result, the total cost was equal with CTw allowing the same profit margin (0.10€/kg). Conclusively, CTw along with NT proved the most effective methods, with a cost of 0.44€/kg each. ST proved the most expensive method requiring 0.58€ to produce one kg of cotton, a cost that exceeded the selling price resulting therefore to a loss of 0.04€/kg.

Table 2. Total costs (fixed and variable) for the four alternative methods.

	NT	ST	CTw	CTc
Expenses (€/ha)				
Tractor depreciation	124.5	221.6	221.6	221.6
Soil tillage	0.0	66.3	185.7	185.7
Fertilization	122.4	122.4	215.6	215.6
Sowing	163.0	146.4	146.4	146.4
Spraying	601.8	600.7	545.0	545.0
Weeding	0.0	0.0	21.2	21.2
Irrigation	612.0	612.0	610.7	610.7
Harvest	121.7	121.7	121.7	121.7
Stalk shredding	41.7	44.2	44.2	44.2
TOTAL	1,787	1,935	2,112	2,112
Yield (kg/ha)				
	3630	3040	4360	4050
Production cost (€/kg)	0.49	0.64	0.48	0.52
Gross income (€/ha)	2033	1702	2442	2268
Net income (€/ha)	246	-233	330	156

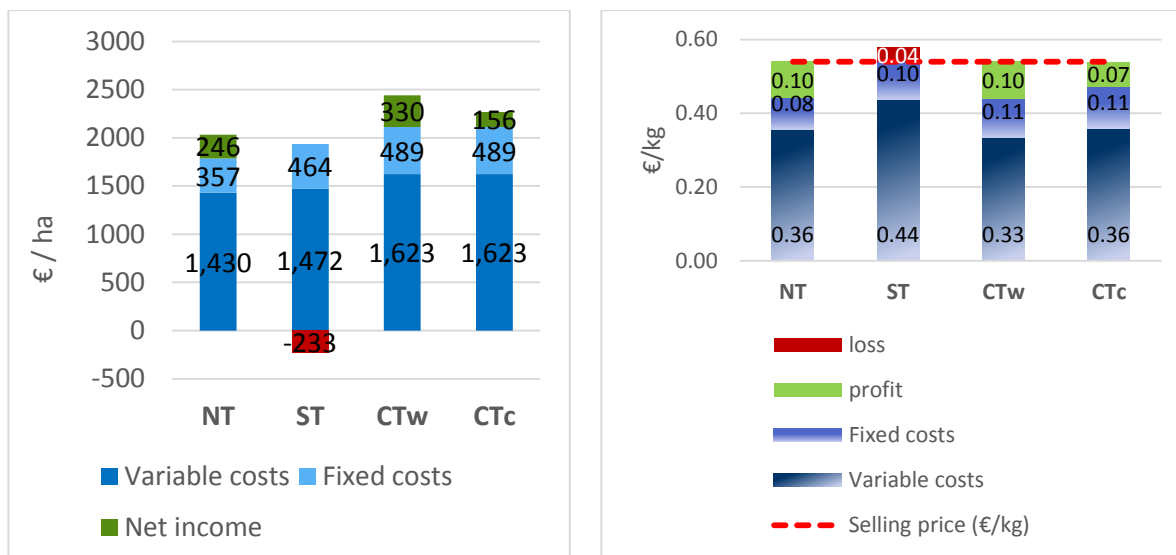


Figure 5. Variable costs, fixed costs and net income per ha for the four alternative methods (left). Variable costs, fixed costs to produce one kg of cotton and profit margins for the four alternative methods (right).

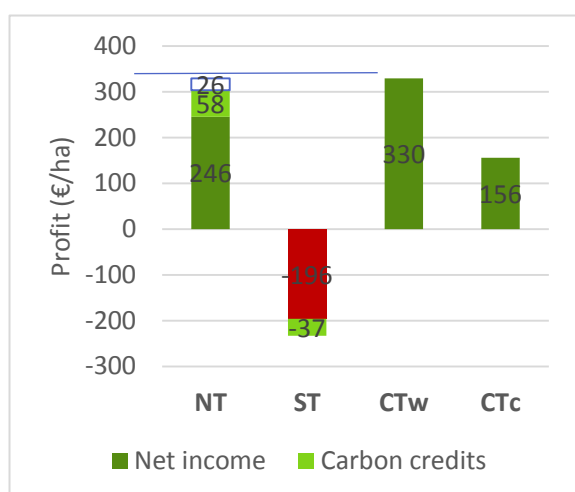


Figure 6. Profit & carbon credits

As mentioned above, CTw allowed a higher income of 84€/ha compared to NT. During the recent years however there is a global emerging carbon market that is highly interested in the application of sustainable agricultural practices capable to sequester greenhouse gasses and therefore mitigate the climate change. Adoption of CA is among the recommended policy measures recognized for its potential to fix carbon into the soil. As explained above, NT was capable to provide 2,88 ton CO₂eq per ha annually, for trading in the ETS sector. At present, CO₂ prices in the global market are highly fluctuating depending on the supplies and demands of the upcoming stakeholders. They

are expected however to get more stable in the near future providing a clearer environment for commercial agreements. During the last two years, the average market price for CO₂ credits is ranging around 20€ per ton (Carbon Credit Capital, 2020). To that price, NT may provide an extra source of income from trading carbon at the order of 2.88 ton CO₂eq per ha x 20€ per ton CO₂eq = 58€/ha (Figure 6). So the difference to the net income between CTw and NT is reduced to 84€ - 58€ = 26€/ha which equals to 48kg of cotton per ha. This means that if the yield in NT was just 1.3% higher, (3.68 instead of 3.63 ton/ha) the profit in NT would be the same with the high yielding CTw method. And of course, any yield higher from 3.68€/ha would turn into a profit for the farmer. Indeed, in the present study it was proved that if the lower yielding areas (<3ton/ha) in NT were excluded (these were areas where a better management could have been performed) the average yield would have been 3.84ton/ha. The extra yield 3.84-3.68 = 0.16t/ha corresponds to an improvement of net

income of 86.4€/ha. ST provided also the chance for an extra income of 37€/ha from carbon trading, but this is not sufficient to compensate the loss of 233€/ha due to reduced yield.

