



Εταιρεία Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος

11^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωργικής Μηχανικής

Η Γεωργική Μηχανική
βασικό στοιχείο
αιεφόρου ανάπτυξης
της γεωργίας

ΒΙΒΛΙΟ ΠΡΑΚΤΙΚΩΝ

Βόλος 8 Νοε. 2019

Συνδιοργάνωση:



Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παράγωγης
& Αγροτικού Περιβάλλοντος -
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

ΧΟΡΗΓΟΙ ΤΟΥ ΣΥΝΕΔΡΙΟΥ

ΧΡΥΣΟΙ ΧΟΡΗΓΟΙ



ΑΡΓΥΡΟΙ ΧΟΡΗΓΟΙ



ΧΟΡΗΓΟΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ





ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΛΛΑΔΟΣ
HELLENIC SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS

Οδός Φυτόκου, 38446, Ν. Ιωνία Μαγνησίας, Βόλος
Τηλ: 2421093228, Fax: 2421093144, e-mail: gemots@uth.gr, nkatsoul@uth.gr

11^ο Πανελλήνιο Συνέδριο

Συνδιοργάνωση:

Τμήμα Γεωπονίας, Φυτικής & Ζωικής Παραγωγής
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Βόλος, 8 Νοεμβρίου 2019

**Σχολή Γεωπονικών Επιστημών
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας**

Επιμέλεια έκδοσης: Ανθούλα Γιάκα
Χρήστος Καβαλάρης

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η γεωργία σήμερα βρίσκεται σε ένα κρίσιμο σταυροδρόμι όπου θα πρέπει να γίνουν οι κατάλληλες επιλογές που θα εξασφαλίσουν τη συνέχεια και τη βιωσιμότητα του γεωργικού συνόλου. Από τη μια οι αυξημένες διατροφικές ανάγκες ενός ολοένα αυξανόμενου παγκόσμιου πληθυσμού και από την άλλη η υπερεκμετάλλευση των φυσικών πόρων πιέζουν να βρεθούν οι βέλτιστες λύσεις που θα επιτύχουν να αυξήσουν μεν την παραγωγή των τροφίμων, προστατεύοντας παράλληλα τους φυσικούς πόρους και εξασφαλίζοντας την αειφορία της γεωργικής παραγωγής. Οι λύσεις μπορούν να προέλθουν μόνο μέσα από τη συστηματική επιστημονική έρευνα και οι Γεωργικοί Μηχανικοί ή Μηχανικοί Βιοσυστημάτων καλούνται να διαδραματίσουν ένα κρίσιμο και καθοριστικό ρόλο συνδυάζοντας τις γνώσεις τους στις επιστήμες της Γεωπονίας, της Βιολογίας, της Μηχανικής και του Περιβάλλοντος για να προτείνουν νέες τεχνολογίες και συστήματα παραγωγής που θα αυξήσουν την αποτελεσματικότητα της παραγωγής γεωργικών προϊόντων με ορθολογικότερη διαχείριση των φυσικών πόρων, διασφαλίζοντας παράλληλα τη δημόσια υγεία και ενδυναμώνοντας την εμπιστοσύνη των καταναλωτών.

Η Εταιρεία Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος έχει καταφέρει μέσα από τα τακτικά της συνέδρια να συγκεντρώσει μια πλούσια βιβλιογραφία πάνω σε μια ευρεία θεματολογία όπως οι εδαφικοί και οι υδατικοί πόροι, η ενέργεια, το περιβάλλον, τα γεωργικά μηχανήματα και οι εξοπλισμοί, οι σύγχρονες τεχνολογίες, η αποθήκευση και μεταποίηση των γεωργικών προϊόντων κ.α. Κατάφερε παράλληλα να δώσει το κίνητρο και το μέσο σε πολλούς επιστήμονες και ερευνητές να δημοσιοποιήσουν τα αποτελέσματα των ερευνών τους στον Ελλαδικό χώρο. Το 11ο Πανελλήνιο Συνέδριο της ΕΓΜΕ που πραγματοποιείται στο Βόλο, στις 8 Νοεμβρίου 2019, στις εγκαταστάσεις της Γεωπονικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, φιλοδοξεί να συνεχίσει αυτή τη παράδοση, συγκεντρώνοντας τα πιο πρόσφατα επιτεύγματα και αποτελέσματα των ερευνών. Επιπλέον, φιλοδοξεί να φέρει σε επαφή τους ανθρώπους που δραστηριοποιούνται στον τομέα της Γεωργικής Μηχανικής να καλλιεργήσει νέες συνεργασίες και να αναπτύξει δίαυλους επικοινωνίας με τη βιομηχανία και τον κλάδο του εμπορίου ώστε να γίνει εφικτή η διάχυση της έρευνας και η αξιοποίηση των αποτελεσμάτων αυτής προς όφελος του ευρύτερου κοινωνικού συνόλου.

Στο παρόν τεύχος των πρακτικών περιέχονται 57 περιλήψεις των εργασιών που παρουσιάστηκαν κατά τη διάρκεια του 11^ο Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής. Τα πλήρη κείμενα των εργασιών, έπειτα από την κρίση των κριτών, αποθέτονται σε ανοικτή βάση δεδομένων και μπορούν να αναζητηθούν στη ιστοσελίδα της ΕΓΜΕ <https://egme.gr/proceedings/>

Βόλος, Νοέμβριος 2019

Δρ. Χρ. Καβαλάρης

Πρόεδρος Οργανωτικής Επιτροπής.

ΟΡΓΑΝΩΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Χ. Καβαλάρης – Δρ. Ε.ΔΙ.Π., Π.Θ.
Β. Αντωνιάδης – Επ. Καθηγητής, Π.Θ.
Ν. Κατσούλας – Αν. Καθηγητής, Π.Θ.
Θ. Μπαρτζάνας – Αν. Καθηγητής, Γ.Π.Α.
Χ. Καραμούτης – Ε.ΤΕ.Π., Π.Θ.
Ε. Γκόλια – Δρ. Ε.ΔΙ.Π., Π.Θ.
Α. Αγγελάκη – Δρ. Ε.ΔΙ.Π., Π.Θ.
Α. Γιάκα – Τεχν. Γεωπόνος
Δ. Κατέρης – Ερευνητής ΕΚΕΤΑ
Α. Ταγαράκης – Ερευνητής ΕΚΕΤΑ
Γ. Θαλασσινός – Υπ. Διδάκτορας Π.Θ.

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Αγγελάκη Αναστασία, Δρ. Ε.ΔΙ.Π., Π.Θ.
Αντωνιάδης Βασίλειος, Επ. Καθηγητής Π.Θ.
Αντωνόπουλος Βασίλειος, Καθηγητής Α.Π.Θ.
Αρβανίτης Κωνσταντίνος, Αν. Καθηγητής Γ.Π.Α.
Βλόντζος Γεώργιος, Α. Καθηγητής Π.Θ.
Βύρλας Παναγιώτης, Επ. Καθηγητής Τ.Ε.Ι. Θεσσαλίας
Γέμτος Θεοφάνης, Ομ. Καθηγητής Π.Θ.
Γεωργίου Πανταζής, Επ. Καθηγητής Α.Π.Θ.
Γιαλαμάς Θεόδωρος, Επ. Καθηγητής Τ.Ε.Ι. Θεσσαλίας
Γκόλια Ευαγγελία, Δρ. Ε.ΔΙ.Π. Π.Θ.
Γράβαλος Ιωάννης, Αν. Καθηγητής Τ.Ε.Ι. Θεσσαλίας
Δημήρκου Ανθούλα, Καθηγήτρια Π.Θ.
Ζήσης Θωμάς, Καθηγητής Α.Π.Θ.
Καβαλάρης Χρήστος, Δρ. Ε.ΔΙ.Π. Π.Θ.
Καλφούντζος Δημήτριος, Καθηγητής Τ.Ε.Ι. Θεσσαλίας
Κάργας Γεώργιος, Αν. Καθηγητής Γ.Π.Α.
Κατέρης Δημήτριος, Δρ. Γεωπόνος
Κατσούλας Νικόλαος, Αν. Καθηγητής Π.Θ.
Καυγά Αγγελική, Επ. Καθηγήτρια Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδας
Κίττας Κωνσταντίνος, Καθηγητής Π.Θ.
Κυπαρρίσης Άρης, Αναπ. Καθηγητής Π.Θ.
Κωστοπούλου Σοφία, Αν. Καθηγήτρια Α.Π.Θ.
Λεβίζου Ευθυμία, Λέκτορας Π.Θ.
Μπαλαφούτης Αθανάσιος, Ερευνητής ΕΚΕΤΑ
Μπαρμπαγιάννης Νικόλαος, Καθηγητής Α.Π.Θ.
Μπαρτζάνας Θωμάς, Αν. Καθηγητής Γ.Π.Α.
Μπόχτης Διονύσιος, Διευθυντής ΙΒΟ ΕΚΕΤΑ
Μπριασούλης Δημήτριος, Ομοτ. Καθηγητής Γ.Π.Α.
Ξανθόπουλος Γεώργιος, Επ. Καθηγητής Γ.Π.Α.
Παπαδάκης Γεώργιος, Καθηγητής Γ.Π.Α.
Παπαϊωάννου Χρυσούλα, Αν. Καθηγήτρια Π.Θ.
Παυλάτου Βε Αθηνά, Καθηγήτρια Α.Π.Θ.
Σακελλαρίου –Μακραντωνάκη Μαρία, Καθηγήτρια Π.Θ.
Ταγαράκης Αριστοτέλης – Ερευνητής ΕΚΕΤΑ
Φουντάς Σπύρος, Επ. Καθηγητής Γ.Π.Α.

Ευχαριστίες

Η Εταιρεία Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος εκφράζει τις θερμές της ευχαριστίες προς όλους τους συγγραφείς των εργασιών, τους κριτές, τα μέλη της Οργανωτικής και της Επιστημονικής Επιτροπής που αφιέρωσαν τον πολύτιμο χρόνο τους για να συμμετάσχουν και να βοηθήσουν στο συνέδριο και στους χορηγούς που με την οικονομική τους συνδρομή συνέβαλαν στην άρτια διοργάνωση και την επιτυχία του συνεδρίου. Τέλος, ευχαριστούμε ιδιαίτερα το Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής & Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας που ανέλαβε την συνδιοργάνωση του 11^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου της ΕΓΜΕ ενισχύοντας σημαντικά την όλη προσπάθεια

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΣΗΓΗΤΩΝ

GaschkA.	Δόλιας Γ.
Kitić G.	Δουγκά Γ.
Kostić M.	Δουλγέρης Χ
Ljubičić N.	Ελβανίδη Α.
SihagP.	Ευθυμίου Ε.
ΑγγελάκηΑ.	Ζαλίδης Γ.
Αγγελοπούλου Θ.	Ζαχαρόπουλος Ι.
Αλεξόπουλος Δ.	Ζιάκας Ν.
Αληφραγκή Μ.	Ζούντα Δ.
Αναγνώστης Α.	Καβαλάρης Χ.
Αναγνωστόπουλος Δ.	Καλαμαράς Σ.
Αναστασίου Ε.	Καλορίζος Β.
Ανέστης Β.	Καλφούντζος Δ.
Αντωνιάδης Β.	Καμίτσος Ε.
Αντωνόπουλος Β.	Κάντζου Ο.Δ.
Αντωνόπουλος Β.Α.	Καράλη Ι.
Αντωνόπουλος Β.Ζ.	Καραμανώλη Κ.Ι.
Αντωνόπουλος Ζ.Β.	Καραμούζης Δ.
Αποστολίδου Η.Γ.	Καραμούτης Χ.
Αρβανίτης Κ.	Καραμπατζάκης Η.
Αρβανίτης Χ.	Καραπαναγιωτίδης Ι.
Ασημινάρη Γ.	Καρατσιβου Ε.
ΑΣΛΑΝΙΔΟΥ Μ.	Καργάς Γ.
Ασχονίτης Β.	Καρπούζος Δ.
Βαξεβάνου Σ.	Κατέρης Δ.
Βαρλάγκας Τ.	Κατκαρίδης Δ.
Βασιλειάδης Γ.	Κατσούλας Ν.
Βατσανιδου Α.	Καυγά Α.
Βλόντζος Γ.	Καυσοσιδέρης Φ.
Βύρλας Π.	Κίττα Ε.
Γέμτος Θ.	Κίττας Κ.
Γεωργακάκης Κ.	Κόκκορα Μ.
Γεωργίου Π.	Κολοβός Δ.
Γεωργίου Π.Ε.	Κοτσιφάκη Β.
Γιακουμάκης Σ.	Κουϊμτζή Μ.
Γιαλαμάς Θ.	Κούκουζας Ν.
Γιαννούλης Α.	Κουκούλη Π.
Γιοβά Ε.	Κωνσταντάκος Σ.
Γκόλια Ε.	Κωστάκος Ε.
Γκούση Ν.	Κωστοπούλου Σ.
Γράβαλος Ι.	Κωτσόπουλος Θ.
Γριβάκης Κ.	Λακιώτης Κ.
Δάρρα Ν.	Λαμπρίδη Μ.
Δεμερτζή Κ.	Λεβίζου Ε.
Δημήρκου Α.	Λιούπης Μ.

Λόντρα Π.
Λυκοσκούφης Ι.
Μαμαλούδης Χρ.
Μαρκούση Μ.
Μαρτζοπούλου Α.
Μενεξές Ι.
Μετσοβίτη Ν.Μ.
Μητρογιάννης Δ.
Μπαζιώτης Ι.
Μπαλαφούτης Α.
Μπαμπάκος Κ.
Μπανιάς Γ.
Μπαρτζάνας Θ.
Μπόλης Ι.
Μπόχτης Δ.
Μπριασούλης Δ.
Μυρεσιώτης Χ.
Μυστριώτης Α.
Μωυσιάδης Β.
Ντότα Δ.Α.
Ντυκέν Μ.Ν.
Ξανθόπουλος Γ.
Οικονομίδης Α.
Ορφανουδάκης Μ.
Παλλές Δ.
Παναγάκης Π.
Πανγκά Δ.
Παπαγεωργίου Ε.
Παπαδόπουλος Α.
Παπαιωάνου Ι.
Παπαμιχαήλ Δ.
Παπαναστασίου Δ.Κ.
Παπαπολυμέρου Γ.

Πικάση Α.
Παυλάτου-Βε Α.
Ραχμανίδης Κ.
Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μ.
Σιμιτζής Π.
Σιούρας Α.
Σκούφος Ι.
Σούλης Κ.
Σπαθάρας Σ.
Σπύρου Χρ.
Σταμούλης Δ.
Σταφύλη Ε.
Στεφανίδης Ρουσέτος Μ.
Στεφανοπούλου Μ.
Ταγαράκης Α.
Ταγαράκης Α.Χ.
Τζανιδάκης Χ.
Τζιάκας Σ.
Τζιόλας Ν.
Τζόρα Α.
Τσικνίδης Μ.
Τσούλιας Ν.
Τσουμαλάκου Ε.
Φιδάρος Δ.
Φιρφιρής Β.
Φουντάς Σπ.
Χαλκίδης Η.
Χαρτοδιπλωμένου Μ.Α.
Χατζηνικολάου Μ.
Χισκάκης Μ.
Χρήστου Μ.
Ψηρούκης Β.
Ψυχογιού Μ.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΝΟΤΗΤΑ 6^η ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΜΕΓΑΛΩΝ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΕΚΤΑΣΕΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΝΕΦΟΥΣ ΣΗΜΕΙΩΝ

Κατκαρίδης Δ., Μουσιάδης Β., Κατέρης Δ. & Μπόχτης Δ.467

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΗ ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΑΙ ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΓΗΙΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Κουκούλη Π., Π. Γεωργίου & Δ. Καρπούζος475

AN HOLISTIC APPROACH TO NATURE BASED SOLUTIONS AS A MEANS TO ADAPT TO AND MITIGATE CLIMATE CHANGE INDUCED RISKS: THE CASE STUDY OF SPERCHIOS

Stefanopoulou M., D. Panga, Π.G. Apostolidou, Ch. Spyrou & M Loupis.....488

ΈΡΕΥΝΑ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΗΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΦΥΤΟΦΑΡΜΑΚΩΝ

Αναγνωστόπουλος Δ., Γ. Βλόντζος & Μ-Ν. Ντυκέν501

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΑΕΙΦΟΡΙΑ ΤΩΝ ΒΙΟΓΕΝΩΝ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΤΟΥ ΑΓΡΟΔΙΑΤΡΟΦΙΚΟΥ ΤΟΜΕΑ ΚΑΤΑ ΤΟ ΣΤΑΔΙΟ ΤΟΥ ΤΕΛΟΥΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΖΩΗΣ ΤΟΥΣ

Μπριασούλης, Δ., Α. Πικάση, Μ. Χισκάκης510

ASSESSING THE SUSTAINABILITY OF GREENHOUSE CROPS USING LIFE CYCLE ANALYSIS TOOLS

Βατσανίδου Α., Μπαρτζάνας Θωμάς & Κατσούλας Νικόλαος523

A LIFE CYCLE ASSESSMENT OF BIOMASS PRODUCTION FROM ENERGY CROPS IN CROP ROTATION USING DIFFERENT TILLAGE SYSTEM

Βατσανίδου Α. & Γέμτος Θ.531

ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΑΝΘΡΑΚΑ ΤΟΥ ΑΙΓΟΠΡΟΒΕΙΟΥ ΓΑΛΑΚΤΟΣ ΓΙΑ ΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΦΕΤΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Ανέστης Β., Α. Βατσανίδου, Θ. Μπαρτζάνας & Κ. Κίττας541

ΕΝΟΤΗΤΑ 6^η

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΜΕΓΑΛΩΝ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΕΚΤΑΣΕΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΝΕΦΟΥΣ ΣΗΜΕΙΩΝ

Δ. Κατικαρίδης, Β. Μουσιαδης, Δ. Κατερης & Δ. Μποχτης

Ινστιτούτο Βιο-οικονομίας και Αγρο-Τεχνολογίας (iBO), Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης (ΕΚΕΤΑ), Δημάρχου Γεωργιάδου 118, 38333, Βόλος,
e-mail: d.katkaridis@certh.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η κίνηση του ρομπότ μέσα στους οπωρώνες συνίσταται από επιμέρους τμήματα όπως η χαρτογράφηση, η αντίληψη του χώρου, ο σχεδιασμός της διαδρομής και η πλοήγηση. Ο σχεδιασμός της διαδρομής είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με την πλοήγηση του ρομποτικού οχήματος όταν αυτό κινείται μέσα σε ένα γνωστό περιβάλλον με ασφάλεια και ακρίβεια. Οι παραδοσιακές τεχνικές χαρτογράφησης προϋποθέτουν την ύπαρξη ενός αυτόνομου επίγειου οχήματος εξοπλισμένου με αισθητήρα laser και αισθητήρες αδράνειας με στόχο τη ψηφιακή απεικόνιση του πραγματικού χώρου. Το προτεινόμενο σύστημα εκμεταλλεύεται την πτητική ικανότητα ενός εναέριου οχήματος ενισχύοντας την απόκριση της χαρτογράφησης. Η προσέγγιση αυτή μπορεί να προσφέρει μια πρωτοποριακή λύση ειδικά στον αγροτικό τομέα όπου η περιοχές εφαρμογής είναι μεγάλες.

Λέξεις κλειδιά: γεωργία ακριβείας, χαρτογράφηση, ρομποτικές πλατφόρμες, μη επανδρωμένο εναέριο όχημα, μη επανδρωμένο επίγειο όχημα

LARGE-SCALE MAPPING IN AGRICULTURAL CROPS USING POINT CLOUDS

D. Katikaridis, V. Moisiadis, D. Kateris & D. Bochtis

Institute for Bio-economy and Agri-technology (iBO), Centre for Research and Technology – Hellas (CERTH), Dimarhou Georgiadou 118, 38333, Volos,
e-mail:d.katkaridis@certh.gr

ABSTRACT

Robotic motion in orchard fields consists of several components such as mapping, perception, route (path-motion) planning and navigation. Route planning and navigation are highly contingent on mapping functionality whilst the robotic vehicle operates and adapts itself into a partially known work area providing a safe and accurate routing. Traditional mapping techniques entail an unmanned ground vehicle equipped with laser scan sensors and inertial measurement units resulting to a spatial 3D map, which is a comprehensive guide for the robotic vehicle. The proposed system here takes advantage of the complementary mapping operation of an unmanned aerial vehicle's ample flight height for enhancing its mapping ability. This approach can provide a ground-breaking perception solution especially in agricultural field, where the targeted area covers extremely wide-open spaces.