4 CONCLUSIONS

- The traditional CTc and CTw methods achieved higher yields. NT average yield was 16.7% lower and ST gave remarkably lower yield.
- Compared to CT, NT offered 13,3% energy savings per ha and ST 9,1% per ha. Despite the lower yield, NT resulted in a similar energy productivity with CTw
- Compared to CT methods, NT offered 24.3% lower CO₂ emissions per ha and ST 17.6% per ha. In terms of CO₂ emissions per kg of cotton, NT reduced them by 9.1-15.6%.
- No tillage and Strip tillage are capable to fix CO₂ into the soil in the form of organic matter.
- No-tillage and Strip tillage provide the opportunity to comply with the 30% CO₂ reductions of the Paris Agreement and allow also a margin to sell carbon credits in the ETS sector.
- Sustainable methods offered considerable savings in production cost. CTw provided the highest net profit but second best was NT. NT and CTw allowed the highest profit per kg of cotton. There are substantial opportunities for extra income from carbon credits with NT.

5. FUNDING

The present report is part of the project “Sustainable Cotton Crop Production in Greece” funded by BASF Hellas.

6. LITERATURE

- Carbon Credit Capital. Value of Carbon Market Update 2020. <https://carboncreditcapital.com/value-of-carbon-market-update-2020/>
- Cavalaris C., Goubiotis P.N. and Gemtos T.A. (2002). Perspectives of energy savings during the application of reduced tillage methods in cotton crop. Proceedings of the 7th National Conference of IHT “Mild energy forms” Patra 2002. (In Greek).
- Cavalaris, C., C. Karamoutis and T. Gemtos (2015). FarmEcon – A Platform for Estimation of Crop Production Costs. Proceedings of the 9th National Conference of Agricultural Mechanization, Thessaloniki 2015, p. 327-336 (In Greek)
- Cottonupguide.org <http://cottonupguide.org/why-source-sustainable-cotton/challenges-for-cotton/>
- ECAF www.ecaf.org
- Eden M., J Bachmann, C Cavalaris, S Kostopoulou, M Kozaiti, J Böttcher (2020). Soil structure of a clay loam as affected by long-term tillage and residue management, Soil and Tillage Research 204, 104734 doi.org/10.1016/j.still.2020.104734
- Gemtos T.A., Cavalaris C. , Karamoutis C. and Tagarakis A. (2013). Energy analysis of three energy crops in Greece. Agricultural Engineering International: CIGR Journal, Vol 15(4) p52-66.
- Gemtos T.A, Cavalaris C.C. and Karamoutis C. (2006). Evaluation of a strip tillage method for cotton production in Greece. Eurageng 2006 World Congress Bonn.
- González-Sánchez, E. Moreno-García M., Kassam A., Holgado-Cabrera A., Triviño-Tarradas P., Carbonell-Bojollo R., Pisante M., Veroz-González, O., Basch G. (2018). Conservation Agriculture: Making Climate Change Mitigation and Adaptation Real in Europe. European Conservation Agriculture Federation (ECAAF). www.ecaf.org

IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories 2006 Vol. 3. Industrial Processes and Product Use <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol3.html>
Zegada-Lizarazu, W.; Matteucci, D.; Monti, (2010). A. Critical review on energy balance of agricultural systems. *Biofuels, Bioprod. Biorefining* 2010, 4, 423–446, doi:10.1002/bbb.227.

Πρόγραμμα του 12^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου της ΕΓΜΕ με τίτλο:

«Η συμβολή της Γεωργικής Μηχανικής στην επίτευξη των στόχων της πράσινης συμφωνίας»

Πέμπτη 21 Οκτωβρίου 2021

10:40-11:20 Χαιρετισμοί

ZOOM Αίθουσα 1

11:20-12:20

Προσκεκλημένες ομιλίες

ZOOM Αίθουσα 1

Προεδρείο: Αν. Καθ. Θ. Κωτσόπουλος, Αν. Καθ. Θ. Μπαρτζάνας

11:20 The principles and Problems in Selecting Appropriate Dryer in Food Engineering

Dr. Ivan Zlatanović, Associate Professor

Department for Agricultural Engineering, University of Belgrade

11:40 Βιοαέριο: Προοπτικές και εξελίξεις

Δρ. Ειρήνη Αγγελιδάκη, Καθηγήτρια

Department of Chemical and Biochemical Engineering, Technical University of Denmark

12:00 Αειφορική Γεωργία υπό το Πρίσμα της Γεωργικής Μηχανικής

Δρ. Γεώργιος Παπαδάκης, Καθηγητής

Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, ΓΠΑ

12:20-12:30 Διάλειμμα

12:30-14:15 1 ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

ZOOM Αίθουσα 1

Προεδρείο: Καθ. Ν. Κατσούλας, Δρ. Α. Μαρτζοπούλου

12:30 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΕΣΣΑΡΩΝ ΠΡΟΣΜΙΞΕΩΝ ΠΕΡΙΛΗΤΗ ΜΕ ΑΝΟΡΓΑΝΑ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΟΜΑΤΑΣ

Α. Μπάρη, Χ. Παπαϊωάννου, Π. Σπηλιωτοπούλου & Ν. Κατσούλας

12:45 ΧΡΗΣΗ ΒΙΟΦΙΛΤΡΩΝ ΚΑΙ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΩΝ ΣΕ ΠΤΗΝΟΤΡΟΦΕΙΑ

Κ. Μπαξεθάνου, Δ. Φείδαρος, Η. Γιάννενας, Ελ. Μπόνος & Ι. Σκούφος

13:00 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΓΓΟΥΡΙΟΥ ΜΕ ΥΔΡΟΠΟΝΙΑ ΚΑΙ ΕΝΥΔΡΕΙΟΠΟΝΙΑ

Ν. Κατσούλας, Μ. Ασλανίδου, Δ. Κ. Παπαναστασίου & Β. Ανέστης

13:15 ΚΑΙΝΟΤΟΜΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ ΕΝΤΟΜΟΣΤΕΓΩΝ ΔΙΧΤΥΩΝ – ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