Keywords: precision agriculture, mapping, robotic platforms, UAV, UGV.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η χαρτογράφηση του χώρου είναι ένα από τα πιο σημαντικά πεδία στη ρομποτική, αποτελώντας επίσης και ένα αναπόσπαστο κομμάτι της ρομποτικής κίνησης και πλοήγησης. Ανεξάρτητα από τον τύπο του οχήματος, μη επανδρωμένο επίγειο όχημα (UGV) ή μη επανδρωμένο εναέριο όχημα (UAV), με την χαρτογράφηση το ρομποτικό όχημα αποκτά την αντίληψη του χώρου που το περιβάλλει. Συνδυάζοντας τα δεδομένα από διάφορους αισθητήρες, όπως το GPS, τις μονάδες μέτρησης αδρανείας (IMU) και τους ανιχνευτές εύρους λέιζερ (LRF), το ρομποτικό όχημα μπορεί να εκτιμήσει τη θέση, τον προσανατολισμό και την ταχύτητα του εντός του χώρου που αντιλαμβάνεται.

Σχετικά με την έρευνα που έχει πραγματοποιηθεί για τη χαρτογράφηση του επιχειρησιακού χώρου σε γεωργικές εφαρμογές, οι Hsu et al. (2018) πρότειναν έναν αλγόριθμο που συνδυάζει τα πλεονεκτήματα του ταυτόχρονου εντοπισμού και της χαρτογράφησης (SLAM) χρησιμοποιώντας μια κάμερα βάθους (RGB-D) και του SLAM. Τα δεδομένα από ένα Microsoft Kinect, ένα σαρωτή λέιζερ Hokuyo και ένα IMU συγχωνεύθηκαν προκειμένου να παραχθούν τα αποτελέσματα του τρισδιάστατου προσανατολισμού και της χαρτογράφησης του χώρου. Ένα εκτεταμένο φίλτρο Kalman χρησιμοποιήθηκε για τη διόρθωση της μετατόπισης από τον αδρανειακό αισθητήρα, ο οποίος εκτιμήθηκε από τον αισθητήρα Kinect. Όταν η μετατόπιση εκτιμήθηκε από τον αισθητήρα Kinect τότε χαρακτηρίστηκε ως βλάβη. Η ταχύτητα του οχήματος εκτιμήθηκε από τον σάρωση λέιζερ. Επίσης, αξιοσημείωτη είναι η έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τους Jorge Torres-Sánchez et al. (2018) οι οποίοι συνδύασαν τα φωτογραμμετρικά νέφη σημείων με έναν αλγόριθμο αναγνώρισης αντικειμένων (OBIA). Η έρευνα διεξήχθη σε τρεις διαφορετικούς οπωρώνες αμυγδάλου χρησιμοποιώντας ένα UAV εξοπλισμένο με αισθητήρα ορατού RGB ενώ η μέθοδος επικύρωσης στο πεδίο συνίστατο στην καταγραφή του ύψους ενός συνόλου 325 δέντρων σε δύο οπωρώνες. Μια χωρίς επιτήρηση ανίχνευση αμπελώνων με τη χρήση φωτογραμμετρία UAV τρισδιάστατου νέφους σημείων προτάθηκε από τους Comba et al. (2018) χρησιμοποιώντας ένα UAV. Τα αρχικά δεδομένα δημιουργήθηκαν από μια πολυφασματική κάμερα με την οποία ήταν εξοπλισμένο το UAV, ενώ ο παραγόμενος 3D χάρτης νέφους σημείων αναλύθηκε από τον προτεινόμενο καινοτόμο μη επιτηρούμενο αλγόριθμο.

Μια έρευνα για την παρακολούθηση των 3D μετατοπίσεων στο χώρο χρησιμοποιώντας ένα UAV έγινε από τους Hastaoğlu et al. (2019) οι οποίοι πρότειναν μια προσέγγιση συγκριτικής αξιολόγησης. Χρησιμοποιώντας ένα UAV, εξοπλισμένο με δέκτη GPS, παρήγαγαν ορθομοσαικά και ψηφιακά μοντέλα υψομέτρου (DEM). Με βάση τις συντεταγμένες που ελήφθησαν, οι τιμές ταχύτητας υπολογίστηκαν με την τεχνική φιλτραρίσματος Kalman. Οι τιμές ταχύτητας θεωρήθηκαν ίσες και προσδιορίστηκαν με τεχνικές στατιστικής ανάλυσης, όπως t-test, f-test, RMSE και VAF. Μια προσέγγιση επίσης έγινε από τους Zhaocong Wu et al. (2019) οι οποίοι πρότειναν μια 2D-σε-3D στρατηγική για ζιζάνια σε μια ορεινή περιοχή. Η μελέτη διεξήχθη σε μια ορεινή περιοχή στο Shenzhen της Κίνας, λαμβάνοντας πολλαπλές εικόνες προβολής από ένα UAV, χρησιμοποιώντας ένα τρισδιάστατο μοντέλο πλέγματος υψηλής ακρίβειας και έναν ψηφιακό ορθοφωτοχάρτη. Οι Bosse και Zlot, (2009) εισήγαγαν μια αλγοριθμική προσέγγιση που βασίζεται στον καλά καθιερωμένο αλγόριθμο επαναληπτικότητας κοντινότερων σημείων (ICP). Αυτή η προσέγγιση πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας έναν αισθητήρα διδιάστατης σάρωσης με λέιζερ για 3D χαρτογράφηση. Οι Cole and Newman (2006) εξόπλισαν ένα UGV με ένα λέιζερ σάρωσης με στόχο την κατασκευή ενός νέφους σημείων, που χρησιμοποιείται για χαρτογράφηση και πλοήγηση του οχήματος. Παρά τις παραδοσιακές τεχνικές SLAM, οι Cole και Newman εκπαιδύσαν επιτηδευμένα έναν ταξινομητή για να απορρίψουν τις κακές αντιστοιχίσεις σάρωσης από τη διαδικασία σάρωσης του χάρτη. Οι Sünderhauf et al. (2006) πρότεινε μια αντικειμενοστραφή σημασιολογική χαρτογράφηση χρησιμοποιώντας έναν αισθητήρα κάμερας βάθους RGB-D. Παρά την παραδοσιακή διαδικασία τρισδιάστατης χαρτογράφησης, οι Sünderhauf et al. υλοποίησαν μια ανίχνευση αντικειμένων με βαθιά μάθηση και τρισδιάστατη τμηματοποίηση χωρίς επίβλεψη, με στόχο να

επιτρέψει στα ευφυή ρομπότ να κατανοήσουν τόσο τις γεωμετρικές όσο και τις σημασιολογικές ιδιότητες του χώρου που τα περιβάλλει. Παραμένοντας στις προσεγγίσεις σημασιολογικής χαρτογράφησης οι McCormac et al. (2006) εισήγαγαν μια προσέγγιση που αποτελείται από το συνδυασμό συνελκτικών νευρωνικών δικτύων (CNN) και ενός συστήματος SLAM που ονομάζεται “ελαστική σύντηξη” (Elastic Fusion). Το ElasticFusion παρέχει μακροχρόνιες πυκνές αντιστοιχίες μεταξύ πλαισίων εσωτερικού βίντεο RGB-D. Χρησιμοποιώντας το CNN, η μελέτη στοχεύει στην πρόβλεψη των πολλαπλών σημείων προβολής και στη συγχώνευση σε χάρτη. Το αξιοσημείωτο σε αυτήν την προσέγγιση είναι το γεγονός ότι οι ρυθμοί των πλαισίων είναι περίπου 25Hz, παρέχοντας μια αλληλεπίδραση σε πραγματικό χρόνο. Τέλος, οι Bosse and Zlot (2008) αμφισβήτησαν το γεγονός ότι η κίνηση του αισθητήρα είναι γρήγορη σε σχέση με τον χρόνο μέτρησης και κατά συνέπεια οι σαρώσεις γίνονται τοπικά παραμορφωμένες και δύσκολο να ευθυγραμμιστούν. Η προτεινόμενη λύση αποτελείται από μια τρισδιάστατη σάρωση που χρησιμοποιεί μια συνεχή τροχιά αισθητήρα 6 βαθμών ελευθερίας που ανακτάται για να διορθωθεί η ευθυγράμμιση του νέφους σημείων. Ως αποτέλεσμα, το προϊόν παράγει ακριβείς χάρτες και υψηλή αξιοπιστία κίνησης των οχημάτων.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται μια προσέγγιση 3D χαρτογράφησης. Η διαδικασία περιλαμβάνει τεχνική φωτογραμμετρίας UAV χρησιμοποιώντας φωτογραφική μηχανή RGB, αισθητήρα λέιζερ και δέκτη GPS κινηματικού εντοπισμού σε πραγματικό χρόνο (RTK), προκειμένου να ληφθούν τα δεδομένα από το πεδίο. Στη συνέχεια το σύστημα επεξεργάζεται τα δεδομένα μέσω ενός κλειστού λογισμικού, ενώ κατασκευάζεται το νέφος σημείων του πεδίου. Το αρχικά παραγόμενο νέφος σημείων είναι μερικώς αξιόπιστο προκειμένου να είναι μια βάση πλοήγησης για το UGV. Για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα αυτό πραγματοποιείται προεπεξεργασία προκειμένου να δημιουργηθεί ένα μοντέλο πλέγματος (MESH) χρησιμοποιώντας την τεχνική τριγωνισμού. Τέλος, το μοντέλο του πλέγματος μετασχηματίζεται σε ένα αρχείο χάρτη το οποίο είναι αναγνωρίσιμο από το UGV.

2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Μια διαδικασία χαρτογράφησης απαιτεί τόσο ενσωμάτωση του υλικού όσο και του λογισμικού σε ένα όχημα. Η ενσωμάτωση του υλικού περιλαμβάνει τους απαραίτητους αισθητήρες και άλλα υλικά ενώ η υλοποίηση του λογισμικού περιέχει το κλειστό λογισμικό που χρησιμοποιείται για τον χειρισμό των δεδομένων και το αποτέλεσμα του προϊόντος. Το λογισμικό του οχήματος θεωρείται επίσης ως υλοποίηση hardware και θα αναλυθεί παρακάτω.

2.1 Αυτόνομα οχήματα

Σε αυτή την υποενότητα περιγράφεται συνοπτικά κάθε στοιχείο υλικού που χρησιμοποιήθηκε στην προτεινόμενη προσέγγιση χαρτογράφησης, ενώ η ανάγκη αναγνώρισης του περιβάλλοντος ήταν στενά συνδεδεμένη με τους αισθητήρες. Το εναέριο όχημα σταθερής πτέρυγας (eBee της SenseFly) αποτελεί τον κύριο πυρήνα της διαδικασίας χαρτογράφησης. Διαθέτοντας μεγάλη διάρκεια χρόνου πτήσης, το eBee της SenseFly είναι σε θέση να αποτυπώνει περιοχές μεγάλης κλίμακας για να παράγει ορθομωσικά και νέφη σημείων. Είναι εξοπλισμένο με μια κάμερα RGB που ονομάζεται SODA, η οποία είναι αποκλειστική κάμερα RGB για το eBee και συνδέεται μέσω της ενσωματωμένης θύρας USB. Το αεροσκάφος είναι επίσης εξοπλισμένο με RTKGPS για την βελτιστοποίηση της πλοήγησης και την ακρίβεια του οχήματος, ενώ μια κάθετα τοποθετημένη σάρωση λέιζερ υπολογίζει συνεχώς το ύψος πτήσης του αεροσκάφους. Εκτός από το αεροσκάφος, η περιγραφείσα προσέγγιση περιλαμβάνει έναν φορητό υπολογιστή, ο οποίος είναι υπεύθυνος για τον έλεγχο και την αποστολή εντολών στο εναέριο όχημα. Η κεραία του eBee επικοινωνεί με την κεραία USB που είναι συνδεδεμένη με το φορητό υπολογιστή. Αυτός ο σταθμός εδάφους περιέχει το απαραίτητο λογισμικό, με στόχο την παροχή αξιόπιστου αποτελέσματος σχετικά με την πλοήγηση και την επικοινωνία του υπολογιστή με το όχημα (Εικόνα 1).



Εικόνα 1. Το eBee και η RGB κάμερα.

Η διαδικασία της χαρτογράφησης οδηγούν στη κατασκευή ενός χάρτη που εισάγεται στο επίγειο όχημα (Εικόνα 2), με στόχο τη διαπεραίωση μίας αποστολής, το οποίο, σε συνδυασμό το χάρτη και των ενσωματωμένων αισθητήρων μπορεί να πλοηγηθεί με ασφάλεια μέσα στον αγρό.



Εικόνα 2. Αυτόνομο επίγειο όχημα

2.2 Λογισμικό

Το λογισμικό αποτελεί τον πυρήνα του εναέριου οχήματος και της ίδιας της διαδικασίας. Το ενσωματωμένο λογισμικό του eBee συνδέεται αξιόπιστα με το λογισμικό που εκτελείται στο σταθμό εδάφους, παρέχοντας παράλληλα χρήσιμες πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο σχετικά με το UAV, όπως επίπεδο μπαταρίας, τρέχον ύψος κ.α. Το λογισμικό eMotion συνοδεύεται από όλα τα απαραίτητα προγράμματα οδήγησης και τα πρωτόκολλα επικοινωνίας για την επιτυχή σύνδεση με το όχημα. Από την άλλη πλευρά, το τελικό προϊόν της 3D χαρτογράφησης παράγεται από το λογισμικό Pix4DMapper Pro ενώ χειρίζεται τα καταγεγραμμένα δεδομένα από το eBee.

2.3 Διαδικασία εκτέλεσης

Η διαδικασία αποτελείται από υποεπεξεργασίες πολλαπλών επιπέδων, καθώς το τελικό προϊόν είναι περίπλοκο να παραχθεί. Από την προετοιμασία του σταθμού εδάφους μέχρι την πλοήγηση του UGV, η διαδικασία χαρτογράφησης μιας περιοχής μεγάλης κλίμακας είναι δομημένη από διαφορετικούς τύπους υλοποιήσεων, ενώ όλη η διαδικασία είναι μια ακολουθιακά εκτελεσθείσα σειρά ενεργειών (Εικόνα 3).

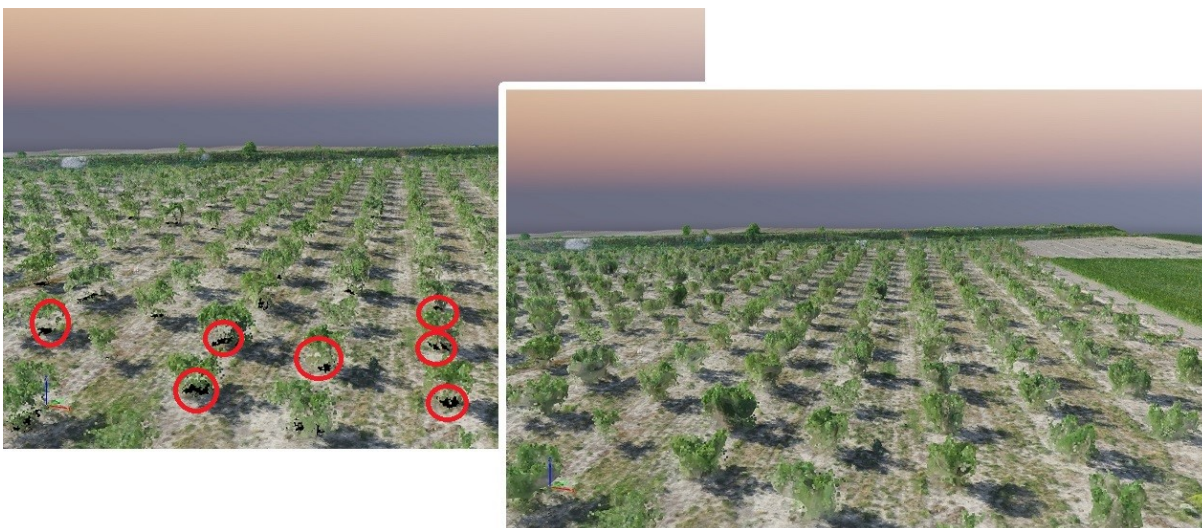


Εικόνα 3. Διαδικασία παραγωγής τελικού χάρτη.

Μόλις ολοκληρωθεί η διαδικασία χαρτογράφησης, το αποτέλεσμα επεξεργάζεται και εισάγεται στο όχημα εδάφους, προκειμένου να αξιολογηθεί η ακεραιότητα του παραγόμενου χάρτη και να χρησιμοποιηθεί για την δρομολόγησή του.

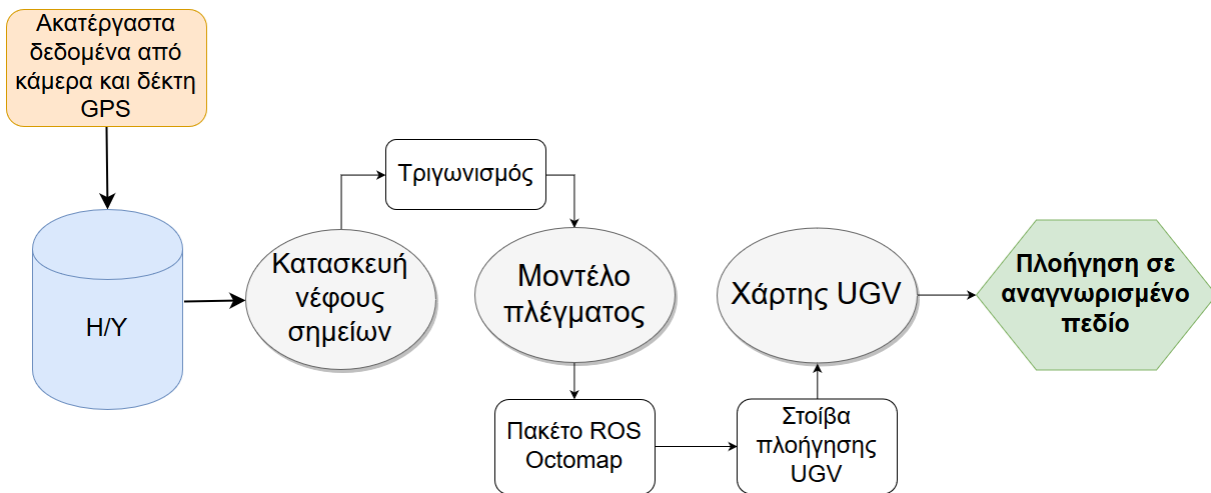
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η διαδικασία χαρτογράφησης παρέχει μια συλλογή γεωδεμένων εικόνων του πεδίου, όπου το λογισμικό Pix4DMapper Pro είναι υπεύθυνο για την κατασκευή του νέφους σημείων. Δεδομένου ότι το παραγόμενο νέφος σημείων δεν είναι αρκετά αξιόπιστο για να εισαχθεί στο όχημα εδάφους, ένα μοντέλο πλέγματος δημιουργήθηκε χρησιμοποιώντας μια μέθοδο τριγωνισμού που εφαρμόζεται σε όλο το αρχείο νέφους σημείων, προκειμένου να καλύψει τα δύσκολα προσπελάσιμα σημεία που το εναέριο όχημα έχει χάσει λόγω του μεγέθους της φυτοκόμης των δέντρων (Εικόνα 4).



Εικόνα 4. Διόρθωση του νέφους σημείων μέσω τριγωνοποίησης.

Η κάλυψη των σημείων επιτρέπει στο ρομποτικό λογισμικό να δημιουργήσει ένα συμπαγές χάρτη φιλικό προς το ρομπότ. Το επίγειο όχημα που χρησιμοποιήθηκε λειτουργεί με βάση το λογισμικό ROS (Εικόνα 5), που συνδυάζει τόσο τον πυρήνα όσο και το λογισμικό απεικόνισης για τις ρομποτικές λειτουργίες (Εικόνα 6), παρέχοντας μια ολοκληρωμένη λύση στη ρομποτική πλοήγηση και χειραγώγηση. Από την πλευρά του ROS, χρησιμοποιήθηκε το πακέτο “octomap” προκειμένου να μετατραπεί το μοντέλο πλέγματος σε χάρτη κατανοητό από το UGV.



Εικόνα 5. Από ακατέργαστη πληροφορία σε χρήσιμο προϊόν.

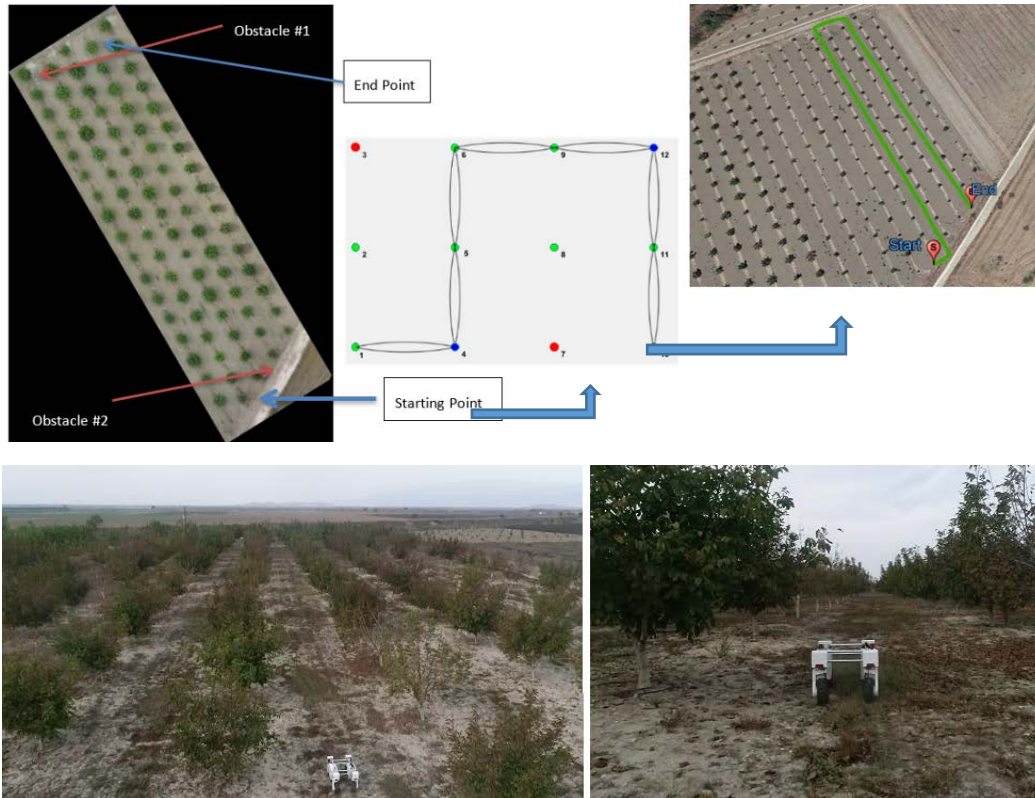


Εικόνα 6. Επαλήθευση παραγόμενου χάρτη με πραγματικό αυτόνομο επίγειο όχημα.

Το αποτέλεσμα της συγκριτικής αξιολόγησης ήταν ικανοποιητικό, ενώ το ρομποτικό όχημα κατευθυνόταν με ασφάλεια ανάμεσα στα δέντρα του οπωρώνα, επιτυγχάνοντας τον επιθυμητό στόχο. Οι χρήστες όριζαν με τη βοήθεια του αλγοριθμικού σχεδιασμού του ρομπότ, το τελικό σημείο πρόσβασης του οχήματος και κατά συνέπεια την ασφαλή μετακίνηση του μέσα στον αγρό. Παρά το γεγονός ότι υπήρχαν κάποια αναμενόμενα σφάλματα όπως η ανακριβής αντιστοίχιση των γεωγραφικών συντεταγμένων GPS του εναέριου οχήματος με τις πραγματικές συντεταγμένες που μετρήθηκαν από το GPS του οχήματος, η προσέγγιση πλησίαζε σχεδόν το επιθυμητό αποτέλεσμα. Τα επιμέρους προβλήματα πλοήγησης επιλύθηκαν χρησιμοποιώντας τον ενσωματωμένο ανιχνευτή λέιζερ, περιστροφής 360 μοιρών, που στόχο είχε την δυναμική αποφυγή στατικών ή κινούμενων εμποδίων μέσα στο χώρο, που το εναέριο όχημα δεν μπόρεσε να αντιληφθεί, όπως παραδείγματος χάριν, κορμούς δέντρων.

Η δρομολόγηση του UGV στη βάση του επεξεργασμένου χάρτη έχει ως εξής. Τα αρχικά δεδομένα αποτελούνται από συντεταγμένες UTM (Universal Transverse Mercator) οι οποίες σχηματίζουν τη στοίχιση των δέντρων καθώς και τις συντεταγμένες των εικόνων που έχουν ληφθεί. Στη συνέχεια

δημιουργούνται στον κώδικα, 3 αντικείμενα που περιγράφουν τον χάρτη πλέγματος ο οποίος αντιπροσωπεύει τον αγρό, μεταξύ δένδρων διαδρομή, εμπόδιο και το ζεύγος αρχικό –τελικό σημείο διαδρομής. Μετά το πέρας του σχεδιασμού των σημείων δημιουργείται το τελικό μονοπάτι. Η Εικόνα 7 παρουσιάζει μια εφαρμογή του συστήματος στο σχεδιασμό διαδρομής του επίγειου οχήματος.



Εικόνα 7. Το UGV ακολουθεί το μονοπάτι που έχει σχεδιαστεί.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται μια χαρτογράφηση μεγάλης κλίμακας βασισμένη στο παραγόμενο νέφος σημείων χρησιμοποιώντας ένα μη επανδρωμένο εναέριο όχημα. Τα UAV χρησιμοποιούνται ευρέως στη γεωργία ακριβείας εκμεταλλευόμενα τόσο την ικανότητά τους να παρακολουθούν από μεγάλο ύψος μια μεγάλη έκταση όσο και το χαμηλό κόστος ενεργειακής κατανάλωσης που χρειάζονται για να λειτουργήσουν. Λαμβάνοντας τα δεδομένα από το UAV, διαχειρίζοντας τους πόρους και εισάγοντας το παραγόμενο προϊόν σε ένα πραγματικό ρομποτικό όχημα, η διαδικασία χαρτογράφησης ολοκληρώνεται σε μικρότερη χρονική διάρκεια, σε σύγκριση με τον χρόνο χαρτογράφησης που θα χρειαζόταν ένα UGV ώστε να ολοκληρώσει μία τέτοια διαδικασία στο ίδιο πεδίο με το εναέριο όχημα. Η χαρακτηριστική λειτουργία αυτής της εργασίας, αποτελείται από τη διαδικασία χαρτογράφησης υψηλής ταχύτητας με εναέρια οχήματα, αποφεύγοντας τη χρήση της παραδοσιακής και χρονοβόρας χαρτογράφησης με επίγεια οχήματα.

Η προτεινόμενη διαδικασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλές εφαρμογές όπως εικονικές αλληλεπιδράσεις και ρομποτική πλοήγηση. Στο μέλλον, το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στη βελτίωση της αντιστοίχισης των δύο GPS, στη δημιουργία ενός τρισδιάστατου μοντέλου πλέγματος και χαρτών σε πραγματικό χρόνο ενώ η συνεργασία των UGV και UAV στη χαρτογράφηση χαρακτηρίζεται ως ο κύριος στόχος.

ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΠΟΡΩΝ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του έργου "Ερευνητική Συνέργεια για την Αντιμετώπιση των Μεγάλων Προκλήσεων του Πλέγματος (NEXUS): Ενέργεια-Περιβάλλον-Αγροτική Παραγωγή (Τροφή, Νερό, Υλικά) (NEXUS)", με χρηματοδότηση της Γενικής Γραμματείας Έρευνας και Τεχνολογίας (ΓΓΕΤ) - Κωδικός Έργου: MIS 5002496.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Cole, D.M. and P.M. Newman, 2006 Using Laser Range Data for 3D SLAM in Outdoor Environments. In Proceedings 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2006. ICRA 2006., 1556–63. IEEE, 2006.
- Comba, Lorenzo, Alessandro Biglia, Davide Ricauda Aimonino, and Paolo Gay, 2018. Unsupervised Detection of Vineyards by 3D Point-Cloud UAV Photogrammetry for Precision Agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 155, 84–95.
- Hastaoğlu, Kemal Özgür, Yavuz Gül, Fatih Poyraz, and Burak Can Kara, 2019. *Monitoring 3D Areal Displacements by a New Methodology and Software Using UAV Photogrammetry*. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 83, 101916.
- Hsu, Ya-Wen, Shiang-Shuang Huang, and Jau-Woei Perng, 2018. *Application of Multisensor Fusion to Develop a Personal Location and 3D Mapping System*. *Optik*, 172, 328–39.
- McCormac, John, Ankur Handa, Andrew Davison, and Stefan Leutenegger, 2016. *SemanticFusion: Dense 3D Semantic Mapping with Convolutional Neural Networks*, September 16, 2016.
- Quigley, Morgan, Brian P. Gerkey, Ken Conley, Josh Faust, Tully Foote, Jeremy Leibs, Eric Berger, Rob Wheeler, and Andrew Ng, 2009. *ROS: An Open-Source Robot Operating System*, 2009. <https://www.semanticscholar.org/paper/ROS-%3A-an-open-source-Robot-Operating-System-Quigley-Gerkey/d45eae8b2e047306329e5dbfc954e6dd318ca1e>.
- Sünderhauf, Niko, Trung T. Pham, Yasir Latif, Michael Milford, and Ian Reid, 2016. *Meaningful Maps With Object-Oriented Semantic Mapping*, September 26, 2016. <http://arxiv.org/abs/1609.07849>.
- Torres-Sánchez, Jorge, Ana I. de Castro, José M. Peña, Francisco M. Jiménez-Brenes, Octavio Arquero, María Lovera, and Francisca López-Granados, 2018. *Mapping the 3D Structure of Almond Trees Using UAV Acquired Photogrammetric Point Clouds and Object-Based Image Analysis*. *Biosystems Engineering* 176, 172–84.
- Wu, Zhaocong, Min Ni, Zhongwen Hu, Junjie Wang, Qingquan Li, and Guofeng Wu, 2019. *Mapping Invasive Plant with UAV-Derived 3D Mesh Model in Mountain Area—A Case Study in Shenzhen Coast, China*. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 77, 129–39.

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΗ ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΑΙ ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΓΗΙΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Π. Κουκουλη, Π. Γεωργίου & Δ. Καρπούζος

Τμήμα Γεωπονίας Α.Π.Θ., Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής, 54124, Θεσσαλονίκη, e-mail: pkoukoul@agro.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η κλιματική αλλαγή θεωρείται από τα σημαντικότερα προβλήματα σε παγκόσμιο επίπεδο με σοβαρές επιπτώσεις για το γεωργικό τομέα και ιδιαίτερα για την περιοχή της Μεσογείου η οποία έχει αναγνωριστεί ως ευάλωτη. Στην παρούσα εργασία, μελετήθηκαν οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στη μέγιστη (T_{max}), στην ελάχιστη θερμοκρασία (T_{min}) και στο θερμοκρασιακό εύρος (T_{range}) στην περιοχή του Αγίου Μάμα Χαλκιδικής για τα μέσα και το τέλος του 21ου αιώνα. Για τον σκοπό αυτό λήφθηκαν δεδομένα από τα Μοντέλα Γήινου Συστήματος (ESMs), CanESM2, GFDL-ESM2M, HadGEM2-ES και IPSL-CM5A-LR με βάση τα σενάρια εκπομπών RCP2.6, RCP4.5 και RCP8.5 για τις περιόδους 2041-2060 και 2081-2100 και την περίοδο αναφοράς 1981-2000. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι η μέγιστη και η ελάχιστη θερμοκρασία καθώς και το θερμοκρασιακό εύρος αναμένεται να αυξηθούν με τη μεγαλύτερη αύξηση να παρατηρείται κατά το τέλος του 21ου αιώνα και με βάση το σενάριο υψηλών εκπομπών RCP8.5..

Λέξεις κλειδιά: κλιματική αλλαγή, θερμοκρασία, Μοντέλα Γήινου Συστήματος, RCPs

ASSESSMENT OF CLIMATE CHANGE IMPACTS ON MAXIMUM AND MINIMUM TEMPERATURE USING EARTH SYSTEM MODELS

P. Koukouli, P. Georgiou & D. Karpouzou

School of Agriculture A.U.Th, Department of Hydraulics, Soil Science & Agricultural Engineering, 54124, Thessaloniki, e-mail: pkoukoul@agro.auth.gr

ABSTRACT

Climate change is one of the biggest threats the world faces today with severe impacts on the agricultural sector especially in regions such as the Mediterranean Basin which is considered vulnerable. In the present paper, the impacts of climate change on maximum (T_{max}), minimum temperature (T_{min}) and on temperature range (T_{range}) in Agios Mamas of Chalkidiki for the middle and the end of the 21st century, were studied. For this purpose, data was derived from Earth System Models (ESMs) CanESM2, GFDL-ESM2M, HadGEM2-ES and IPSL-CM5A-LR under climate change scenarios RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5 for the periods 2041-2060 and 2081-2100 and for the baseline period 1981-2000. The results showed that maximum and minimum temperature as well as temperature range are projected to increase with the greatest increase predicted by the end of the 21st century and according to the high emission scenario RCP8.5..

Keywords: climate change, temperature, Earth System Models, RCPs

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η κλιματική αλλαγή αποτέλεσε και αποτελεί αντικείμενο μελέτης πολλών ερευνητών καθώς θεωρείται από τα σημαντικότερα προβλήματα σε παγκόσμιο επίπεδο αφού μπορεί να επηρεάσει διάφορους τομείς της κοινωνικής δραστηριότητας και το φυσικό περιβάλλον. Η άνοδος της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας ξεκίνησε από το τέλος του 19^{ου} αιώνα και ο μέσος ρυθμός θέρμανσης της ατμόσφαιρας του πλανήτη κατά τον 20^ο αιώνα ήταν 0.74°C ανά 100 χρόνια σύμφωνα με την Τέταρτη Έκθεση Αξιολόγησης της «Διακυβερνητικής Επιτροπής για την κλιματική αλλαγή» AR4 (IPCC, 2007). Σύμφωνα με την Πέμπτη Έκθεση Αξιολόγησης AR5 (IPCC, 2013) η μέση παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας ήταν 0.85°C για την περίοδο 1880 έως 2012 και καθεμία από τις τρεις τελευταίες δεκαετίες ήταν διαδοχικά θερμότερη σε σχέση με οποιαδήποτε προηγούμενη δεκαετία από το 1850. Η πρόσφατη AR5 (IPCC, 2013) προβλέπει αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας από 0.3°C έως 4.8°C κατά το τέλος του 21^{ου} αιώνα (2081-2100) σε σχέση με το 1986-2005, σύμφωνα με τα σενάρια RCP2.6 και RCP8.5.

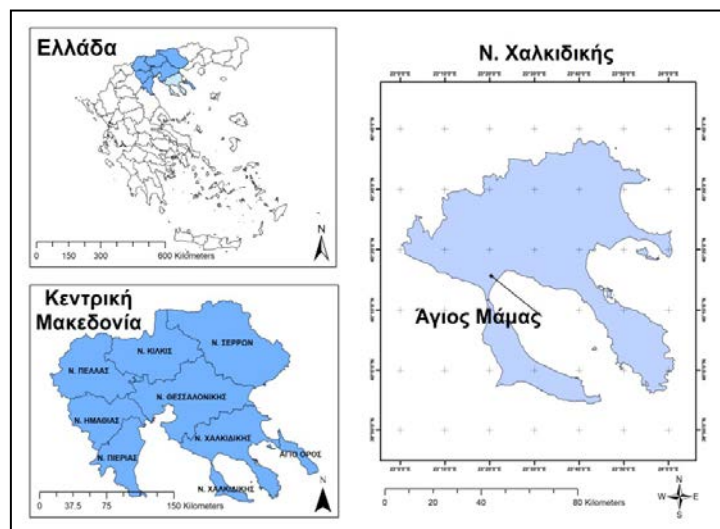
Οι αλλαγές στις κλιματικές συνθήκες θα επηρεάσουν σημαντικά το ρυθμό ανάπτυξης των καλλιεργειών, τις ανάγκες τους σε νερό και γενικότερα τη διαθεσιμότητα των υδατικών πόρων, κυριότερος χρήστης των οποίων είναι η γεωργία, που καταναλώνει περίπου το 80% στη χώρα μας. Η Νότια Ευρώπη, καθώς και η ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου, έχουν αναγνωριστεί ως ευάλωτες περιοχές σχετικά με τις επιπτώσεις της ανθρωπογενούς συνιστώσας της κλιματικής αλλαγής (Giorgi, 2006; IPCC, 2007). Για τον ελλαδικό χώρο προκύπτει ότι κατά το τέλος του 21^{ου} αιώνα (2091-2100) η θερμοκρασία του αέρα θα αυξηθεί μεταξύ 2.4°C και 4.5°C σε σχέση με την περίοδο 1961-1990 (Τράπεζα της Ελλάδος, 2011). Η αύξηση της θερμοκρασίας θα είναι μεγαλύτερη κατά το θέρος και το φθινόπωρο και μικρότερη κατά το χειμώνα και την άνοιξη. Οι μεγαλύτερες τιμές αύξησης της θερμοκρασίας κατά τη χειμερινή περίοδο προβλέπονται για την περιοχή της Βόρειας Ελλάδας.

Στην παρούσα εργασία, μελετήθηκαν οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στη μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία καθώς και στο θερμοκρασιακό εύρος στον σταθμό του Αγίου Μάμα Χαλκιδικής, για τα μέσα (2041-2060) και το τέλος του 21^{ου} αιώνα (2081-2100) με βάση την ιστορική περίοδο 1981-2000. Για την επίτευξη του παραπάνω στόχου λήφθηκαν δεδομένα από τα Μοντέλα Γήινου Συστήματος (ESMs), CanESM2, GFDL-ESM2M, HadGEM2-ES και IPSL-CM5A-LR με βάση τα νέα σενάρια εκπομπών RCP2.6, RCP4.5 και RCP8.5. Τα παραπάνω μοντέλα επιλέχθηκαν καθώς αποτελούν τα τελευταίες γενιάς μοντέλα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στην πιο πρόσφατη (Πέμπτη) Έκθεση Αξιολόγησης της IPCC και περιγράφουν ικανοποιητικά τις κλιματικές συνθήκες του παρελθόντος (IPCC, 2013). Παρόλο που τα παραπάνω μοντέλα αποτελούν ικανά εργαλεία για τις μελλοντικές προβλέψεις, δεν υπάρχει κάποιο μοντέλο που να μπορεί να θεωρηθεί ως το πιο ακριβές. Για την αύξηση της αξιοπιστίας των μελλοντικών προβλέψεων, στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε ένας αριθμός κλιματικών μοντέλων με διαφορετικές χωρικές διακριτοποιήσεις. Αφού λήφθηκαν τα δεδομένα μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας για την περίοδο αναφοράς και τις περιόδους κλιματικής αλλαγής από τα τέσσερα ESMs, υπολογίστηκε η μεταβολή που επέρχεται ανάμεσα στην περίοδο αναφοράς και την περίοδο κλιματικής αλλαγής. Με βάση αυτή τη μεταβολή, διαταράσσεται η ιστορική σειρά των δεδομένων της υπό μελέτη περιοχής. Η διαταραγμένη συνθετική σειρά χρησιμοποιήθηκε από τη γεννήτρια καιρού ClimGen (Stöckle and Nelson, 1999) για την παραγωγή συνθετικών σειρών, οι οποίες διατηρούν τα στατιστικά χαρακτηριστικά μετά τη διατάραξή τους και αποτελούν τις μελλοντικές εκτιμήσεις της θερμοκρασίας.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

2.1 Περιοχή μελέτης

Η μελέτη των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στη θερμοκρασία πραγματοποιήθηκε στην περιοχή του Αγίου Μάμα του Ν. Χαλκιδικής στην Βόρεια Ελλάδα η οποία βρίσκεται μεταξύ 40°15' γεωγραφικό μήκος και 23°20' γεωγραφικό πλάτος (Σχήμα 1). Το κλίμα είναι κυρίως Μεσογειακό, με θερμά καλοκαίρια και ψυχρούς χειμώνες και η περιοχή είναι γεωργική με αρδευόμενες εκτάσεις. Στον Άγιο Μάμα λειτουργεί μετεωρολογικός σταθμός, του οποίου τα μετεωρολογικά δεδομένα είναι σε ημερήσιο χρονικό βήμα και χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή των σεναρίων κλιματικής αλλαγής. Επιπλέον, ο σταθμός βρίσκεται σε χαμηλό υψόμετρο με αποτέλεσμα να προσομοιώνει καλύτερα τις συνθήκες των αρδευόμενων περιοχών καθώς αυτές βρίσκονται σε παραπλήσιο υψόμετρο και παραπλεύρως του σταθμού. Οι κλιματικές παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία είναι η μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία (°C) για την περίοδο αναφοράς 1981-2000.