Α. Γιαννούλης, Α. Μυστριώτης & Δ. Μπριασούλης

13:30 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΡΟΩΝ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΕ ΕΝΥΔΡΕΙΟΠΟΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Μ. Ασλανίδου, Α. Ελβανίδη, Β. Βασιλειάδης & Ν. Κατσούλας

13:45 ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΗΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΡΟΗΣ ΑΕΡΑ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΥΠΕΡΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Β. Λάσκος, Ν. Μαλαματάρης, Θ. Κωτσόπουλος & Β. Φράγκος

14:00 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ ΔΙΧΤΥΩΝ ΕΝΤΟΜΟΣΤΕΓΑΝΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΝΑΝΟΣΩΜΑΤΙΔΙΑ ΠΥΡΙΤΙΟΥ ΣΤΟΝ ΠΛΗΘΥΣΜΟ ΤΩΝ ΕΝΤΟΜΩΝ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΑΕΡΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΔΙΧΤΥΩΝ

Σ. Φαλιάγκα και Ν. Κατσούλας

14:15-14:30 Διάλειμμα

14:30-16:30 2 ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

ZOOM Αίθουσα 1

Προεδρείο: Αν. Καθ. Θ. Μπαρτζάνας, Δρ. Γ. Ντίνας

14:30 GAS EMISSION MITIGATION MEASURES FROM LIVESTOCK MANURE MANAGEMENT CHAIN

A. Maragou, V. Anestis & T. Bartzanas

14:45 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΝΕΑΡΩΝ ΦΥΛΛΩΝ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ ΜΕ ΠΑΡΟΧΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Ή ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

Γ. Λιάντας, Ι. Χατζηγεωργίου, Φ. Μπαντής, Μ. Καραγιωβανίδης, Α. Κουκουνάρας & Γ.Κ. Ντίνας

- 15:00 [MELS PROJECT: MITIGATING GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM LIVESTOCK SYSTEMS](#)
[V. Anestis](#), T. Bartzanas, F. Dragoni & B. Amon
- 15:15 [ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΝΥΔΡΕΙΟΠΟΝΙΑΣ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΚΤΡΟΦΗ ΠΕΣΤΡΟΦΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ](#)
[Χ. Βασδραβανίδης](#), Δ. Παπαδόπουλος, Ι. Χατζηγεωργίου, Α. Λάττος, Ι.Α. Γιάντσης & Γ.Κ. Ντίνας
- 15:30 [MILKEY PROJECT: DECISION SUPPORT SYSTEM FOR SUSTAINABLE AND GHG OPTIMIZED MILK PRODUCTION IN KEY EUROPEAN AREAS](#)
[V. Anestis](#), T. Bartzanas, F. Dragoni & B. Amon
- 15:45 [ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΡΟΚΑΣ: Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΨΥΞΗΣ ΤΟΥ ΘΡΕΠΤΙΚΟΥ ΔΙΑΛΥΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ](#)
[Ι. Χατζηγεωργίου](#), Γ. Λιάντας, Π. Καρνούτσος, Φ. Μπαντής, Α. Κουκουνάρας & Γ.Κ. Ντίνας
- 16:00 [FARMSUSTAINABL PROJECT: ENABLING SMART LIVESTOCK FARMING TECHNOLOGIES FOR ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY USING BLOCKCHAIN](#)
[V. Anestis](#), T. Bartzanas, Z. Tsiropoulos & E. Anastasiou
- 16:15 [ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF COMMERCIAL GREENHOUSE CROPS IN GREECE](#)
[V. Anestis](#), L. Andris & T. Bartzanas

16:30-16:45 **Διάλειμμα**

16:45-18:15 **3 Καινοτομία και Νέες Τεχνολογίες**

ZOOM Αίθουσα 1

Προεδρείο: Αν. Καθ. Ε. Γκόλια, Δρ. Β. Φιρφίρης

- 16:45 [OPTIMA – ΠΡΟΟΔΟΣ ΣΤΗ ΒΕΛΤΙΩΜΕΝΗ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΓΙΑ ΑΚΡΙΒΗ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟ ΦΥΤΙΚΩΝ ΑΣΘΕΝΕΙΩΝ ΣΕ ΜΟΝΙΜΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ ΚΑΙ ΛΑΧΑΝΙΚΑ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΑΓΡΟΥ](#)
[Α. Μπαλαφούτης](#), Μ. Μωραϊτής, Ν. Μυλωνάς, Σ. Φουντάς, Π. Σταματελόπουλος & Ζ. Τσιρόπουλος
- 17:00 [INNOSETA - ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΚΑΙΝΟΤΟΜΩΝ ΠΡΑΚΤΙΚΩΝ ΓΙΑ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟ ΨΕΚΑΣΜΟΥ, ΚΑΤΑΡΤΙΣΗ ΚΑΙ ΠΑΡΟΧΗ ΣΥΜΒΟΥΛΩΝ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΓΕΩΡΓΙΑ ΜΕΣΩ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΓΝΩΣΗΣ ΚΑΙ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑΣ](#)
Μ. Μωραϊτής, [Κ. Βαϊόπουλος](#), Α. Μπαλαφούτης, Μ. Κουτσιαράς, Σ. Φουντάς, Β. Κανάκη, Α. Κουτσούρης, Μ. Καμινιάρης & Ζ. Τσιρόπουλος
- 17:15 [RES4LIVE – ΕΞΥΓΝΗ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΑ ΜΕ ΣΤΟΧΟ ΤΗ ΜΗΔΕΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΟΡΥΚΤΑ ΚΑΥΣΙΜΑ](#)
[Δ. Τύρης](#), Δ. Μανωλάκος, Θ. Μπαρτζάνας, Β. Ανέστης, Α. Μπαλαφούτης, Μ. Μωραϊτής, Π. Μπακάλης, Α. Γκούντας, Σ. Κοτσιλίτης & Σ. Καλογρίδης
- 17:30 [AGROFOSSILFREE - ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΓΙΑ ΕΠΙΤΕΥΞΗ ΜΙΑΣ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΑΣ ΑΠΑΛΛΑΓΜΕΝΗΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΟΡΥΚΤΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ](#)
[Κ. Βαϊόπουλος](#), Α. Μπαλαφούτης, Φ. Βανδώρου, Μ. Μωραϊτής, Σ. Βουλγαράκη, Β. Κανάκη, Α. Κουτσούρης, Β. Paris, Δ. Μανωλάκος, Γ. Παπαδάκης, Μ. Καμινιάρης & Ζ. Τσιρόπουλος
- 17:45 [ΔΑΣΟΠΟΝΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ: ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗ ΔΑΣΙΚΗ ΠΡΑΞΗ](#)
[Χ. Κολιούσκα](#)
- 18:00 [EDUCATIONAL COURSES FOR MANAGERS AND TECHNICIANS OF RESILIENT AND SUSTAINABLE FARMING, OFFERED BY VALOR ERASMUS+ PROJECT](#)
G. Miliokas, [D. K. Papanastasiou](#), D. Antoniadis & N. Katsoulas

12:30-14:45 **4 Εδαφικοί Πόροι**

ZOOM Αίθουσα 2

Προεδρείο: Αν. Καθ. Δ. Γασπαράτος, Επ. Καθ. Ι. Υψηλάντης

- 12:30 [ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΣΧΕΣΕΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΟΥ SAR_e ΚΑΙ ΤΩΝ SAR_{1:1}, SAR_{1:5}](#)
Γ. Κάργας, [Δ. Κόκας](#), Π. Λόντρα & Α. Σγουμποπούλου
- 12:45 [ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΕΔΑΦΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΒΙΟ-ΤΣΙΜΕΝΟΠΟΙΗΣΗΣ](#)
[Α. Βράννα](#) & Σ. Κωστοπούλου
- 13:00 [Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΥΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ ΣΤΟΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ _{1:5} \(EC_{1:5}\) ΣΕ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΠΑΣΤΑΣ ΚΟΡΕΣΜΟΥ \(EC_e\)](#)
[Γ. Κάργας](#), Β. Κακαλή, Φ. Κούνγκουλλι, Σ. Θάνος, Χ. Κατσαούνης, Π. Λόντρα & Κ. Σωτηράκογλου

- 13:15** ΓΕΝΟΤΥΠΟΣ ΚΑΙ ΣΤΑΔΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΦΥΤΩΝ ΚΑΛΑΜΠΟΚΙΟΥ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΛΛΕΙΨΗΣ ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΜΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΤΗ ΜΥΚΟΡΡΙΖΙΚΗ ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ M. Αληφραγκή, Μ. Ορφανουδάκης, Ι. Σιστάνης, Φ. Παπαθανασίου, Ι. Παπαδόπουλος, Μ. Αγγελακούδη, Μ. Φουρνομίτη, Ι. Βροχίδης, Ε. Σιναπίδου & Ι. Τοκατλίδης
- 13:30** ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΒΙΟ-ΕΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΟΣ & ΕΝΔΟΜΥΚΟΡΡΙΖΙΚΩΝ ΕΜΒΟΛΙΩΝ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΡΙΤΑΜΟΥ (*Crithmum maritimum* L.) & ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ (*Lactuca sativa*, L.) E. Συργανίδης, Ι. Υψηλάντης, Δ. Γασπαράτος & Δ. Καλδέρης
- 13:45** ΕΚΧΥΛΙΣΗ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ Ν, Ρ, Κ, Β ΑΠΟ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΚΑΦΕ ΣΕ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΤΑΚΛΥΣΗΣ ΜΕ ΣΤΟΧΟ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΟΡΥΖΩΝΕΣ Π. Κέκελης, Α. Παυλάτου-Βε, Γ. Στρουθόπουλος, Ν. Μονοκρούσος & B. Ασχονίτης
- 14:00** ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΒΙΟΔΙΕΓΕΡΤΗ ΕΚΨΥΛΙΣΜΑΤΟΣ ΦΥΚΙΩΝ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΛΗΨΗ ΣΕΛΗΝΙΟΥ ΑΠΟ ΦΥΤΑ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ (*LACTUCA SATIVA*) ΠΟΥ ΑΝΑΠΤΥΧΘΗΚΑΝ ΣΕ ΑΣΒΕΣΤΟΥΧΟ ΕΔΑΦΟΣ I. Ζαφειρίου, Ε. Τρικόγλου Καρύκα, Κ. Κουνάνη, Δ. Γασπαράτος & Ι. Μάσσας
- 14:15** ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΦΩΣΦΟΡΙΚΗΣ ΛΙΠΑΝΣΗΣ ΣΤΑ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΓΕΝΟΤΥΠΩΝ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΟΥ ΜΠΙΖΕΛΙΟΥ (*Pisum sativum*), ΒΙΚΟΥ (*Vicia sativa*) ΚΑΙ ΚΟΥΚΙΟΥ (*Vicia faba*) Π. Παπακαλούδης, Μ. Λάσκαρη & Χ. Δόρδας
- 14:30** ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΕΙΣΡΩΝ ΣΤΑ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΥΟ ΥΒΡΙΔΙΩΝ ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΥ Μ. Λάσκαρη, Π. Παπακαλούδης, Γ. Μενεξές, Ι. Γκατζόλης, Η. Κάλφας & Χ. Δόρδας