Σχήμα 1. Η υπό μελέτη περιοχή του Αγίου Μάμα.

2.2 RCPs σενάρια εκπομπών

Για τη μελέτη των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στις διαφορετικές ανθρώπινες δραστηριότητες και το περιβάλλον, αναπτύχθηκαν τα σενάρια εκπομπών τα οποία χρησιμοποιούνται ως δεδομένα εισόδου σε κλιματικά μοντέλα. Τα παραπάνω σενάρια αποτελούν εναλλακτικές εικόνες για το πώς μπορεί να εξελιχθεί το μέλλον καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα μεταβλητών όπως η τεχνολογική εξέλιξη, οι κοινωνικοοικονομικές αλλαγές, οι χρήσεις γης και οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου οι οποίες θα καθορίσουν την εξέλιξη του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής (van Vuuren et al., 2011). Οι διαρκείς ανάγκες για λήψη πολιτικών σχετικά με την αναμενόμενη κλιματική αλλαγή ώθησαν τους επιστήμονες στην ανάπτυξη μιας ομάδας νέων σεναρίων, των RCPs (Representative Concentration Pathways) τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στην Πέμπτη Έκθεση Αξιολόγησης της IPCC (IPCC, 2013). Τα νέα σενάρια RCPs αποτελούνται από τέσσερις ομάδες σεναρίων τα οποία αναπτύχθηκαν για μακροπρόθεσμες και βραχυπρόθεσμες μελλοντικές εκτιμήσεις

οι οποίες λαμβάνουν υπόψη πολιτικές μετριασμού των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής για τη μείωση των εκπομπών των αερίων (IPCC, 2013).

Τα τέσσερα RCPs καλύπτουν τιμές «κλιματικού εξαναγκασμού λόγω μεταβολής της ακτινοβολίας» (radiative forcing) μέχρι το έτος 2100 από 2.6 έως 8.5 W/m² (van Vuuren et al., 2011) και συμπληρώνονται με επεκτάσεις (Extended Concentration Pathways, ECPs), οι οποίες επιτρέπουν τις προβλέψεις μέχρι το έτος 2300. Τα παραπάνω σενάρια έχουν πάρει την ονομασία τους από την τιμή του κλιματικού εξαναγκασμού (RCP2.6, RCP4.5, RCP6 and RCP8.5) σε σχέση με την προβιομηχανική η οποία θα επιτευχθεί είτε το έτος 2100, ή θα σταθεροποιηθεί μετά το 2100 (van Vuuren et al., 2011). Περιλαμβάνουν ένα σενάριο μετριασμού το οποίο οδηγεί σε πολύ χαμηλό κλιματικό εξαναγκασμό (RCP2.6), δύο ενδιάμεσα σενάρια σταθεροποίησης (RCP4.5 and RCP6) και ένα σενάριο υψηλών εκπομπών αερίων (RCP8.5) (van Vuuren et al., 2011). Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το αισιόδοξο σενάριο χαμηλών εκπομπών RCP2.6, το ενδιάμεσο σενάριο RCP4.5 και το δυσμενέστερο σενάριο υψηλών εκπομπών RCP8.5 (IPCC, 2013). Σύμφωνα με το σενάριο RCP2.6 το επίπεδο του κλιματικού εξαναγκασμού φθάνει αρχικά σε μια τιμή περίπου στο 3.1 W/m² στα μέσα του αιώνα και μειώνεται στο 2.6 W/m² μέχρι το 2100. Στο σενάριο RCP4.5 το επίπεδο του κλιματικού εξαναγκασμού φθάνει αρχικά σε μια μέγιστη τιμή κατά το 2040 και σταθεροποιείται στο 4.5 W/m² μέχρι το 2100. Το RCP8.5 χαρακτηρίζεται από την αύξηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια των ετών και αντιπροσωπεύει μια αποτυχία μείωσης της θέρμανσης του πλανήτη έως το 2100.

2.3 Μοντέλα γήινου συστήματος

Τα κλιματικά μοντέλα χρησιμοποιούν ποσοτικές μεθόδους για την προσομοίωση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ της ατμόσφαιρας, των ωκεανών, της επιφάνειας της γης και του πάγου. Χρησιμοποιούνται για διάφορους σκοπούς, από τη μελέτη της δυναμικής του κλίματος μέχρι την πρόβλεψη του μελλοντικού κλίματος. Τα Μοντέλα Γήινου Συστήματος (Earth System Models-ESMs) αποτελούν τα τελευταία γενιάς κλιματικά μοντέλα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στην Πέμπτη Έκθεση Αξιολόγησης της IPCC και είναι τα καταλληλότερα διαθέσιμα εργαλεία για την προσομοίωση της αντίδρασης του κλιματικού συστήματος, τόσο στο παρελθόν όσο και στο μέλλον. Τα ESMs αποτελούν επεκτάσεις των Ατμοσφαιρικών-Ωκεάνιων Μοντέλων Γενικής Κυκλοφορίας (Atmospheric-Ocean General Circulation Models-AOGCMs) και περιλαμβάνουν βιοχημικούς κύκλους όπως τον κύκλο του άνθρακα, του θείου και του όζοντος (Flato, 2011) αλλά και τις επιδράσεις λόγω λήψεων αποφάσεων. Τα παραπάνω μοντέλα περιλαμβάνουν και πολιτικές όπως η μείωση των εκπομπών του CO₂ συμβατές με έναν συγκεκριμένο στόχο σταθεροποίησής τους (IPCC, 2013).

Στην παρούσα εργασία, χρησιμοποιήθηκαν τα μοντέλα CanESM2, GFDL-ESM2M, HadGEM2-ES και IPSL-CM5A-LR με βάση τα νέα σενάρια εκπομπών RCPs. Το CanESM2 είναι ένα μοντέλο Γήινου Συστήματος από το Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis (CCCma) και αποτελείται από ωκεάνιο, θαλάσσιου πάγου, ατμοσφαιρικό, γήινο και κύκλου του άνθρακα μοντέλο. Η οριζόντια διακριτοποίηση του ατμοσφαιρικού τμήματός του είναι 2.81° γ.μ. και 2.79° γ.π. με 35 κατακόρυφα επίπεδα (Arora et al., 2011). Το GFDL-ESM2M αναπτύχθηκε από το National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)/Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL) και αποτελεί ένα συζευγμένο κλιματικό - κύκλου του άνθρακα μοντέλο Γήινου Συστήματος. Το

παραπάνω μοντέλο έχει ατμοσφαιρική οριζόντια διακριτοποίηση 2.5 x 2.0 (γ.μ. x γ.π.) και ωκεάνια οριζόντια χωρική διακριτοποίηση 1.0 x 1.0 (γ.μ. x γ.π.) (Dunne et al., 2013). Το HadGEM2-ES από το Met Office Unified Model (MetUM) αποτελείται από ατμοσφαιρικό, ωκεάνιο και θαλάσσιου πάγου μοντέλο καθώς και ένα γήινο μοντέλο το οποίο περιλαμβάνει τη δυναμική βλάστηση, την ωκεάνια βιολογία και την χημεία της ατμόσφαιρας (Martin et al., 2011). Το HadGEM2-ES έχει οριζόντια ατμοσφαιρική διακριτοποίηση 1.875 x 1.25 (γ.μ. x γ.π.) που ισούται με περίπου 140 km στα μεσαία γεωγραφικά πλάτη. Το ωκεάνιο τμήμα έχει οριζόντια χωρική διακριτοποίηση 1.0 x 1.0, με την διακριτοποίηση σε γ.π. να αυξάνεται από 30 N/S στα 0.33 στον ισημερινό. Το IPSL-CM5A-LR δημιουργήθηκε από το Institute Pierre Simon Laplace (IPSL) και περιλαμβάνει τον κύκλο του άνθρακα, την χημεία της τροπόσφαιρας και της στρατόσφαιρας καθώς και μια περιεκτική αναπαράσταση των αιωρούμενων σωματιδίων (Dufresne, 2013). Το μοντέλο IPSL-CM5A-LR έχει ατμοσφαιρική οριζόντια χωρική διακριτοποίηση 3.75 γ.μ. και 1.89 γ.π..

2.4 Υποβιβασμός με τη γεννήτρια καιρού ClimGen

Τα κλιματικά μοντέλα ενώ μπορούν να προσομοιώσουν ικανοποιητικά το παγκόσμιο κλίμα αποτυγχάνουν στην περιγραφή του τοπικού κλίματος σε χωρική και χρονική κλίμακα (Prudhomme et al., 2002) καθώς η χωρική τους διακριτοποίηση είναι πολύ χαμηλή για μελέτες επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Για την επίλυση του προβλήματος των αδυναμιών των μοντέλων αναπτύχθηκαν οι μέθοδοι υποβιβασμού κλίμακας (Downscaling Methods), οι οποίες αποτελούν μια μετάβαση από τη μεγάλη κλίμακα των ESMs σε μικρότερη τοπική κλίμακα για την εκτίμηση των επιπτώσεων της αλλαγής του κλίματος. Τα στοχαστικά μοντέλα τα οποία παράγουν συνθετικές σειρές μετεωρολογικών μεταβλητών από ιστορικά δεδομένα είναι ιδιαίτερα σημαντικά για την ανάλυση γεωργικών, υδρολογικών και περιβαλλοντικών και άλλων συστημάτων εξαρτώμενων από το κλίμα. Οι γεννήτριες καιρού (Weather Generators) αποτελούν στατιστικά μοντέλα τα οποία χρησιμοποιούνται για τη στοχαστική προσομοίωση και παραγωγή συνθετικών σειρών κλιματικών παραμέτρων οι οποίες διατηρούν τα στατιστικά χαρακτηριστικά της ιστορικής σειράς (Georgiou and Karrouzos, 2017; Koukouli et al., 2018).

Η γεννήτρια καιρού ClimGen είναι ένα στοχαστικό μοντέλο με ημερήσιο χρονικό βήμα το οποίο παράγει χρονοσειρές κλιματικών παραμέτρων με παρόμοιες στατιστικές ιδιότητες με αυτές των ιστορικών δεδομένων. Το ClimGen έχει δώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα στην παραγωγή συνθετικών σειρών για ποίκιλες κλιματικές συνθήκες (Stöckle and Nelson, 1999) και έχει πλεονεκτήματα έναντι άλλων μεθόδων υποβιβασμού κλίμακας. Σύμφωνα με τη μέθοδο υποβιβασμού κλίμακας αυτής της κατηγορίας, αφού λήφθηκαν τα δεδομένα για την περίοδο αναφοράς και για τις περιόδους κλιματικής αλλαγής από τα τέσσερα μοντέλα Γήινου Συστήματος, για τη μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία, υπολογίσθηκε η μεταβολή που επέρχεται ανάμεσα στην περίοδο αναφοράς και τις περιόδους κλιματικής αλλαγής. Στη συνέχεια με βάση αυτή τη μεταβολή, διαταράχθηκε η ιστορική σειρά των δεδομένων της περιοχής μελέτης. Η διαταραγμένη πλέον ιστορική σειρά χρησιμοποιήθηκε από τη γεννήτρια καιρού GlimGen για την παραγωγή συνθετικών σειρών, οι οποίες διατηρούν τα στατιστικά χαρακτηριστικά της ιστορικής σειράς μετά τη διατάραξή τους και αποτυπώνουν τη μελλοντική μεταβολή της θερμοκρασίας.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στην παρούσα εργασία έγινε εκτίμηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στη μέγιστη (T_{max}) και ελάχιστη θερμοκρασία (T_{min}) για τις κλιματικές περιόδους 2041-2060 και 2081-2100, στην περιοχή του Αγίου Μάμα Χαλκιδικής. Επιπρόσθετα μελετήθηκαν οι επιπτώσεις της αλλαγής του κλίματος στο θερμοκρασιακό εύρος (T_{range}). Στους Πίνακες 1 και 2 δίνονται οι μέσες ετήσιες τιμές της μηνιαίας T_{max} και T_{min} αντίστοιχα και η συγκριτική μεταβολή τους, για τις περιόδους κλιματικής αλλαγής 2041-2060 και 2081-2100 με βάση τα τέσσερα μοντέλα ESMs για τα σενάρια RCP2.6, RCP4.5 και RCP8.5.

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων προκύπτει ότι οι μέσες ετήσιες τιμές της μηνιαίας T_{max} και T_{min} θα αυξηθούν κατά τη διάρκεια των περιόδων 2041-2060 και 2081-2100 και για τα τρία σενάρια εκπομπών με εξαίρεση το μοντέλο GFDL-ESM2M το οποίο δίνει μείωση στις τιμές της ελάχιστης θερμοκρασίας. Η μεγαλύτερη αύξηση παρατηρείται με βάση το σενάριο υψηλών εκπομπών RCP8.5, η μικρότερη με βάση το σενάριο χαμηλών εκπομπών RCP2.6 ενώ το RCP4.5 δίνει ενδιάμεσες τιμές αύξησης. Εξαίρεση αποτελεί το μοντέλο IPSL-CM5A-LR για την περίοδο 2041-2060 το οποίο δίνει μεγαλύτερη αύξηση της μέσης ετήσιας τιμής της μηνιαίας T_{max} με βάση το RCP2.6 σε σχέση με το RCP4.5. Μεταξύ των κλιματικών μοντέλων, το HadGEM2-ES δίνει την μεγαλύτερη αύξηση ενώ το GFDL-ESM2M την μικρότερη αύξηση της μέγιστης και μείωση της ελάχιστης θερμοκρασίας.

Πίνακας 1. Μέση ετήσια τιμή των μηνιαίων μέγιστων θερμοκρασιών (T_{max}) ($^{\circ}C$) (έντονη γραφή) και συγκριτική μεταβολή (κανονική γραφή), του Αγίου Μάμα με βάση τα μοντέλα CanESM2, GFDL-ESM2M, HadGEM2-ES και IPSL-CM5A-LR για τα σενάρια RCP2.6, RCP4.5 και RCP8.5 για τις περιόδους κλιματικής αλλαγής 2041-2060 και 2081-2100 σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1981-2000.

Αγ. Μάμας	<i>Μέση Ετήσια Τιμή των Μηνιαίων T_{max} και Συγκριτική Μεταβολή ($^{\circ}C$)</i>						
	<i>Μοντέλα Γήινου Συστήματος</i>	Περίοδος κλιματικής αλλαγής 2041-2060			Περίοδος κλιματικής αλλαγής 2081-2100		
		RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
1981-2000							
25.26	CanESM2	29.21	29.73	30.12	29.25	30.25	33.68
ΔT_{max}		3.95	4.47	4.86	3.99	4.99	8.42
	GFDL- ESM2M	27.76	28.40	28.79	27.91	28.31	30.42
		2.50	3.14	3.53	2.65	3.05	5.16
	HadGEM2-ES	29.70	29.90	30.52	29.64	31.03	34.46
		4.44	4.64	5.26	4.38	5.77	9.20
	IPSL-CM5A- LR	29.67	29.41	30.36	29.18	30.61	34.33
		4.41	4.15	5.10	3.92	5.35	9.07

Πίνακας 2. Μέση ετήσια τιμή των μηνιαίων ελάχιστων θερμοκρασιών (T_{min}) ($^{\circ}C$) (έντονη γραφή) και συγκριτική μεταβολή (κανονική γραφή), του Αγίου Μάμα με βάση τα μοντέλα CanESM2, GFDL-ESM2M, HadGEM2-ES και IPSL-CM5A-LR για τα σενάρια RCP2.6, RCP4.5 και RCP8.5 για τις περιόδους κλιματικής αλλαγής 2041-2060 και 2081-2100 σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1981- 2000.

		<i>Μέση Ετήσια Τιμή των Μηνιαίων T_{min} και Συγκριτική Μεταβολή ($^{\circ}C$)</i>					
Αγ. Μάμας	Μοντέλα Γήινου Συστήματος	Περίοδος κλιματικής αλλαγής 2041-2060			Περίοδος κλιματικής αλλαγής 2081-2100		
		RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
1981-2000							
3.78	CanESM2	4.11	4.45	5.03	4.24	4.95	7.60
ΔT_{min}		0.33	0.67	1.24	0.45	1.16	3.81
	GFDL- ESM2M	2.68	3.21	3.58	2.94	3.04	5.11
		-1.10	-0.57	-0.21	-0.84	-0.74	1.32
	HadGEM2- ES	4.58	4.69	5.22	4.52	5.83	7.99
		0.80	0.91	1.44	0.74	2.05	4.21
	IPSL-CM5A- LR	4.04	4.40	5.21	4.06	5.25	7.99
		0.26	0.62	1.43	0.28	1.47	4.21

Η αύξηση της μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας αναμένεται να είναι μεγαλύτερη κατά το τέλος (2081-2100) σε σχέση με τα μέσα του 21^{ου} αιώνα (2041-2060) για την πλειονότητα των περιπτώσεων. Η προσομοίωση της μέσης ετήσιας τιμής των μηνιαίων T_{max} και T_{min} από το RCP8.5 εμφανίζει τις μεγαλύτερες τιμές αύξησης μεταξύ των δύο περιόδων κλιματικής αλλαγής. Το παραπάνω οφείλεται στο γεγονός ότι το RCP4.5 είναι ένα ενδιάμεσο σενάριο σταθεροποίησης στο οποίο οι εκπομπές των αερίων φθάνουν τις μέγιστες τιμές κατά το 2040 και σταθεροποιούνται μετά το 2100 ενώ στο RCP8.5 οι εκπομπές συνεχίζουν να αυξάνονται κατά τη διάρκεια του 21^{ου} αιώνα. Όσον αφορά το σενάριο RCP2.6 οι διαφορές στις μεταβολές της θερμοκρασίας στα μέσα και στο τέλος του 21^{ου} αιώνα θα είναι μικρότερες. Οι μικρότερες διαφορές στην αύξηση της θερμοκρασίας μεταξύ των δύο περιόδων κλιματικής αλλαγής οφείλονται στις χαμηλές εκπομπές των αερίων οι οποίες πιάνουν την μέγιστη τιμή τους το 2010-2020 και στη συνέχεια μειώνονται έως το 2100.

Το σενάριο χαμηλών εκπομπών RCP2.6 δίνει αύξηση της μέσης ετήσιας τιμής της μηνιαίας T_{max} μεταξύ $2.50^{\circ}C$ και $4.44^{\circ}C$ κατά τη διάρκεια του 2041-2060 και από $2.65^{\circ}C$ έως $4.38^{\circ}C$ κατά το 2081-2100, σύμφωνα με τα ESMs GFDL-ESM2M and HadGEM2-ES, αντίστοιχα. Η αναμενόμενη αύξηση της T_{max} με βάση το ενδιάμεσο σενάριο RCP4.5 θα είναι από $3.14^{\circ}C$ (GFDL-ESM2M) έως $4.64^{\circ}C$ (HadGEM2-ES) και από $3.05^{\circ}C$ (GFDL-ESM2M) έως $5.77^{\circ}C$ (HadGEM2-ES) για τις περιόδους 2041-2060 και 2081-2100, αντίστοιχα. Σύμφωνα με το σενάριο υψηλών εκπομπών

RCP8.5, η T_{max} θα αυξηθεί κατά 3.53°C (GFDL-ESM2M) έως 5.26°C (HadGEM2-ES) για την περίοδο 2041-2060 και κατά 5.16°C (GFDL-ESM2M) έως 9.20°C (HadGEM2-ES) για το 2081-2100 σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1981-2000.

Όσον αφορά τη μέση ετήσια τιμή της μηνιαίας T_{min} , η αναμενόμενη αύξηση με βάση το σενάριο χαμηλών εκπομπών RCP2.6 θα είναι από 0.26°C έως 0.80°C κατά τη διάρκεια του 2041-2060 και από 0.28°C έως 0.74°C κατά το 2081-2100, σύμφωνα με τα IPSL-CM5A-LR και HadGEM2-ES, αντίστοιχα. Με βάση το ενδιάμεσο σενάριο RCP4.5 η T_{min} αναμένεται να αυξηθεί από 0.62°C (IPSL-CM5A-LR) έως 0.91°C (HadGEM2-ES) και από 1.16°C (CanESM2) έως 2.05°C (HadGEM2-ES) για τις κλιματικές περιόδους 2041-2060 και 2081-2100, αντίστοιχα. Το σενάριο υψηλών εκπομπών RCP8.5, προβλέπει αύξηση της ελάχιστης θερμοκρασίας κατά 1.24°C (CanESM2) έως 1.44°C (HadGEM2-ES) για την περίοδο 2041-2060 και κατά 1.32°C (GFDL-ESM2M) έως 4.21°C (HadGEM2-ES και IPSL-CM5A-LR) για το 2081-2100. Το μοντέλο GFDL-ESM2M δίνει μείωση στις τιμές της T_{min} με τη μεγαλύτερη μείωση των 1.10°C να παρατηρείται με βάση το σενάριο RCP2.6 κατά το 2041-2060.

Πίνακας 3. Μέση ετήσια τιμή του ημερήσιου θερμοκρασιακού εύρους (T_{range} °C) (έντονη γραφή) και συγκριτική μεταβολή (κανονική γραφή), του Αγίου Μάμα με βάση τα μοντέλα CanESM2, GFDL-ESM2M, HadGEM2-ES και IPSL-CM5A-LR για τα σενάρια RCP2.6, RCP4.5 και RCP8.5 για τις περιόδους κλιματικής αλλαγής 2041-2060 και 2081-2100 σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1981-2000.

Αγ. Μάμας	<i>Μέση Ετήσια Τιμή του Ημερήσιου T_{range} και Συγκριτική Μεταβολή (°C)</i>						
	<i>Μοντέλα Γήινου Συστήματος</i>	Περίοδος κλιματικής αλλαγής 2041-2060			Περίοδος κλιματικής αλλαγής 2081-2100		
		RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
1981-2000							
7.53	CanESM2	8.65	8.55	8.48	8.48	8.61	8.82
ΔT_{range}		1.12	1.03	0.95	0.95	1.09	1.29
	GFDL- ESM2M	8.54	8.63	8.75	8.41	8.59	8.75
		1.01	1.11	1.22	0.88	1.07	1.22
	HadGEM2- ES	8.57	8.64	8.59	8.53	8.71	9.30
		1.04	1.11	1.06	1.01	1.19	1.78
	IPSL-CM5A- LR	8.97	8.35	8.53	8.27	8.74	9.54
		1.45	0.82	1.00	0.74	1.21	2.01

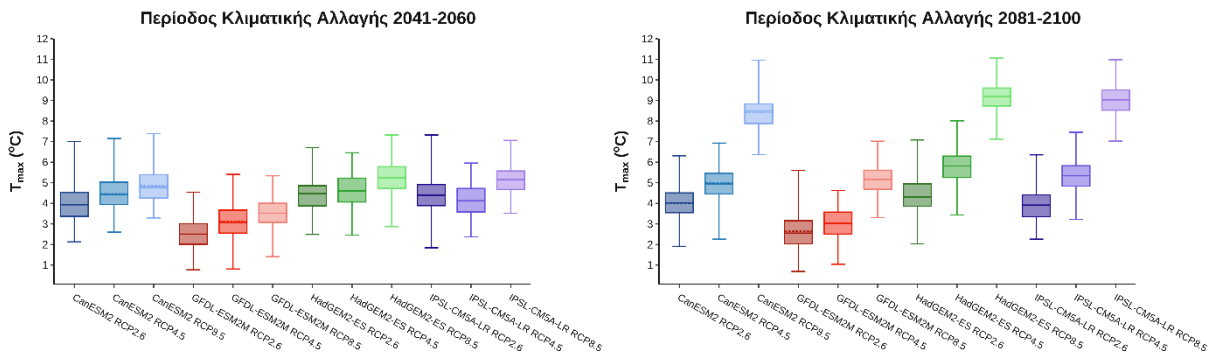
Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 3, στον οποίο δίνονται οι μέσες ετήσιες τιμές του ημερήσιου θερμοκρασιακού εύρους (T_{range}) του Αγίου Μάμα, το θερμοκρασιακό εύρος αναμένεται να αυξηθεί για τις περιόδους κλιματικής αλλαγής 2041-2060 και 2081-2100 με βάση τα τέσσερα μοντέλα και για τα τρία σενάρια εκπομπών. Η μεγαλύτερη αύξηση παρατηρείται σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5, η μικρότερη με βάση το RCP2.6 ενώ το RCP4.5 δίνει ενδιάμεσες τιμές αύξησης κατά την περίοδο 2081-2100. Η παραπάνω αύξηση αναμένεται για την περίοδο κλιματικής αλλαγής 2041-2060 μόνο με βάση το μοντέλο GFDL-ESM2M. Η μεγαλύτερη αύξηση του T_{range} κατά 2.01°C δίνεται σύμφωνα με το μοντέλο IPSL-CM5A-LR για το σενάριο RCP8.5 κατά την περίοδο 2081-2100 ενώ η μικρότερη κατά 0.74°C με βάση το παραπάνω μοντέλο για το σενάριο RCP2.6 κατά την ίδια περίοδο.

Στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται η διακύμανση της μέσης ετήσιας τιμής: α) της μηνιαίας T_{max} , β) της μηνιαίας T_{min} και γ) του ημερήσιου T_{range} σε μορφή θηκογραμμάτων (box plots) για τις περιόδους 2041-2060 και 2081-2100 σε σχέση με την περίοδο αναφοράς όπως προέκυψαν από τα μοντέλα CanESM2, GFDL-ESM2M, HadGEM2-ES και IPSL-CM5A-LR για τα σενάρια RCP2.6, RCP4.5 και RCP8.5. Τα θηκογράμματα αποτελούν τη γραφική απεικόνιση της κατανομής των δεδομένων όπου κάθε θηκόγραμμα αντιπροσωπεύει το 50% των μεσαίων τιμών δηλαδή αυτών που βρίσκονται μεταξύ του άνω και κάτω τεταρτημορίου.

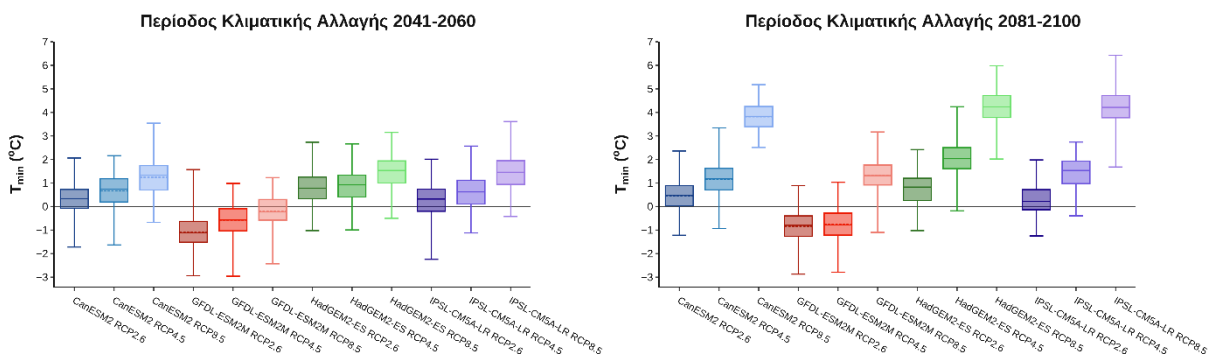
Η αύξηση της T_{max} και του T_{range} σύμφωνα με τα τέσσερα κλιματικά μοντέλα είναι εμφανής καθώς οι διάμεσοι των θηκογραμμάτων έχουν θετικές τιμές. Όσον αφορά την ελάχιστη θερμοκρασία, οι διάμεσοι των θηκογραμμάτων έχουν θετικές τιμές για τα μοντέλα CanESM2, HadGEM2-ES και IPSL-CM5A-LR ενώ το GFDL-ESM2M δίνει μείωσή της. Από το Σχήμα προκύπτει ότι οι διάμεσοι συμπίπτουν με το μέσο όρο και ο διάμεσος κάθε θηκογράμματος είναι στη μέση γεγονός που υποδεικνύει ότι η κατανομή είναι συμμετρική σε όλες τις περιπτώσεις. Τα θηκογράμματα έχουν παρόμοιο εύρος τιμών τόσο για τη μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία όσο και για το θερμοκρασιακό εύρος. Από την ανάλυση των θηκογραμμάτων προκύπτει ότι το δυσμενές σενάριο RCP8.5 έχει υψηλότερες μέγιστες και μέσες τιμές σε σχέση με το ήπιο σενάριο RCP2.6 και για τις δύο περιόδους με βάση και τα τέσσερα μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν, γεγονός που υποδεικνύει ότι το RCP8.5 προβλέπει μεγαλύτερη αύξηση της T_{max} και T_{min} . Υψηλότερες μέγιστες και μέσες τιμές του T_{range} δίνονται σύμφωνα με το RCP8.5 σε σχέση με το RCP2.6 για την περίοδο κλιματικής αλλαγής 2081-2100. Η υψηλότερη μέγιστη και μέση τιμή της μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας παρατηρείται στην περίπτωση του μοντέλου HadGEM2-ES ενώ η χαμηλότερη με βάση το GFDL-ESM2M τόσο για τα μέσα όσο και για το τέλος του 21^{ου} αιώνα. Όσον αφορά το θερμοκρασιακό εύρος, η υψηλότερη μέγιστη και μέση τιμή δίνεται από το μοντέλο IPSL-CM5A-LR σύμφωνα με το σενάριο υψηλών εκπομπών RCP8.5 για το τέλος του 21^{ου} αιώνα.

Όσον αφορά την εξέλιξη της μέσης μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας και του θερμοκρασιακού εύρους ανά μήνα για τις μελλοντικές περιόδους, τα αποτελέσματα παρουσιάζονται χρησιμοποιώντας «heatmaps» που είναι η παρουσίαση των δεδομένων σε μορφή ενός χάρτη στον οποίο οι τιμές τους αντιπροσωπεύονται από χρώματα. Στο Σχήμα 3 δίνεται η εξέλιξη της μέσης T_{max} , T_{min} και T_{range} ανά μήνα με βάση τα μοντέλα CanESM2, GFDL-ESM2M, HadGEM2-ES και IPSL-CM5A-LR για τα σενάρια α) RCP2.6 β) RCP4.5 και γ) RCP8.5 για τις περιόδους 2041-2060 και 2081-2100 σε σχέση με την περίοδο αναφοράς.

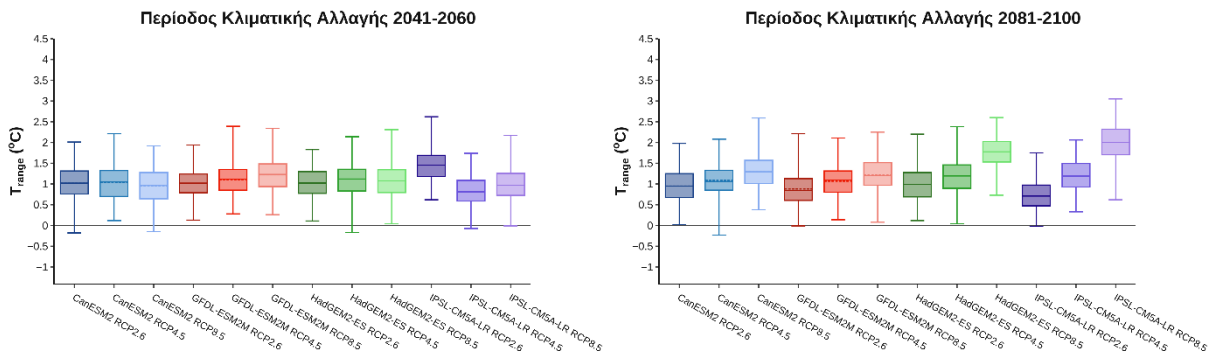
α) Διακύμανση Μέσης Ετήσιας Τιμής του Μηνιαίου T_{max}



β) Διακύμανση Μέσης Ετήσιας Τιμής του Μηνιαίου T_{min}



γ) Διακύμανση Μέσης Ετήσιας Τιμής του Ημερήσιου T_{range}

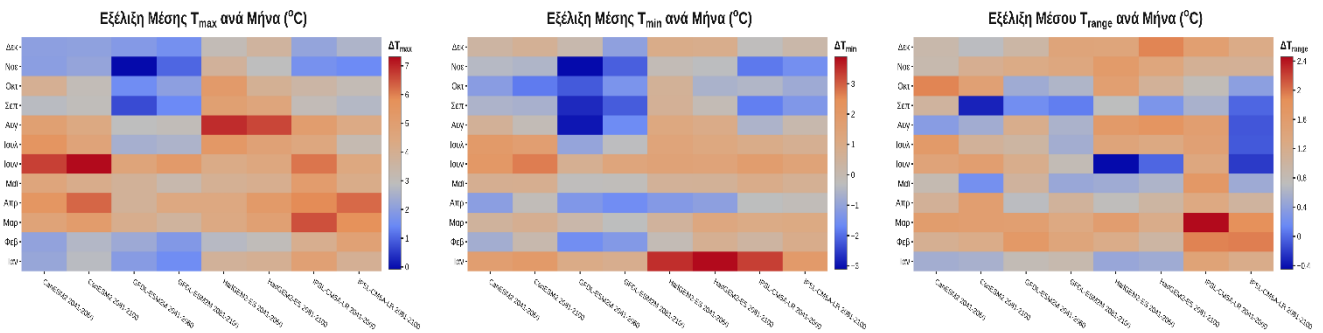


Σχήμα 2. Θηκογράμματα (box plots) της διακύμανσης της μέσης ετήσιας τιμής: α) της μηνιαίας T_{max} , β) της μηνιαίας T_{min} και γ) του ημερήσιου T_{range} του Αγίου Μάμα με βάση τα μοντέλα CanESM2, GFDL-ESM2M, HadGEM2-ES και IPSL-CM5A-LR για τα σενάρια RCP2.6, RCP4.5 και RCP8.5 για τις περιόδους 2041-2060 και 2081-2100 σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1981-2000.

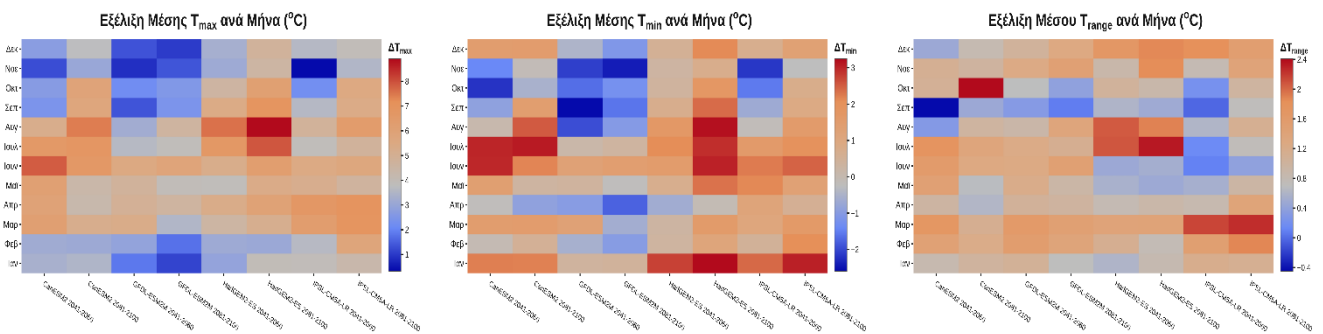
Στο παρακάτω Σχήμα 3, τα heatmaps αποτελούνται από διαφορετικές χρωματικές διαβαθμίσεις όπου οι κόκκινες αποχρώσεις υποδεικνύουν αύξηση της θερμοκρασίας ενώ οι γαλάζιες μικρότερη αύξηση (ανοιχτές αποχρώσεις) ή μείωσή της (σκουρόχρωμες αποχρώσεις) στην περίπτωση της

ελάχιστης θερμοκρασίας. Από την ανάλυση των heatmaps προκύπτει ότι κατά τη διάρκεια του τέλους του 21^{ου} αιώνα υπάρχει στην πλειοψηφία των περιπτώσεων μεγαλύτερη αύξηση της μέσης T_{max} και T_{min} ανά μήνα σε σχέση με τα μέσα του 21^{ου} αιώνα, γεγονός που φαίνεται από το μεγαλύτερο αριθμό είτε πιο σκούρων κόκκινων αποχρώσεων (μεγαλύτερη αύξηση θερμοκρασίας) έναντι των ανοιχτόχρωμων στην πρώτη περίπτωση ή πιο ανοιχτόχρωμων αποχρώσεων του μπλε.

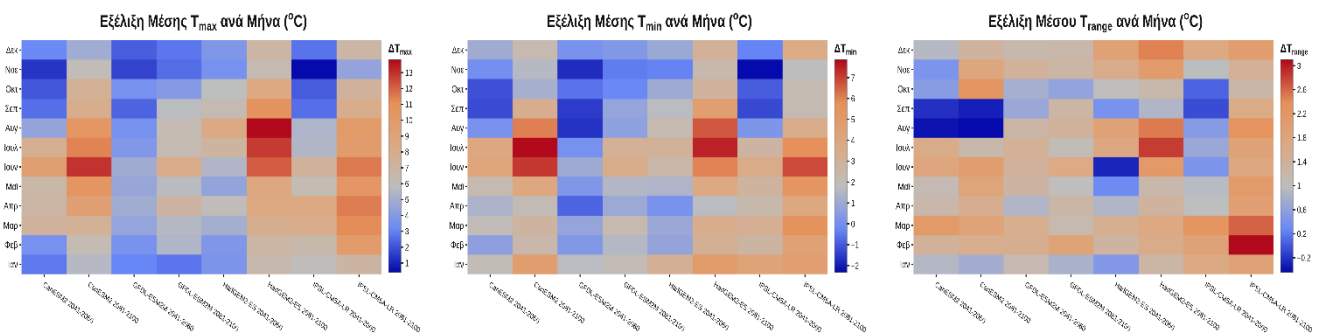
α) Σενάριο Εκπομπών RCP2.6



β) Σενάριο Εκπομπών RCP4.5



γ) Σενάριο Εκπομπών RCP8.5



Σχήμα 3. Εξέλιξη σε μορφή heatmaps της μέσης μέγιστης θερμοκρασίας (T_{max}), ελάχιστης θερμοκρασίας (T_{min}), και του θερμοκρασιακού εύρους (T_{range}) του Αγίου Μάμα ανά μήνα, με βάση τα μοντέλα CanESM2, GFDL-ESM2M, HadGEM2-ES και IPSL-CM5A-LR για τα σενάρια α) RCP2.6 β) RCP4.5 και γ) RCP8.5 για τις περιόδους 2041-2060 και 2081-2100 σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1981-2000.