14:45-15:00 **Διάλειμμα**

15:00-17:00 **5 Υδατικοί Πόροι**

ZOOM Αίθουσα 2

Προεδρείο: Αν. Καθ. Π. Γεωργίου, Αν. Καθ. Δ. Καρπούζος

- 15:00** ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΣΤΗΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΥ Μ. Λάσκαρη, Α. Μιχαλίτσης, Γ. Μενεξές, Ι. Γκατζόλης, Η. Κάλφας & Χ. Δόρδας
- 15:15** EVALUATION OF A DECISION SUPPORT SYSTEM FOR IRRIGATION MANAGEMENT FOR THE CASE OF A VERTZAMI WINE GRAPE ORCHARD IN NORTHWEST GREECE A.G. Apostolopoulou, Μ. Giannelos, Ρ. Baltzoi, Ν. Malamos & Ι.Λ. Tsirogiannis
- 15:30** ESTIMATION OF IRRIGATION WATER NEEDS FOR THE RESTORATION OF THE NORTH EVIA OLIVE GROOVES AFTER THE AUGUST 2021 FOREST FIRE: THE CASE OF AGIA ANNA N. Malamos
- 15:45** ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΟΜΒΡΟΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΓΙΑ ΑΡΔΕΥΤΙΚΗ ΧΡΗΣΗ ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΟΜΑΤΑΣ Π. Λόντρα, I. Κοτσάτος, Α. Θεοχάρης & Ν. Δέρκας
- 16:00** ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΕΙΚΤΩΝ ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΣΕ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΤΗΣ Π.Ε. ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ Ζ. Μπρόζου, Π. Γεωργίου & Δ. Καρπούζος
- 16:15** ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΟΣ ΕΜΠΕΡΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΤΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ ΑΠΟ ΓΥΜΝΟ ΕΔΑΦΟΣ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ Γ. Κάργας, Σ. Πάλλη-Γραβάνη, Α. Κοτσίρη & Π. Λόντρα
- 16:30** ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΟΜΒΡΟΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΓΙΑ ΑΡΔΕΥΤΙΚΗ ΧΡΗΣΗ ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΜΠΙΓΚΟΝΙΑΣ Π. Λόντρα, N. Θεοτοκάτος, Α. Θεοχάρης & Ν. Δέρκας
- 16:45** ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΛΗΨΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΚΡΗΤΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΚΑΙΝΟΤΟΜΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ N. Κουργιαλάς, Γ. Μοριανού, Α. Χλιαουτάκης, Α. Βουλγαράκης, Α. Αργυρίου, Ν. Παπαδόπουλος, Ε. Κόκκινου, Ι. Δαλιακόπουλος, Δ. Καλδέρης, Θ. Μανιός, Α. Παυλάκη & Α. Βαφείδης

10:00-10:45 6 **Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Εξοικονόμηση Ενέργειας**

ZOOM Αίθουσα 1

Προεδρείο : Καθ. Γ. Παπαδάκης, Αν. Καθ. Θ. Κωτσόπουλος

- 10:00 ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΥΘΗΑ ΜΕ ΑΤΜΟ ΓΙΑ ΚΑΛΥΨΗ ΑΝΑΓΚΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΑΠΟΡΡΙΠΤΟΜΕΝΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΤΟΥ CO₂ ΤΩΝ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ
Β. Φιρφιρής, Α. Μαρτζοπούλου, I. Zlatanovic & Θ.Κωτσόπουλος
- 10:15 ΜΑΖΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΘΕΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΩΣ ΠΗΓΗ ΕΥΕΛΙΞΙΑΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΥΠΟ ΤΗ ΣΥΝΔΕΣΗ ΕΝΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ – ΤΡΟΦΙΜΩΝ. ΜΙΑ ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ
Δ. Αυγουστάκη, Γ. Ξύδης & Θ. Μπαρτζάνας
- 10:30 ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΑΙΚΗ ΕΝΩΣΗ
Π. Γιατσιδής & Ζ. Ανδρεοπούλου

10:45-11:00 **Διάλειμμα**

11:00-12:45 7 **Καινοτομία και Νέες Τεχνολογίες**

ZOOM Αίθουσα 1

Προεδρείο : Καθ. Ζ. Ανδρεοπούλου, Επ. Καθ. Ξ.Ε. Πανταζή

- 11:00 ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΙΧΘΥΟΠΑΝΙΔΑ ΤΩΝ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ ΜΕ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΡΥΘΜΟΝ ΚΑΙ SQL
Κ. Κωνσταντινίδης, Κοκκινάκης Α. & Ανδρεοπούλου Ζ.
- 11:15 ΝΕΕΣ ΤΠΕ ΣΤΗΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ: Η ΠΡΟΩΘΗΣΗ ΤΟΥ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΥ ΤΟΥΡΙΣΜΟΥ ΣΤΗΝ ΚΡΗΤΗ
Α. Π. Σούλη, Χ. Κολιούσκα & Ζ. Ανδρεοπούλου
- 11:30 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΕΞ' ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ ΣΤΙΣ ΣΠΟΥΔΕΣ ΔΑΣΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
Ζ. Ανδρεοπούλου, Ν. Καψάλη & Σ. Τσουκαρελλά
- 11:45 ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΞΗΡΑΣ ΟΥΣΙΑΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΡΠΩΝ ΑΚΤΙΝΙΔΙΑΣ
Β.Σ. Τιτέλη, Μ. Μιχαηλίδης & Α. Μολασιώτης
- 12:00 Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΥΣΤΗΜΙΚΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΣΤΗΝ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΤΡΑΥΜΑΤΙΣΜΟΥ ΣΤΗΝ ΩΡΙΜΑΝΣΗ ΚΑΡΠΩΝ ΑΚΤΙΝΙΔΙΑΣ
Χ. Πολυχρονιάδου, Μ. Μιχαηλίδης & Α. Μολασιώτης
- 12:15 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ GLAM ΚΑΙ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ
Δ. Κασαμπαλής, Κ. Pattnayak, C. Symonds, Θ. Αλεξανδρίδης & Α. Challinor
- 12:30 ΔΑΣΙΚΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΚΥΒΕΡΝΗΣΗ: ΨΗΦΙΑΚΟΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ Ε.Ε
Β. Δάτση

12:45-13:00 **Διάλειμμα**

13:00-14:15 8 **Καινοτομία και Νέες Τεχνολογίες**

ZOOM Αίθουσα 1

Προεδρείο : Δρ. Δ. Κατέρης, Δρ. Α. Ταγαράκης

- 13:00 ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΡΓΟΝΟΜΙΑ ΣΤΗΝ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΝΘΡΩΠΟΥ-ΡΟΜΠΟΤ ΣΤΗΝ ΓΕΩΡΓΙΑ
Δ. Μπένος, Α. Ταγαράκης, Ε. Αϊβαζίδου, Α. Αναγνώστης, Δ. Κατέρης & Δ. Μπόχτης
- 13:15 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΥΦΥΟΥΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΕΩΡΓΙΑΣ ΣΤΗΝ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΤΗΣ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΑΣ
Θ. Αγγελοπούλου, Α. Ταγαράκης, Χ. Δόρδας, Δ. Κατέρης & Δ. Μπόχτης