Μεγαλύτερο εύρος στην κλίμακα τιμών παρατηρείται με βάση το δυσμενές σενάριο εκπομπών RCP8.5, υποδεικνύοντας ότι το παραπάνω σενάριο δίνει τις μεγαλύτερες τιμές αύξησης της μέσης T_{max} και T_{min} ανά μήνα μεταξύ των τριών σεναρίων. Η κλίμακα τιμών φθάνει έως την τιμή των 13°C όσον αφορά την μέση T_{max} ανά μήνα και την τιμή των 7°C για την μέση T_{min} ανά μήνα. Από τα heatmaps προκύπτει ότι στην περίπτωση της ελάχιστης θερμοκρασίας αναμένεται και μείωσή της. Μεγάλη άνοδος της μέγιστης θερμοκρασίας αναμένεται κατά τον Αύγουστο και της ελάχιστης κατά τους θερινούς μήνες Ιούνιο και Ιούλιο και από τους χειμερινούς τον Ιανουάριο. Από την ανάλυση των heatmaps προκύπτει ότι μεγαλύτερη αύξηση του μέσου T_{range} ανά μήνα αναμένεται κατά το 2081-2100 σε σχέση με το 2041-2060 σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5. Στην περίπτωση του μοντέλου IPSL-CM5A-LR σύμφωνα με το σενάριο υψηλών εκπομπών RCP8.5 κατά το τέλος του 21^{ου} αιώνα επικρατούν μόνο κόκκινες αποχρώσεις γεγονός που υποδεικνύει την μεγαλύτερη αύξηση μεταξύ όλων των περιπτώσεων.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην μέση ετήσια τιμή της μηνιαίας μέγιστης T_{max} και ελάχιστης θερμοκρασίας T_{min} καθώς και στη μέση ετήσια τιμή του ημερήσιου θερμοκρασιακού εύρους T_{range} , στην περιοχή του Αγίου Μάμα Χαλκιδικής για τα μέσα και το τέλος του 21^{ου} αιώνα. Για την επίτευξη του παραπάνω στόχου, λήφθηκαν δεδομένα από τέσσερα Μοντέλα Γήινου Συστήματος (ESMs) CanESM2, GFDL-ESM2M, HadGEM2-ES και IPSL-CM5A-LR σύμφωνα με τα επικαιροποιημένα σενάρια κλιματικής αλλαγής RCP2.6, RCP4.5 και RCP8.5 χρησιμοποιώντας ως περίοδο αναφοράς το 1981-2000. Οι προσομοιώσεις από τα ESMs υποδεικνύουν ότι η μέση ετήσια τιμή της μηνιαίας T_{max} και T_{min} καθώς και η μέση ετήσια τιμή του ημερήσιου T_{range} αναμένεται να αυξηθούν στο μέλλον με τη μεγαλύτερη αύξηση να παρατηρείται με βάση το σενάριο υψηλών εκπομπών RCP8.5 και η μικρότερη με βάση το σενάριο χαμηλών εκπομπών RCP2.6. Οι αναμενόμενες μεταβολές της T_{max} και T_{min} θα είναι μεγαλύτερες κατά την περίοδο 2081-2100 σε σχέση με την περίοδο 2041-2060 στην πλειονότητα των περιπτώσεων. Μεταξύ των τεσσάρων κλιματικών μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν, το HadGEM2-ES δίνει την μεγαλύτερη αύξηση ενώ το GFDL-ESM2M την μικρότερη αύξηση της μέγιστης και μείωση της ελάχιστης θερμοκρασίας. Το παραπάνω υποδεικνύει την αναγκαιότητα της χρήσης ενός αριθμού κλιματικών μοντέλων στη μελέτη της αλλαγής του κλίματος με σκοπό την αύξηση της αξιοπιστίας των προσομοιώσεων. Όσον αφορά την εξέλιξη της μέσης θερμοκρασίας ανά μήνα, μεγαλύτερη άνοδος αναμένεται να σημειωθεί κατά τον Αύγουστο για την T_{max} , τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο και Ιανουάριο για την T_{min} ενώ για το T_{range} κατά τους μήνες Ιούλιο και Φεβρουάριο.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Arora, V.K., Scinocca, J.F., Boer, G.J., Christian, J.R., et al., 2011. *Carbon emission limits required to satisfy future representative concentration pathways of greenhouse gases*. Geophysical Research Letters, 38: L05805, doi:10.1029/2010GL046270.
- Dufresne, J.-L., Foujols, M.-A., Denvil, S., Caubel, A., et al., 2013. *Climate change projections using the IPSL-CM5 Earth System Model: from CMIP3 to CMIP5*. Climate Dynamics, 40: 2123-2165.

- Dunne, J.P., John, J.G., Shevliakova, E., Stouffer, R.J., et al., 2013. *GFDL's ESM2 Global Coupled Climate - Carbon Earth System Models. Part II: Carbon system formulation and baseline simulation characteristics*. *Journal of Climate*, 26: 2247-2267.
- Flato, G., 2011. *Earth system models: an overview*. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2(6): 783-800.
- Georgiou, P.E. and Karpouzou, D.K., 2017. *Optimal irrigation water management for adaptation to climate change*. *International Journal of Sustainable Agricultural Management and Informatics*, 3(4): 271-285.
- Giorgi, F., 2006. *Climate change hot-spots*. *Geophysical Research Letters*, 33(8): L08707.
- IPCC, 2007. *Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability*. In: M.L. Pary, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (eds), *Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- IPCC, 2013. *Climate Change 2013: The physical science basis*, In: T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, et al., (eds), *Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Koukouli, P., Georgiou, P. and Karpouzou, D. 2018. *Assessing the hydrological effect of climate change on water balance of a River Basin in Northern Greece*. *International Journal of Agricultural and Environmental Information Systems*, 9(4): 14-34.
- Martin, G.M., Bellouin, N., Collins, W.J., Culverwell, I.D., et al., 2011. *The HadGEM2 Family of Met Office Unified Model Climate Configurations*, *Geoscientific Model Development*, 4: 723-757.
- Prudhomme, C., Reynard, N. and Crooks, S. 2002. *Downscaling of global climate models for flood frequency analysis: where are we now?* *Hydrological Processes*, 16: 1137-1150.
- Stöckle, C.O. and Nelson, R.L. 1999. *ClimGen: a weather generator program*. *Biological Systems Engineering Department*, Washington State University, Pullman, WA.
- Τράπεζα της Ελλάδος, 2011. *Οι περιβαλλοντολογικές, οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα*. Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής. Ίδρυμα Εκτύπωσης Τραπεζογραμματίων και Αξιών της Τράπεζας της Ελλάδος, Ελλάδα, 546 σελ.
- van Vuuren, D.P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., et al., 2011. *The representative concentration pathways: an overview*. *Climatic Change*, 109: 5-31.

AN HOLISTIC APPROACH TO NATURE BASED SOLUTIONS AS A MEANS TO ADAPT TO AND MITIGATE CLIMATE CHANGE INDUCED RISKS: THE CASE STUDY OF SPERCHIOS

M. Stefanopoulou⁺, D. Panga⁺, I.G. Apostolidou⁺, C. Spyrou^{+&} & M. Loupis^{+*}

⁺Innovative Technologies Centre (ITC) S.A., 25 Alketou Street, 11633 Athens, Greece,
www.itcnet.gr, e-mail: maria.stefanopoulou@itcnet.gr

^{+&}Department of Geography, Harokopio Un. Athens, El. Venizelou 70, 17671, Athens, Greece

^{+*}National and Kapodistrian University of Athens, 34400 Psachna, Greece, www.uoa.gr

ABSTRACT

The European Commission defines “Nature Based Solutions (NBS) to societal challenges” as solutions that are inspired and supported by nature, are cost-effective, provide environmental, social and economic benefits and help build resilience. (EC, 2016). The concept of NBS has been adopted in the research programme HORIZON 2020 (EC, 2015), as well as in the OPERANDUM principles, aiming to provide science-based evidence for the usability of NBS, ranging from local to landscape scales, and foster the market opportunities, upscaling and replicating in Europe and Worldwide. NBS is a complex process of nature that requires a range of methods and tools aligned with all possible procedures such as co-design, implementation, evaluation and monitoring, policies and regulations.

Keywords: NBS, Climate Change, Hydro-Meteorological Risk, Co-Design

ΜΙΑ ΟΛΙΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΛΥΣΕΩΝ ΩΣ ΜΕΣΟ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΙΑΣΜΟΥ ΤΩΝ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ: Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΣΠΕΡΧΕΙΟΥ

Μ. Στεφανοπούλου⁺, Δ. Πάγκα⁺, Η.Γ. Αποστολίδου⁺, Χ. Σπύρου^{+&}, Μ. Λούπης^{+*}

⁺Innovative Technologies Centre (ITC) S.A., Αλκέτου 25, 11633 Αθήνα, Ελλάδα,
http://www.itcnet.gr, e-mail: maria.stefanopoulou@itcnet.gr

^{+&}Τμήμα Γεωγραφίας Χαροκόπειο Πανεπ. Αθηνών, Ελ. Βενιζέλου 70, 17671, Αθήνα, Ελλάδα

^{*}Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 34400 Ψαχνά, Ελλάδα, http://www.uoa.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ορίζει ως «Φυσικές Λύσεις, προσανατολισμένες στις κοινωνικές προκλήσεις», τις λύσεις που εμπνέονται και υποστηρίζονται από τη φύση, οι οποίες είναι οικονομικά αποδοτικές, παρέχουν περιβαλλοντικά, κοινωνικά και οικονομικά οφέλη και επιπλέον βοηθούν στην οικοδόμηση ανθεκτικότητας. (EC, 2016). Η έννοια των Φυσικών Λύσεων ενσωματώθηκε στο ερευνητικό πρόγραμμα HORIZON 2020 (EC, 2015), όπως επίσης και στην φιλοσοφία του OPERANDUM, με στόχο την παροχή επιστημονικής γνώσης που θα ενδυναμώσει τη χρήση των Φυσικών Λύσεων, από το τοπικό έως μεγαλύτερης κλίμακας τοπίο, την προώθηση νέων ευκαιριών στην αγορά και την αναβάθμιση και αναπαραγωγή τους στην Ευρώπη και παγκοσμίως. Οι Φυσικές Λύσεις (NBS) είναι μια σύνθετη διαδικασία η οποία μιμείται τη φύση και απαιτεί μια σειρά από μεθόδους και εργαλεία ευθυγραμμισμένα με όλες τις διαδικασίες όπως τον από κοινού σχεδιασμό, την υλοποίηση, αξιολόγηση και την παρακολούθηση, τις πολιτικές και τη νομοθεσία.

Λέξεις κλειδιά: Φυσικές Λύσεις, Κλιματική Αλλαγή, Διακινδύνευση, Από κοινού σχεδιασμός

1. INTRODUCTION

Extreme hydro-meteorological events such as heavy rainfall, flooding, drought, storm surge, leaching of suspended solids and nutrients have high negative impacts on ecosystems and man-made infrastructures in Europe and worldwide. The frequency of these events is expected to increase in the future due to climate and land use changes, and to further increase the risk of negative impacts. The employment of Nature Based Solutions -NBS- can be used to mitigate the risk of these hydro-meteorological phenomena. The concept of NBS was introduced towards the end of the 2000s by the World Bank (MacKinnon et al., 2008) and International Union for Conservation of Nature (IUCN, 2009) to focus on the importance of biodiversity conservation for climate change mitigation and adaptation.

NBS is a complex process of nature that requires a range of methods and tools aligned with all possible procedures such as design, co-design, implementation, evaluation and monitoring, policies and regulations. Nowadays, an increasing number of NBS projects are being implemented across Europe (EU) and worldwide. The European Commission adopted the concept of NBS for its research programme HORIZON 2020 (EC, 2015) with a defined focus mainly on urban areas. The ambition of OPERANDUM EU (HORIZON 2020) is to provide science-based evidence for the usability of NBS focused on rural areas. Ranging from local to landscape scales, fostering the market opportunities, upscaling and replicating in Europe and other non-European territories, OPERANDUM EU –project fosters a set of co-designed, co-developed, co-deployed, tested and demonstrated innovative NBS for the mitigation of the impacts of extreme weather events. In this paper, the NBS concept will be presented as a holistic approach, which can be used as means to mitigate climate change induced risks and the demanding process needed for the co-design of set up of the potential NBS at the OAL Greece in Spercheios River, will be reported.

2. NBS CONCEPT AND PROCESS AS A MEANS TO MITIGATE AND ADAPT TO SEVERE HYDROMETEOROLOGICAL RISK

NBS has broad definition, constituents and scope, with a broad view on nature and an emphasis on participatory processes in creation and management (Pauleit et al., 2017). Cohen-Shacham et al. (2016) described NBS as an umbrella concept that covers a whole range of ecosystem-related approaches, all of which address societal challenges.

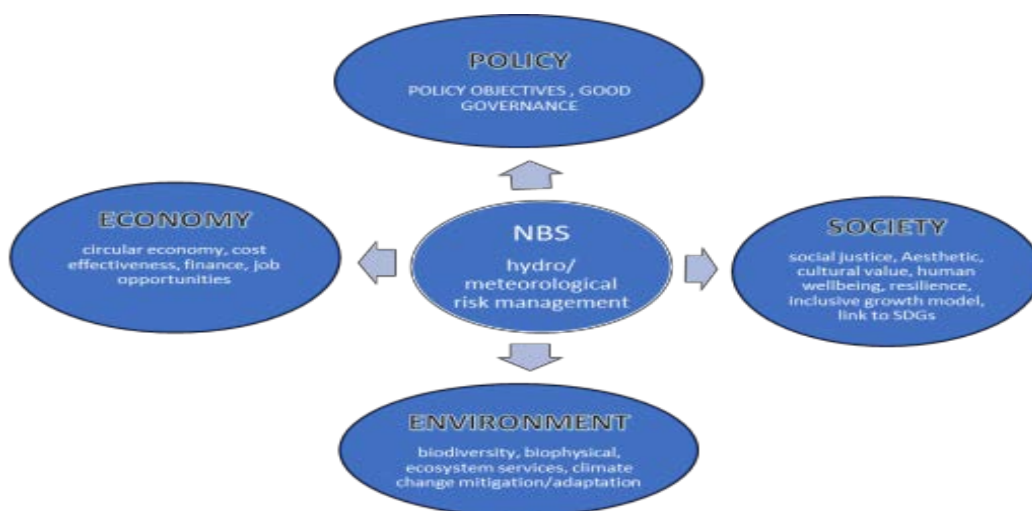


Fig. 1: Schematic overview of multi benefit impacts of NBS for hydro/meteorological risk management

A great range of definitions can be found in the literature. For example, IUCN defines nature-based solutions (NBS) as “actions to protect, sustainably manage and restore natural or modified ecosystems, which address societal challenges (e.g., climate change, food and water security or natural hazards) effectively and adaptively, while simultaneously providing human well-being and biodiversity benefits.” (Cohen-Shacham et al. 2016). The European Commission understands: “... nature-based solutions to societal challenges as solutions that are inspired and supported by nature, which are cost-effective, provide environmental, social and economic benefits and help build resilience. (European Commission, 2016, p. 1). This means that apart from the human (socio-economic) or technical system around the problem, the ecological one should also be considered. As the concept of NBS is defined in many ways, there is confusion, overlapping and partly complement among the definitions; although these relationships are seldom acknowledged explicitly (EC, 2015). However, the availability of many ways to frame and define the concept is not necessarily problematic, as long as each case is explicit in its rationale for particular interpretation of NBS (Nesshöver et al., 2017).

NBS is a complex process of nature that requires a range of methods and tools aligned with all possible procedures such as design, co-design, implementation, evaluation and monitoring, policies and regulations. Thus, in order to set up the implementation of NBS, the research teams have to follow a co-creation process, which combines generative or exploratory research with development design. Co-creation includes four phases:

Co-design: Co-creation starts with co-design, a process where the problem and the target area are identified as well as the stakeholders, their aspirations, shared values or common interests and aims regarding the project and the target area.

Co-development: In this phase, by using the variety of the expertise and knowledge of the group, potential solutions for the problem are jointly developed, with the help of some research if needed.

Co-deployment: In this phase, the solutions are implemented.

Monitoring: Monitoring is an essential part of the co-creation. It can focus on the outputs/outcomes of the processes (NBS) as well as the process itself. It shapes the way the process is structured and resourced, ensuring that it is reflective and adaptive as much as it is generative. Monitoring and associated assessment is also an important element for learning.

The Co-creation process helps the definition of the problem by considering different perspectives and knowledge. Experts from various sectors (diversity of knowledge) engage stakeholders (any person or group who influences or is influenced by the project) to work together(collaborate) throughout all the stages of the life cycle of the project, in a planned and conscious form.

3. SETTING UP NBS AT OPEN AIR LABORATORY: THE CASE STUDY OF OAL GREECE SPERCHIOS RIVER

3.1 The current hydro- meteorological and socio- economic status

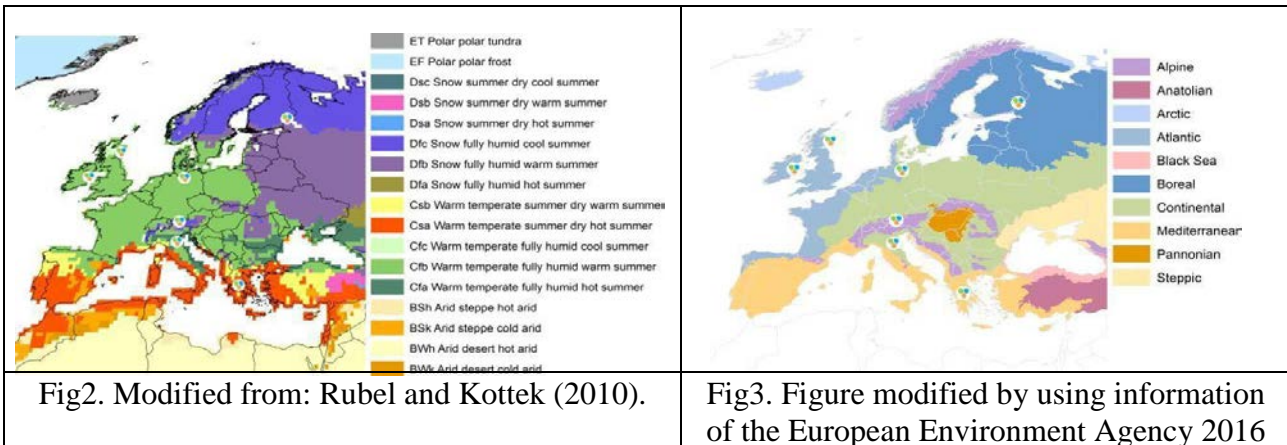
Spercheios River Basin which is located in the Region of East Central Greece, has a length of 82 kilometers, an average annual runoff of 0,703 km³ and is the main feeder of Maliakos Gulf (Skoulikidis, 2009). The steep slopes, which are present within approximately 2/3 of the total length of the river course, form a rather mountainous topography (streamy with crucial flooding peaks

and very intense sediment yield). Only in the downstream part of Sperchiois course, the topography gradually changes into a lowland relief, with an extent at the river mouth of 1830 km². In the last third of the route, Sperchiois changes in a lowland river and crosses low areas that are often flooded (Gounaris, 2012). Sperchiois has a mean annual water discharge of 62 m³/s, varying between 110 m³/s in January and 22 m³/s in August (Therianos, 1974). Furthermore, the total annual sediment load of the River Sperchiois has been estimated to be in excess of 1.5 x 10⁶ tonnes/year (Poulos et al., 1997). It is estimated that the total annual loss is 2,850,000 t/y, while the total annual quantity of sediment that arrives in Sperchiois delta is of 1,140,080 m³ (Gounaris, 2012).

The hydro-meteorological and socio-economic indicators below provide background and reference values for understanding the hazards related to extreme hydro- meteorological conditions at the OAL GR.

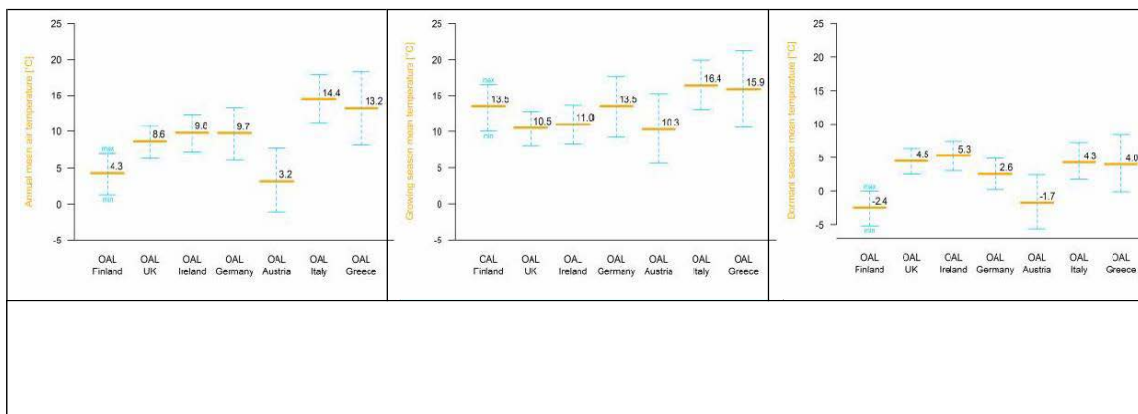
- **Location in climatic zones and biogeographical regions**

According to Köppen-Geiger climate classification for observed 1976-2000 period, the OAL-Greece (Csa) has warm temperate climate with dry hot summers. Similarly, the western tip of the OAL-Greece belongs to the Csb region. The location of the OAL Greece to the European biogeographical is in Mediterranean region



- **Current climate at OALs**

The climate of Maliakos Gulf and its surrounding area is a typical Mediterranean climate, with dry periods in summer and early autumn and precipitation mainly in winter and spring.



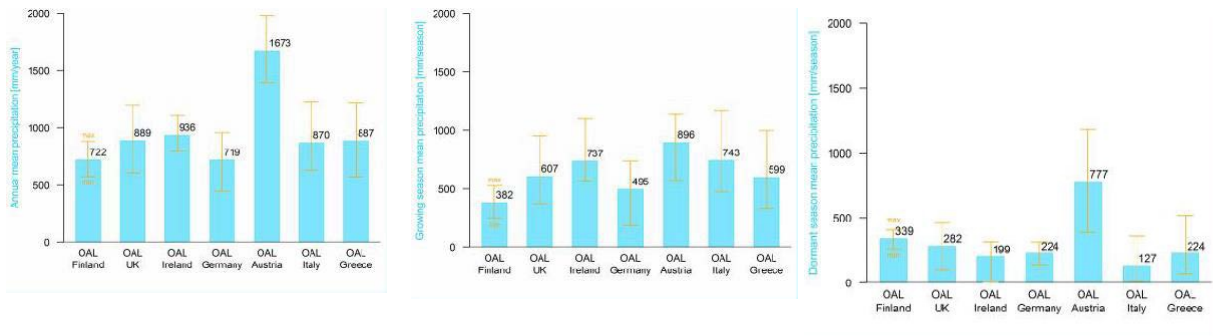


Fig. 5. Mean total annual, growing season and dormant season precipitation at the OALs. The bars indicate minimum and maximum total annual precipitation. (Deliverable D4.2, OPERANDUM 2019)

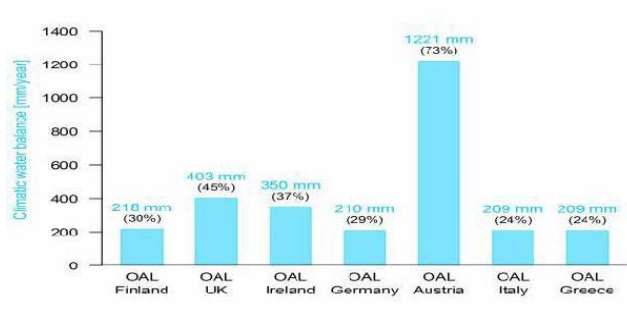
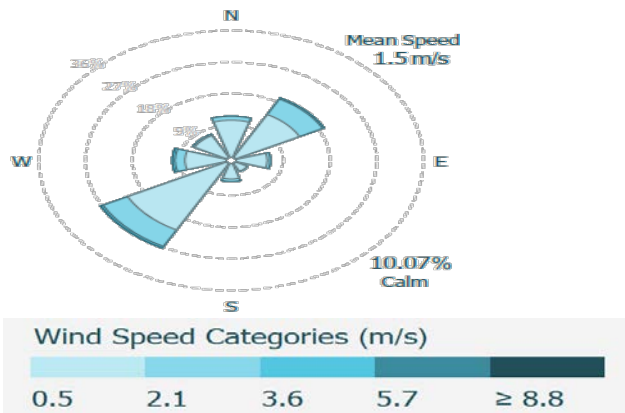


Fig. 6. The mean climatic water balance and the percentage of evapotranspiration out of precipitation at the OAL GR (Deliverable D4.2, OPERANDUM 2019)



The predominant wind components are mostly from the east and west, following the localized east-west trend of the Spercheios valley.

Average wind speeds are 1-2,5 m/s for the westerly winds and 2,5-4,5 m/s for those from the east (Poulos et al., 1997a).

Fig. 7. Mean wind speed, frequency of calm winds < 0.5 m/s, and frequency of different wind speeds by direction at the OAL GR (Deliverable D4.2, OPERANDUM 2019)

3.2 Socio-economic status including land use

Land cover and land use are essential for our human life and socio-economic welfare. Both are affected by current and future hydro-meteorological hazards. The current socio-economic structure of the OAL GR is characterized by the following indicator.

- **Area and land cover**

In the OAL-Greece forests and semi-natural areas are the main land cover type and their proportion is higher than the average European cover. at the OAL- Greece the state owns two thirds of the land.

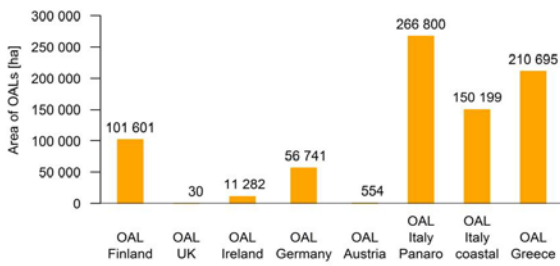


Fig. 9. The land area of the OALs.

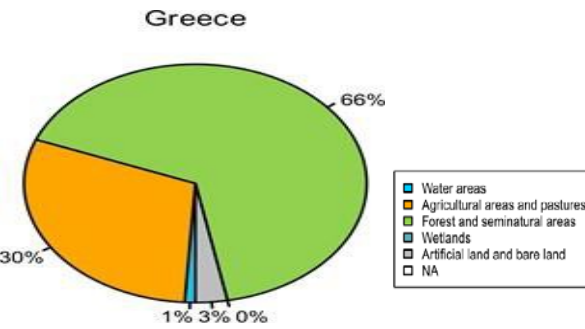


Fig.10. Proportions of different land cover types at the OAL GR according to CORINE.

- **Transportation channels**

In the OAL-Greece, roads exposed to hazards comprise <20% of all roads

- **Number of Inhabitants**

In the OAL-Greece less than 20% of the inhabitants are exposed to the hydro-meteorological hazards. It is important to mention that according to the information gathered from the OALs, hazards have an impact on the feelings of security and on the social relationships of the people living at the OALs

- **Life of people**

Agriculture is the most important means of livelihood in the OAL-Greece even though the forests and semi-natural areas cover larger land area than agricultural areas in those OALs. Services and administration are the second important means of livelihood in the area. Fishery is among the means of the livelihood in the OAL-Greece, although it is not highly important. Finally, recreation and tourism are important too. These activities are mostly related to activities taking place in nature. As a result, recreation and tourism may be affected by the hydro-meteorological hazards. There are different kinds of nature conservation areas and cultural heritage sites, probably used for recreation and tourism, which are exposed to hazards. In the OAL-Greece the proportion of nature conservation areas exposed to hazards is 23%.

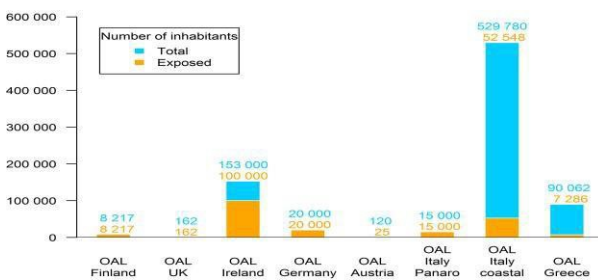


Fig. 11. Total number of inhabitants and the number of inhabitants exposed to hazards at the OALs. (Deliverable D4.2, OPERANDUM 2019)

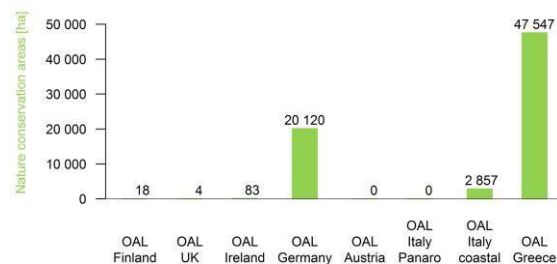


Fig. 12. The area of nature conservation areas exposed to hazards at the OALs. (Deliverable D4.2, OPERANDUM 2019)

3.3 The Current Hydro-Meteorological Hazards and primary risk assessment

The two main hydro-meteorological hazards that OAL Greece identified in the specific area are floods and droughts. In the context of OPERANDUM, the conceptual framework for vulnerability and risk assessment of Socio Economic System was preliminarily developed through review of existing vulnerability and risk assessment frameworks found in scientific literature. Then the framework was further enhanced incorporating stakeholders’ priority and needs in OALs which are obtained through Focus Group Discussion and questionnaire survey (Deliverable D6.2, OPERANDUM 2019).

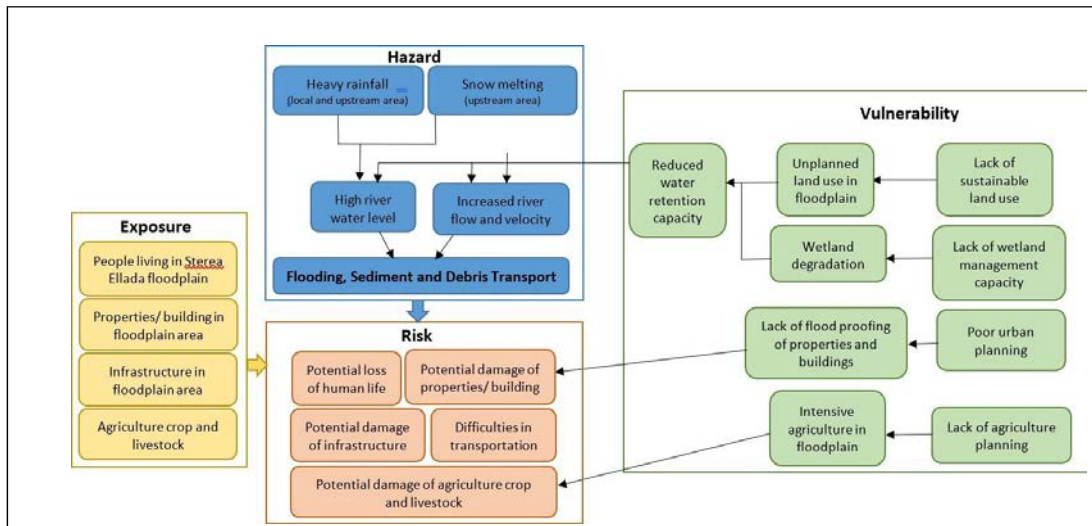


Fig. 13: The impact chain for Sterea Ellada region showing linkage between the hazard, exposure, vulnerability and risk

3.4 The identification of climatic and socio- economic drivers for future hazards

Comprehensive climate change projections will be modelled for OAL GR based on the selected IPCC scenarios

- **Climatic drivers at the OAL-Greece**

As it is mentioned above the OAL-Greece is located in the Mediterranean region, where the air temperatures are predicted to increase especially during summer and autumn seasons and cause hot extremes. Precipitation may decrease especially during summer.

- **Socio economic drivers at the OAL-Greece**

At the OAL-Greece agriculture is the main means of livelihood in the Spercheios River. Possible reduction of agricultural land may occur in the future due to the determination of the management measures of Directive 92/43 /EEC and by the protection of water systems zones, used for water supply. Some indirect pressures on land use are expected due to the restructuring of agricultural production or the imposition of stricter operating rules in production facilities. Regarding the transportation infrastructure, no major change is expected. The reduction of flood events will protect residential and agricultural properties and protect the access roads between the villages and the main city of the area (Lamia). The sense of safety will improve the relationships in the local society and will leverage trust between local community and the State, which owns 3/4 of the land in the OAL area. It will also preserve and enhance the recreational use of the area, including visits by tourists.

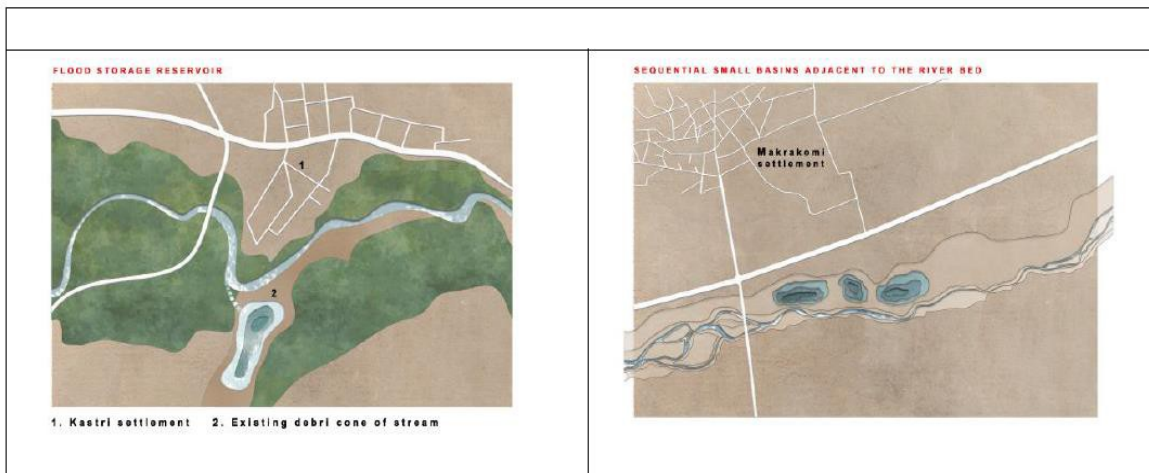
4. RESULTS: THE POTENTIAL NBS TO BE IMPLEMENTED THROUGH CO-DESIGN PROCESS

The appropriate NBS solutions to be implemented, have been proposed after following the process of the co-creation framework designed in the process of OPERANDUM. Through the co-design process the research team had explored several NBS options, such as retention ponds, sedimentation ponds, removal of longitudinal barriers, restoration and reconnection of seasonal stream, stream bed re-naturalization, natural bank stabilization and infiltration trenches to mitigate the impact of flooding and drought in Spercheios River. The above potential NBS solutions have been assessed as it is essential for the pilot project to demonstrate the effectiveness of NBS and the positive outcomes of any cost benefit analysis

applied to them. Finally, at this stage of the project, the following solutions are proposed:

A. Construction of Flood Storage Reservoirs (FSR) adjacent to the river

The intervention involves the construction of one or more Flood Storage Reservoirs (FSR), which will be filled with the river water by controlled overtopping along the river during flood events.



The location of the intervention should fulfil the following criteria: _

- Wide enough area in order to store a significant water volume.
- Area without vegetation or agricultural use.
- Proximity to the river to avoid connectivity works. Non-permeable ground, to avoid leakage of the stored water

The advantages of this solution are:

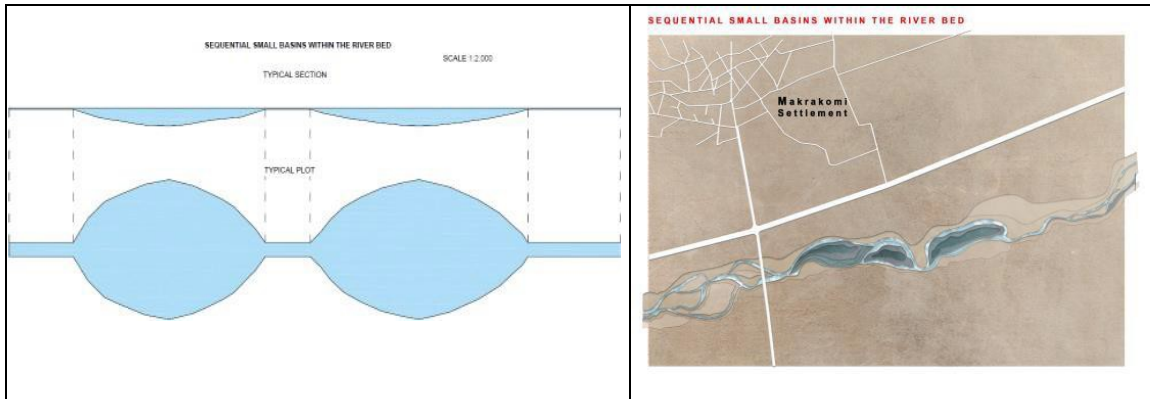
- ✓ Attenuation of the flooding water volume and gradual release downstream, resulting to reduction of velocities and smooth routing of the flood waves during severe events.
- ✓ Lower risk of erosion of the FSR.
- ✓ Longer life span of the intervention.
- ✓ Habitat creation in and around the FSR.
- ✓ Possibility of use for recreational and educational purposes.
- ✓ Easier installation of water level monitoring systems.
- ✓ Lower risk of debris deposition and consequently reduction of the storage capacity.

The hazards associated with this solution are:

- Deforestation and change of use of agricultural land.
- Reactions from the local inhabitants.
- Higher construction cost.

B. Construction of sequential small basins within the river bed

This intervention will be located within the main river, where sequential small basins will be created by widening and deepening the bed in several location. These basins will hold the water until they are full, when it will flow to the next pond.



The advantages of this solution are:

- ✓ No need for change of use for any of the adjacent land.
- ✓ No need for deforestation.
- ✓ Depending on the size of the intervention, significant amount of water can be stored, to be used for irrigation.
- ✓ Enrichment of the ground water aquifer.
- ✓ Reduction of high velocities during flood events.
- ✓ Lower initial financial cost compared to Solutions A and

C.

The hazards resulting from this solution are the following:

- As no hard structure will be constructed for this solution, the most upstream pond will be filled with sediment and debris, especially during winter and flood events.
- The basins' banks will not be protected with hard structures and therefore can be eroded during flood events or by local interventions.
- For the efficient operation of the solution, continuous monitoring and restoration will be needed.

C. Use of Spercheios' old river bed

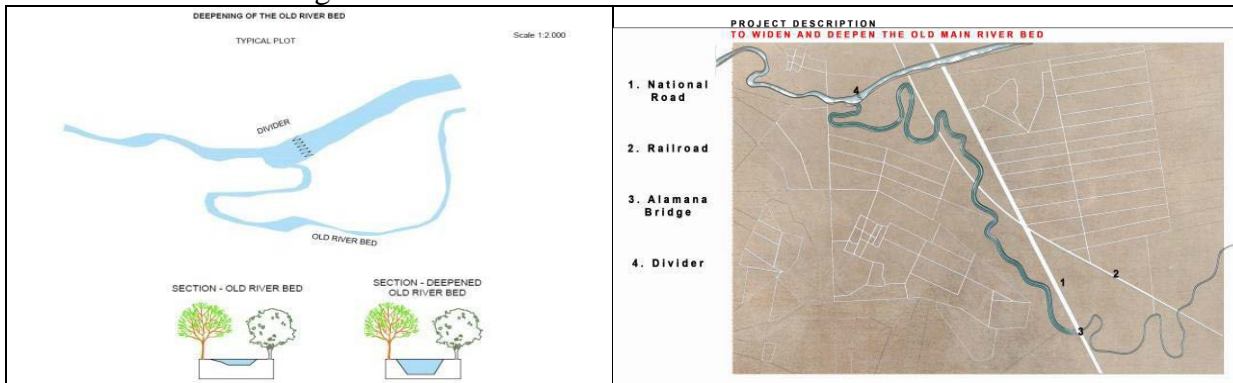
The deepening and widening of the old river bed can increase the stores water volume and provide water for irrigation throughout summer. Moreover, this solution will provide enrichments of the ground water levels.

The merits of this solution are:

- ✓ No need for change of use for any of the adjacent land.
- ✓ No need for deforestation.
- ✓ Depending on the size of the intervention, significant amount of water can be stored, to be used for irrigation. Enrichment of the ground water aquifer.

Lower initial financial cost compared to Solution A. The disadvantages are the following:

- Due to the water velocity reduction, there will be increased possibility of sediment and debris accumulation, especially during flood events. This can change significantly the spatial distribution of the river and the banks and reduce the intervention storage capacity.
- For the efficient operation of the solution, continuous monitoring and restoration will be needed. Due to the fixed location of the intervention, which is downstream of the location of solutions A and B, there is no protection of the upstream areas. If this solution is adopted, there should be extensive study of the hazards that can be caused to the upstream areas and especially of the possible water level increase due to blockage of the flow through the intervention.