- 13:30 [ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΖΙΖΑΝΙΩΝ ΣΕ ΑΜΠΕΛΩΝΕΣ](#)
[Δ. Καλαϊτζίδης](#), Δ. Κατέρης, Β. Μωυσιάδης, Γ. Βασιλειάδης, Δ. Κατικαρίδης, Α. Ταγαράκης & Δ. Μπόχτης
- 13:45 [ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΠΑΡΑΛΛΑΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗΣ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ ΑΠΟ ΠΙΘΑΝΑ ΤΟΞΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ](#)
[Ουρανία-Δέσποινα Κάντζου](#), Ευαγγελία Ε. Γκόλια, Σωτηρία Παπαδήμου, Μαρία-Αννα Χαρτοδιπλωμένου, Βασίλειος Αντωνιάδης & Νικόλαος Τσιρόπουλος
- 14:00 [ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΧΑΛΚΟΥ ΚΑΙ ΚΑΔΜΙΟΥ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΕΔΑΦΗ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ](#)
[Μ.Α Χαρτοδιπλωμένου](#), Ε.Ε. Γκόλια, Σ. Παπαδήμου, Ο.Δ Κάντζου, Β. Αντωνιάδης & Ν. Τσιρόπουλος

10:00-11:45 9 **Περιβάλλον και Διαχείριση Αποβλήτων**

ZOOM Αίθουσα 2

Προεδρείο : Δρ. Παναγιώτης Κούγιας, Δρ. Σωτήριος Καλαμάρας

- 10:00 [ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΡΟΦΗΣΗΣ ΦΩΣΦΟΡΟΥ ΚΑΙ ΑΜΜΩΝΙΑΚΟΥ ΑΖΩΤΟΥ ΑΠΟ ΑΝΑΕΡΟΒΙΩΣ ΧΩΝΕΜΕΝΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΣΕ ΖΕΟΛΙΘΟ ΚΑΙ ΙΠΤΑΜΕΝΗ ΤΕΦΡΑ](#)
[Δ. Μητρογιάννης](#), Μ. Ψυχογιού, Δ. Παλλές, Ε. Ι. Καμίτσος, Ν. Κούκουζας, Κ. Μαυρογόνατος & Ι. Μπαζιώτης
- 10:15 [ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ ΑΜΜΩΝΙΑΣ ΣΕ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΟΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΔΕΥΣΗΣ ΥΠΟ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΧΑΜΗΛΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΟΡΓΑΝΙΚΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ](#)
[Μ.Α. Τσιτσιμπίκου](#), Χ. Τζένος & Θ. Κωτσόπουλος
- 10:30 [CARBON FOOTPRINT OF BROILER MEAT PRODUCED WITH ALTERNATIVE PROTEIN SOURCES](#)
[V. Anestis](#), T. Bartzanas & D. K. Papanastasiou
- 10:45 [ΕΞΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΒΙΩΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΑΠΟΙΚΟΔΟΜΗΣΗΣ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗΣ ΛΟΓΩ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣ ΑΜΜΩΝΙΑΣ](#)
[Μ. Γάσπαρη](#), L. Treu, N. Duan, Θ. Κωτσόπουλος, I. Angelidaki, S. Campanaro & Π. Γ. Κούγιας
- 11:00 [ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΑΝΤΙΚΤΥΠΟΥ ΑΥΤΩΝ ΣΤΗ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΕΝΟΣ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ](#)
[Ε. Αλεξανδρόπουλος](#), Β. Ανέστης & Θ. Μπαρτζάνας
- 11:15 [ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT OF AN AQUACULTURE PRODUCTION SYSTEMS USING THE LIFE CYCLE APPROACH](#)
[A. Vatsanidou](#), V. Anestis, I. Skoufos, A. Tzora & T. Bartzanas
- 11:30 [ΕΥΡΕΣΗ ΒΕΛΤΙΣΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΠΡΟΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΣΤΙΚΗΣ ΙΛΥΟΣ ΜΕ ΥΠΕΡΚΡΙΣΙΜΗ ΕΚΡΗΣΗ CO₂ ΜΕ ΣΚΟΠΟ ΤΗ ΜΕΓΙΣΤΗ ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ](#)
[Γ.Χ. Μήτρακα](#), Κ. Κοντογιαννόπουλος, Ι. Τσιβιντζέλης, Κ. Τσιόπτσιας, Α. Ζουμπούλης & Π. Κούγιας

11:45-12:00 **Διάλειμμα**

12:00-13:45 10 **Περιβάλλον και Διαχείριση Αποβλήτων**

ZOOM Αίθουσα 2

Προεδρείο : Καθ. Π. Σαμαράς, Επ. Καθ. Ιωάννης Φωτίδης

- 12:00 [ON-DEMAND AMMONIA TOLERANT METHANOGENIC BIOAUGMENTATION INOCULA](#)
[I.A Fotidis](#), Y. Yan, M. Yan, D. Fu & I. Angelidaki
- 12:15 [ΑΣΤΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΚΑΙ ΕΝ ΔΥΝΑΜΕΙ ΤΟΞΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ ΤΗΣ COVID – 19, ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ: ΒΟΛΟΣ, ΕΛΛΑΔΑ](#)
[Π. Σ. Ασλανίδης](#) & Ε. Ε. Γκόλια
- 12:30 [ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΟΣ ΑΝΤΙΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΕ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΛΗΨΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΔΙΑΒΡΩΤΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ \(SPI\) & ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΕΔΑΦΩΝ \(TWI\). ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ.](#)
[Α. Σπυρίδης](#), Α. Κωνσταντινίδης, Β. Κουτάλου & Δ. Δερβενιωτάκης

- 12:45 ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΜΙΚΡΟΦΥΚΩΝ ΣΕ ΦΩΤΟΒΙΟΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΜΕ ΥΨΗΛΗ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΑΖΩΤΟ
Π. Ψαχούλια, Π. Αράπογλου, Ν. Τριάντη & Π. Σαμαράς
- 13:00 ΚΙΝΗΤΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΦΥΚΟΥΣ SCHIZOCHYTRIUM LIMACINUM ΣΕ ΑΚΑΤΕΡΓΑΣΤΗ ΓΛΥΚΕΡΟΛΗ ΚΑΙ ΕΚΡΟΕΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ
Δ. Αντωνιάδης, Σ. Μπούρας, Γ. Κούντριας, Ι. Καραπαναγιωτίδης & Ν. Κατσούλας
- 13:15 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΜΙΚΡΟΦΥΚΩΝ
Δ. Αντωνιάδης, Δ. Κ. Παπαναστασίου, Β. Ανέστης, Σ. Μπούρας & Ν. Κατσούλας
- 13:30 DAM BREAK ANALYSIS USING HEC-RAS: THE CASE OF TRIANTAFYLLIA DAM IN NORTHERN GREECE
C. Mattas, P. Georgiou, D. Karpouzou & T. Tsapanos

13:45-14:00 Διάλειμμα

14:00-15:15 11 Γεωργικά Μηχανήματα-Εξοπλισμοί

ZOOM Αίθουσα 2

Προεδρείο : Αν. Καθ. Σ. Φουντάς, Αν. Καθ. Β. Φράγκος

- 14:00 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΜΙΚΡΟΨΕΚΑΣΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΣΕ ΑΜΠΕΛΙΑ
Κ. Δαγρές, Ν. Μυλωνάς, Β. Ψηρούκης, Μ.Γ. Κουτσιάρης, Γ. Μπουροδήμος & Σ. Φουντάς
- 14:15 CAVITATION DETECTION ON CENTRIFUGAL IRRIGATION PUMPS, USING AUDIBLE SOUND SIGNAL AND COMPUTATIONAL INTELLIGENCE
M. Karagiouvanidis, X.E. Pantazi, V. Fragkos & D. Moshou
- 14:30 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΕΙΦΟΡΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΩΝ ΠΡΑΚΤΙΚΩΝ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΣΚΛΗΡΟΥ ΣΙΤΟΥ
Α. Γιάκα, Χ. Καβαλάρης, Χ. Καραμούτης, Κ. Θεοχαρίδης & Θ. Γέμος
- 15:00 CONSERVATION AGRICULTURE FOR SUSTAINABLE AND VIABLE COTTON PRODUCTION
C. Cavalaris, C. Karamoutis & A. Tsoutsas

15:30-16:00 Απονομή τιμητικής διάκρισης σε διακεκριμένα μέλη της Ε.Γ.Μ.Ε. για την εξέχουσα προσφορά τους στα πεδία των δραστηριοτήτων της Γεωργικής Μηχανικής ZOOM Αίθουσα 1

16:00 – 17:00 Συζήτηση στρογγυλής τραπέζης – Λήξη συνεδρίου

ZOOM Αίθουσα 1

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΥΓΓΡΑΦΕΩΝ

- Αγγελακούδη Μ., 260
Αγγελοπούλου Θ., 201
Αϊβαζίδου Ε., 193
Αλεξανδρίδης Θ., 179
Αλεξανδρόπουλος Ε., 416
Αληφραγκή Μ., 260
Αναγνώστης Α., 193
Ανδρεοπούλου Ζ., 146, 155, 163, 388
Ανέστης Β., 29, 118, 416, 463
Αντωνιάδης Β., 216, 224
Αντωνιάδης Δ., 455, 463
Αράπογλου Π., 451
Αργυρίου Α., 370
Ασλανίδης Π. Σ., 433
Ασλανίδου Μ., 29, 45
Ασχονίτης Β., 276
Αυγουστάκη Δ., 383
Βαϊόπουλος Κ., 109, 126
Βανδώρου Φ., 126
Βασδραβανίδης Χ., 76
Βασιλειάδης Β., 45
Βασιλειάδης Γ., 209
Βαφείδης Α., 370
Βουλγαράκη Σ., 126
Βουλγαράκης Α., 370
Βράννα Α., 243
Βροχίδης Ι., 260
Γασπαράτος Δ., 268, 284
Γάσπαρη Μ., 412
Γέμτος Θ., 498
Γεωργίου Π., 345
Γιάκα Α., 498
Γιάννενας Η., 20
Γιαννούλης Α., 37
Γιάντσης Ι.Α., 76
Γιατσιδής Π., 388
Γκατζόλης Ι., 305, 316
Γκόλια Ε. Ε., 216, 224, 433
Γκούντας Α., 118
Δαγρές Κ., 483
Δαλιακόπουλος Ι., 370
Δάτση Β., 184
Δερβενιωτάκης Δ., 440
Δέρκας Ν., 335, 362
Δόρδας Χ., 201, 296, 305, 316
Ελβανίδη Α., 45
Ζαφειρίου Ι., 284
Ζουμπούλης Α., 423
Θάνος Σ., 252
Θεοτοκάτος Ν., 362
Θεοχάρης Α., 335, 362
Θεοχαρίδης Κ., 498
Καβαλάρης Χ., 498
Κακαλή Β., 252
Καλαϊτζίδης Δ., 209
Καλδέρης Δ., 268, 370
Καλογρίδης Σ., 118
Κάλφας Η., 305, 316
Καμινιάρης Μ., 109, 126
Καμίτσος Ε. Ι., 398
Κανάκη Β., 109, 126
Κάντζου Ο. Δ., 216, 224
Καραγιοβανίδης Μ., 66
Καραμούτης Χ., 498
Καραπαναγιωτίδης Ι., 455
Κάργας Γ., 234, 252, 354
Καρνούτσος Π., 87
Καρπούζος Δ., 345
Κασαμπαλής Δ., 179
Κατέρης Δ., 193, 201, 209
Κατικαρίδης Δ., 209
Κατσαούνης Χ., 252
Κατσούλας Ν., 13, 29, 45, 54, 455, 463
Καψάλη Ν., 163
Κέκελης Π., 276
Κόκας Δ., 234
Κοκκινάκης Α., 146
Κόκκινου Ε., 370
Κολιούσκα Χ., 134, 155
Κοντογιαννόπουλος Κ., 423
Κοτσάτος Ι., 335
Κοτσιλίτης Σ., 118
Κοτσίρη Α., 354
Κούγιας Π. Γ., 412, 423

Κούκουζας Ν., 398
Κουκουνάρας Α., 66, 87
Κουνάνη Κ., 284
Κούνγκουλλι Φ., 252
Κούντριας Γ., 455
Κουργιαλάς Ν., 370
Κουτάλου Β., 440
Κουτσιαράς Μ., 109, 483
Κουτσούρης Α., 109, 126
Κωνσταντινίδης Α., 440
Κωνσταντινίδης Κ., 146
Κωστοπούλου Σ., 243
Κωτσόπουλος Θ., 53, 375, 402, 412
Λάσκαρη Μ., 296, 305, 316
Λάσκος Β., 53
Λάττος Α., 76
Λιάντας Γ., 66, 87
Λόντρα Π., 234, 252, 335, 354, 362
Μαλαματάρης Ν., 53
Μανιός Θ., 370
Μανωλάκος Δ., 118, 126
Μαρτζοπούλου Α., 375
Μάσσας Ι., 284
Μαυρογόνατος Κ., 398
Μενεξές Γ., 305, 316
Μήτρακα Γ.Χ., 423
Μητρόγιαννης Δ., 398
Μιχαηλίδης Μ., 171, 175
Μιχαλίτσης Α., 316
Μολασιώτης Α., 171, 175
Μονοκρούσος Ν., 276
Μοριανού Γ., 370
Μπαζιώτης Ι., 398
Μπακάλης Π., 118
Μπαλαφούτης Α., 101, 109, 118, 126
Μπαντής Φ., 66, 87
Μπαξεβάνου Κ., 20
Μπάρη Α., 13
Μπαρτζάνας Θ., 118, 383, 416
Μπένος Λ., 193
Μπόνος Ελ., 20
Μπούρας Σ., 455, 463
Μπουροδήμος Γ., 483
Μπόχτης Δ., 193, 201, 209
Μπριασούλης Δ., 37
Μπρόζου Ζ., 345
Μυλωνάς Ν., 101, 483
Μυστριώτης Α., 37
Μωραΐτης Μ., 101, 109, 118, 126
Μωυσιάδης Β., 209
Ντίνας Γ.Κ., 66, 76, 87
Ξύδης Γ., 383
Ορφανουδάκης Μ., 260
Παλλές Δ., 398
Πάλλη-Γραβάνη Σ., 354
Παπαδάκης Γ., 126
Παπαδήμου Σ., 216, 224
Παπαδόπουλος Δ., 76
Παπαδόπουλος Ι., 260
Παπαδόπουλος Ν., 370
Παπαθανασίου Φ., 260
Παπαϊωάννου Χ., 13
Παπακαλούδης Π., 296, 305
Παπαναστασίου Δ. Κ., 29, 463
Παυλάκη Α., 370
Παυλάτου-Βε Α., 276
Πολυχρονιάδου Χ., 175
Σαμαράς Π., 451
Σγουμποπούλου Α., 234
Σιναπίδου Ε., 260
Σιστάνης Ι., 260
Σκούφος Ι., 20
Σούλη Α. Π., 155
Σπηλιωτοπούλου Π., 13
Σπυρίδης Α., 440
Σταματελόπουλος Π., 101
Στρουθόπουλος Γ., 276
Συργανίδης Ε., 268
Σωτηράκογλου Κ., 252
Ταγαράκης Α., 193, 201, 209
Τζένος Χ., 402
Τιτέλη Β.Σ., 171
Τοκατλίδης Ι., 260
Τριάντη Ν., 451
Τρικόγλου Καρύκα Ε., 284
Τσιβιντζέλης Ι., 423
Τσιόπτσιας Κ., 423
Τσιρόπουλος Ζ., 101, 109, 126

Τσιρόπουλος Ν., 216, 224
Τσιτσιμπίκου Μ.Α., 402
Τσουκαρελλά Σ., 163
Τύρης Δ., 118
Υψηλάντης Ι., 268
Φαλιάγκα Σ., 54
Φείδαρος Δ., 20
Φιρφυρής Β., 375
Φουντάς Σ., 101, 109, 483
Φουρνομίτη Μ., 260
Φράγκος Β., 53
Χαρτοδιπλωμένου Μ. Α., 216, 224
Χατζηγεωργίου Ι., 66, 76, 87
Χλιαουτάκης Α., 370
Ψαχούλια Π., 451
Ψηρούκης Β., 483
Ψυχογιού Μ., 398
Amon B., 71, 82
Anastasiou E., 92
Andris L., 97
Anestis V., 62, 71, 82, 92, 97, 408, 420
Angelidaki I., 412, 418
Antoniadis D., 141
Apostolopoulou A.G., 324
Baltzoi P., 324
Bartzanas T., 62, 71, 82, 92, 97, 408, 420
Campanaro S., 412
Cavalari C., 506
Challinor A., 179
Dragoni F., 71, 82
Duan N., 412
Fotidis I.A., 428
Fragkos V., 491
Fu D., 428
Georgiou P., 471
Giannelos M., 324
Karagiovanidis M., 491
Karamoutis C., 506
Karpouzou D., 471
Katsoulas N., 141
Malamos N., 324, 330
Maragou A., 62
Mattas C., 471
Miliokas G., 141
Moshou D., 491
Pantazi X.E., 491
Papanastasiou D. K., 141, 408
Paris B., 126
Pattnayak K., 179
Skoufos I., 420
Symonds C., 179
Treu L., 412
Tsapanos T., 471
Tsirogiannis I.L., 324
Tsiropoulos Z., 92
Tsoutsas A., 506
Tzora A., 420
Vatsanidou A., 420
Yan M., 428
Yan Y., 428
Zlatanovic I., 375