5. CONCLUSIONS

A growing body of literature and experience supports NBS effectiveness for adaptation and mitigation of hydro-meteorological hazards. Climate change is expected to accentuate hydro-meteorological hazards such as extreme temperature, torrential rains, flooding, droughts, sea level rise and other hydro- meteorological extremes in term of frequency, intensity and magnitude (IPCC, 2018.) Conventional risk mitigation measures, based on engineering structures only, such as dykes, embankments, dams, levees, storm barriers, and sea-walls amongst others, have not provided adequate risk reduction solutions (Bubeck et al. 2015; Day et al. 2007; van Wesenbeeck et al. 2014), nor fit easily into long-term sustainability goals. At the same time, the implementation of purely green infrastructures at the small-scale level for hydro-meteorological risks management, though offering short and long-term benefits, might not be sufficient to meet the scale of predicted future hydro-meteorological hazards (Kabisch et al., 2016). As a best solution, Kabisch et al. (2016)

Nature-based solutions (NBS) have developed in recent years (Bowler et al. 2010; Kabisch et al. 2016; MacKinnon et al. 2008; Rizvi 2014), showing promising results in terms of risk reduction especially in urban areas. The OPERANDUM project aims to reduce hydro-meteorological risks in rural areas through co-designed, co-developed, deployed, tested and demonstrated innovative green and blue/grey/hybrid NBS, and push business exploitation. However, the process is still at early stages. Research will be continued in order to systematically analyse their (long-term) effects, effectiveness for natural hazards (hydro-meteorological risks) reduction and supplying of co-benefits. Moreover, research will be conducted to foster the wider uptake of NBS, measuring the effectiveness and how the existing evidence can be translated into management strategies and when policy instruments are needed.

Acknowledgements

This work was supported by the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme. It was funded by and carried out within the framework of OPERANDUM (OPEn-air laboRAatories for Nature based solUtions to Manage hydro-meteo risks) project (Grant no. 776848).

6. REFERENCES

- Abrams, M.D., Ruffner, M.C. and Morgan, T.A. (1998). Tree-ring responses to drought across species and contrasting sites in the ridge and valley of central Pennsylvania. *Forest Science*, v44, p550-558.
- Austin, R.B., Cantero-Martínez, C., Arrúe, J.L., Playán, E. and Cano-Marcellán, P. (1998). 'Yield- rainfall relationships in cereal cropping systems in the Ebro river valley of Spain', *European Journal of Agronomy*. v8, p239-248.
- Bowler, D. E., Buyung-Ali, L., Knight, T. M., & Pullin, A. S. (2010). Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and urban planning*, 97, 147-155.
- Bruins H. J. and Berliner P. R. (1998). Bioclimatic aridity, climatic variability, drought and desertification: definitions and management options. In: H. J. Bruins & H. Lithwick (eds), *The Arid Frontier -Interactive Management of Environment and Development*, Dordrecht, The Netherlands: *Kluwer Academic Publishers*.
- Bubeck P, Kreibich H, Penning-Rowsell EC et al (2015) Explaining differences in flood management approaches in Europe and in the USA – a comparative analysis. *J Flood Risk Manag*. doi:10.1111/jfr3.12151
- Castleton, H. F., Stovin, V., Beck, S. B., & Davison, J. B. (2010). Green roofs; building energy savings and the potential for retrofit. *Energy and buildings*, 42, 1582-1591.
- Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C., & Maginnis, S. (2016). Nature-based solutions to address global societal challenges. IUCN, Gland, Switzerland, 97.
- Christopoulou, A. and Dimitriou, E. (2017). Impacts of climate change scenarios on Spercheios River hydrology, *11th International Hydrogeological Congress of Greece/ Athens*.
- Day JW, Boesch DF, Clairain EJ et al (2007) Restoration of the Mississippi Delta: lessons from Hurricanes Katrina and Rita. *Science* 315:1679–1684
- Deliverable D4.2, OPEn -air laboRAatories for Nature based solUtions to Manage environmental risks- OPERANDUM, 2019
- Deliverable D4.2, OPEn-air laboRAatories for Nature based solUtions to Manage environmental risks- OPERANDUM, 2019
- EC (European Commission) (2015). Nature-based solutions & re-naturing cities. Final report of the horizon 2020 expert group on 'Nature-based solutions and re-naturing cities' (full version). European Commission. Publications Office of the European Union, Luxembourg. ISBN 978-92-79-46051-7, doi: 10.2777/765301.
- EC (European Commission) (2016). Policy topics: Nature- based Solutions. <http://ec.europa.eu/research/environment/index.cfm?pg=nbs>
- Fenton, N. E. and Neil, M. (2012). Risk assessment and decision analysis with Bayesian networks, *Taylor & Francis*, Boca Raton, FL.

- Garcia R. V. (1984). *Nature Pleads not Guilty*. Pergamon Press, 300 pp.
- Gill, S. E., Handley, J. F., Ennos, A. R., & Pauleit, S. (2007). Adapting cities for climate change: the role of the green infrastructure. *Built environment*, 33, 115-133.
- Glantz M. H. (1994). Drought, desertification and food production. In: H. H. Glantz (ed.), *Drought Follows the Plow*, Cambridge University Press, pp.6-22.
- Hartig, T., Mitchell, R., De Vries, S., & Frumkin, H. (2014). Nature and health. *Annual review of public health*, 35, 207-228.
- Hoegh-Guldberg, O., Jacob, D., Taylor, M. et al. 2018. Impacts of 1.5°C Global Warming on Natural and Human Systems. In: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of of 1.5°C global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening of the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pörtner, H-O. et al (eds). In Press.
- IPCC (2018). Annex I: Glossary [Matthews, J.B.R. (ed.)]. In: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press Oxford University Press, 2019.
- IPCC (2018). *Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth*.
- IUCN (2009). *The IUCN Programme 2009–2016*. IUCN, Gland, 30.
- IUCN (2018). *Nature-based solutions* (<https://www.iucn.org/>), accessed 09/12/2018.
- Kabisch, N., Frantzeskaki, N., Pauleit, S., Naumann, S., Davis, M., Artmann, M., & Zaunberger, K. (2016). Nature-based solutions to climate change mitigation and adaptation in urban areas: perspectives on indicators, knowledge gaps, barriers, and opportunities for action. *Ecology and Society*, 21.
- Kanti, B. (1998). Coping mechanisms practised by drought victims (1994/1995) in north Bengal, Bangladesh, *Applied Geography*, v18, p355-373.
- Karl, T.R. and A.J. Koscielny (1982). Drought in the United States: 1895–1981, *International Journal of Climatology*, v2, p313-329.
<https://doi.org/10.1002/joc.3370020402>
- Keniger, L., Gaston, K., Irvine, K., & Fuller, R. (2013). What are the benefits of interacting with nature? *International journal of environmental research and public health*, 10, 913-935.
- Kogan, F.N. (1995). Drought of the late 1980s in the United States as derived from NOAA polar-orbiting satellite data. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v76, p655-668.
- Kogan, F.N. (1997). Global drought watch from space. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v78, p621-636.

- MacKinnon, K., Sobrevila, C., & Hickey, V. (2008). Biodiversity, Climate Change and Adaptation; Nature-Based Solutions from the World Bank Portfolio. Washington: The International Bank for Reconstruction and Development/THE WORLD BANK.
- Milly, P. C., Betancourt, J., Falkenmark, M., Hirsch, R. M., Kundzewicz, Z. W., Lettenmaier, D. P., & Stouffer, R. J. (2008). Stationarity is dead: Whither water management? *Science*, 319, 573-574.
- Morales, A., Olcina, J., and Rico, A. M., (2000). Diferentes persepciones de la sequia en Espana: adaptacion, catastrofismo e intentos de correction. *Investigaciones Geograficas*, v23, p5-46.
- International Bank for Reconstruction and Development/THE WORLD BANK.
- Nesshöver, C., Assmuth, T., Irvine, K. N., Rusch, G. M., Waylen, K. A., Delbaere, B., & Krauze, K. (2017). The science, policy and practice of nature-based solutions: An interdisciplinary perspective. *Science of the Total Environment*, 579, 1215-1227.
- Nicholson S. E., Tucker C. J. and Ba M. B. (1998). Desertification, drought and surface vegetation: An example from the west African Sahel. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v79, p815-829.
- Orwing D.A. and M.D. Abrams (1997). Variation in radial growth responses to drought among species, site and canopy strata. *Trees*, v11, p474-484.
- Pauleit, S., Hansen, R., Rall, E., Zölch, T., Andersson, E., Luz, A., Szaraz, L., Tosics, I., & Vierikko, K. (2017). Urban Landscapes and Green Infrastructure. *Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science*. Ed. Retrieved 3/5/2019, <https://oxfordre.com/environmentalscience>.
- Pickup G. (1998). Desertification and climate change –the Australian perspective. *Climate Research*, v11, p51-63.
- Poulos, S., S. Leontaris, and M.B. Collins, (1997). Sedimentological and clay mineralogical investigations in Maliakos Gulf, eastern Greece. *Boll. Geof. Teor.AppI*, v38, p267-27
- Psomiadis P. E., (2010). Research of Geomorphological and Environmental Changes in the Sperchios' River Basin Utilizing New Technologies. Thesis, agricultural university of Athens
- Quiring, S.M. and Papakryiakou, T.N. (2003). 'An evaluation of agricultural drought indices for the Canadian praires'. *Agricultural and Forest Meteorology*, v118, p49-62.
- Rizvi, A. R. (2014). Nature based solutions for human resilience: a mapping analysis of IUCN's ecosystem based adaptation projects. IUCN, Geneva. <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/Rep-2014-008.pdf>
- Rosenzweig, C., Solecki, W. D., Hammer, S. A., & Mehrotra, S. (Eds.). (2011). *Climate change and cities: First assessment report of the urban climate change research network*. Cambridge University Press.
- Therianos, A.D. (1974). The geographical distribution of river water supply in Greece. *Bull. Geol. Soc. Greece*, v11, p28-58
- Zamani, A., Maroukian, H. (1979). A morphological study of an old delta of the Sperchios River, *Proceedings of VI Colloquium on the Geology of the Aegean Region*, Athens, v1, p417-423.

ΕΡΕΥΝΑ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΗΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΦΥΤΟΦΑΡΜΑΚΩΝ

Δ.Β. Αναγνωστόπουλος¹, Γ. Βλόντζος¹, Μ-Ν. Ντυκέν²

¹Παν. Θεσσαλίας, Τμήμα Φυτ. Παραγωγής και Αγρ. Περιβάλλοντος, Φυτόκου, 38446, Ν. Ιωνία

²Παν/μιο Θεσσαλίας, Τμήμα ΜΧΠΠΑ, Πολυτεχνική Σχολή, Πεδίο Αρεως, 38446, Βόλος-e-mail: dvanagnosto@yahoo.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία έγινε προσπάθεια εκτίμησης της συμπεριφοράς των γεωργών στην διαχείριση φυτοφαρμάκων στην ευρύτερη περιοχή των Δήμων Σοφάδων και Παλαμά. Ο μέσος παραγωγός παρουσίασε θετική στάση σε διαδικασίες που έχει άμεσο όφελος ενώ σε άλλες που καλείται να λάβει μέτρα προστασίας για το περιβάλλον έδειξε αρκετή αδιαφορία. Χαρακτηριστικά πάνω από το 80% εκτελούσε με συνέπεια την βαθμονόμηση του ψεκαστικού και διέθετε ασφαλή αποθήκη. Αντίθετα το 50% δηλώνει ότι δεν εκτελεί την πλήρωση της δεξαμενής σε ασφαλή μέρος ενώ το 37% κατά την εφαρμογή ψεκάζει μέχρι την άκρη του αγρού ανεξάρτητα της γειτνίασης με ύδατα. Επίσης, προβληματική εικόνα παρουσιάστηκε και στην διαχείριση των υπολειμμάτων καθώς τουλάχιστον ένας στους τρεις δεν εκτελεί ορθή και ασφαλή διαχείριση. Τέλος η ηλικία και η εκπαίδευση φάνηκε ότι μπορούν να παίζουν ρόλο στην βελτίωση της κατάστασης αν συνδυαστούν με σωστές υποδομές και οργανωμένο σύστημα ελέγχου.

Λέξεις κλειδιά: συμπεριφορά, ψεκαστικά, διαχείριση, φυτοφάρμακα

FIELD RESEARCH IN MANAGEMENT OF PESTICIDES

D.V. Anagnostopoulos¹, G.Vlontzos¹, M-N. Duquenee²

¹University of Thessaly, Department of Crop Production and Rural Environment, Fytoko street, 38446, N. Ionia

²University of Thessaly, Department PRD, School of Engineering, Pedion Areos, 38446, Volos, e-mail: dvanagnosto@yahoo.gr

ABSTRACT

In this paper an attempt was made to assess the behavior of farmers regarding the management of pesticides in the wider area of the municipalities of Sofades and Palamas (Greece). The average farmer held a positive stance to procedures that had a direct benefit, whereas seemed indifferent towards others that included measures of environmental protection. Specifically, over 80% of the farmers conducted consistently the sprayer calibration and stored safely the packages. On the contrary, almost 50% admitted not filling the tank in a safe place, while 37% sprays during the application over the whole field area, disregarding the possible proximity to an aquifer. Moreover, problematic was also the management of residuals, since one out of three farmers does not work on a safe and correct management. Both age and level of education seem to play a role in improving the situation if combined with proper infrastructure and organized control system.

Keywords: farmer behavior, sprayer, management, pesticides

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι κυριότεροι λόγοι αύξησης της αποδοτικότητας των αγροτικών εκμεταλλεύσεων είναι η διαδικασία εκμηχάνισης της γεωργίας και η εισαγωγή φυτοπροστατευτικών σκευασμάτων. Όσον αφορά τα φυτοφάρμακα τα οφέλη που προκύπτουν από αυτά είναι πολλαπλά όπως: α) η αύξηση της παραγωγικότητας β) η παραγωγή ασφαλών, ποιοτικών και πιο ανταγωνιστικών προϊόντων στην αγορά γ) η προστασία του ανθρώπου από δυσμενείς οργανισμούς όχι μόνο μέσα από τα αγροτικά προϊόντα αλλά και μέσα από εξόντωση ορισμένων παρασίτων επιβλαβών για την δημόσια υγεία (κουνούπια, κατσαρίδες) ή ακόμα και τον έλεγχο αλλεργιών (χρήση ζιζανιοκτόνων). Ωστόσο επειδή ένα νόμισμα έχει πάντα δύο όψεις η εφαρμογή φυτοφαρμάκων έφερε αντίστοιχα δυσάρεστες επιπτώσεις στον άνθρωπο αλλά και στο ευρύτερο περιβάλλον με κάποιες από αυτές να είναι μη αντιστρεπτές. Κύριοι λόγοι είναι η υπερβολική χρήση φυτοφαρμάκων, η απερισκεψία και η μη ορθή διαχείριση από τη πλευρά των παραγωγών, η κυκλοφορία ιδιαίτερα επιβλαβών ουσιών και η έλλειψη μετάδοσης γνώσης προς τον παραγωγό. Επομένως σκοπός της παρούσας εργασίας μέσα από μια έρευνα πεδίου είναι να εκτιμηθεί και να αξιολογηθεί η συμπεριφορά και η γνώση του παραγωγού κατά την διαδικασία εφαρμογής των φυτοφαρμάκων και να προταθούν μέτρα που θα συμβάλουν στην ορθή διαχείριση αυτών.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η έρευνα πεδίου διεξήχθη από τον Απρίλιο ως το Ιούλιο του 2017 με χρήση ερωτηματολογίου μέσω προσωπικής συνέντευξης σε 150 παραγωγούς με ερωτήσεις τόσο ανοιχτού όσο και κλειστού τύπου. Μέσα από τις ερωτήσεις λαμβάνονται δημογραφικές πληροφορίες, πληροφορίες που αφορούν την δομή των εκμεταλλεύσεων, πληροφορίες που αφορούν την στάση των παραγωγών απέναντι στο περιβάλλον μέσα από τους ψεκασμούς και πληροφορίες που έχουν να κάνουν με την γνώση και στην στάση των γεωργών γύρω από την διαχείριση της πλήρους διαδικασίας εφαρμογής των φυτοφαρμάκων. Όσον αφορά το δείγμα ήταν τυχαίοποιημένο και αποτελούνταν από αγρότες της ευρύτερης περιοχής του δήμου Σοφάδων και δήμου Παλαμά. Η επιλογή των εν λόγω περιοχών έγινε καθώς συνορεύουν με υδάτινους αποδέκτες και έχει ενδιαφέρον η περιβαλλοντική στάση του συνόλου. Επίσης οι περισσότεροι ήταν βαμβακοκαλλιεργητές, καθώς στις συγκεκριμένες περιοχές είναι ιδιαίτερα εκτεταμένη η καλλιέργεια ενώ επίσης δέχεται αρκετές χημικές επεμβάσεις. Τέλος χρήσιμα συστήματα για την διεξαγωγή, την ανάλυση και την παρουσίαση της έρευνας ήταν το Googleform, το Microsoft Excel καθώς και το IBM SPSS Statistic 23.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1 Δημογραφικά αποτελέσματα και δομή εκμεταλλεύσεων

Το προφίλ των παραγωγών που συμμετείχαν παρουσίασαν μέση ηλικία 42 ετών αριθμός που να μην διαφέρει από στοιχεία της Eurostat (2012) αλλά προσεγγίζει αντίστοιχες έρευνες πεδίου (Damalasetal. 2006). Σχετικά με το μορφωτικό επίπεδο των ερωτηθέντων το 59% των αγροτών είναι απόφοιτοι Λυκείου ενώ υπάρχει και ένα ικανοποιητικό ποσοστό κοντά στο 25% που είναι και απόφοιτοι τριτοβάθμιας εκπαίδευσης και μόλις 16% απόφοιτοι δημοτικού. Αν κρίνουμε από το χαμηλό μέσο όρο ηλικίας της έρευνας είναι λογικό και το υψηλότερο επίπεδο εκπαίδευσης σε σχέση με άλλες έρευνες πεδίου (PyrovetsiandDaoutopoulos, 1999; Angelopoulosetal., 2016). Σε κάθε περίπτωση όπως το προφίλ της παρούσας έρευνας δεν αντικατοπτρίζει πλήρως το προφίλ του μέσου Έλληνα παραγωγού αλλά το νεαρό κομμάτι του συνόλου. Επίσης μέσα από την παρούσα ενότητα εκτιμήθηκε και το ύψος των επιδοτήσεων καθώς φαίνεται ότι το 62% των ερωτηθέντων παρουσιάζουν επιδοτήσεις άνω των 5000 ευρώ και μόλις το 11% κάτω από 1000. Σχετικά με την δομή των εκμεταλλεύσεων προέκυψε μέση καλλιέργεια 211 στρ, αριθμός που διαφέρει σημαντικά από τα 48 στρ. της ΕΛΣΤΑΤ (2015). Κάτι τέτοιο εν μέρει δικαιολογείται λόγω της υψηλής

παρουσίας φυτών μεγάλης καλλιέργειας στο 98% την ώρα που στην χώρα το ποσοστό αροτριάων καλλιιεργειών φτάνει το 52%. Ανάμεσα στις καλλιέργειας της παρούσας μελέτης αυτή που κυριαρχεί είναι το βαμβάκι (μ.ο. 129 στρ) ακολουθεί η μηδική (103 στρ), τα χειμερινά σιτηρά (83 στρ), τα εαρινά σιτηρά (28 στρ) και τα λοιπά ψυχανθή (29 στρ). Συγκρίνοντας με στοιχεία ποσόστωσης καλλιιεργειών της ΕΛΣΤΑΤ (2015) για τον νομό Καρδίτσας τα στοιχεία ποσόστωσης κρίνονται αντιπροσωπευτικά όσο αφορά το βαμβάκι και τα σιτηρά. Μεγάλη απόκλιση συναντάμε κυρίως στην καλλιέργεια της μηδικής καθώς ενώ πανελλαδικά η κάλυψη της καλλιέργειας είναι στο 4,5 % και στον νομό Καρδίτσας στο 7% στην παρούσα εργασία υπάρχει ένα ποσοστό της τάξεως του 21%. Τα στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ ωστόσο είναι συγκεντρωτικά ως το 2013 ενώ στην συνέχεια λόγω αναθεώρησης της ΚΑΠ έγινε προώθηση των ψυχανθών που συνεχώς αυξάνονται χρόνο με τον χρόνο και ιδιαίτερα στις περιοχές μελέτης επειδή συνορεύουν με υδάτινους αποδέκτες (έχουν επάρκεια νερού, απαραίτητο για την μηδική).

3.2. Αποτελέσματα αποθήκευσης φυτοφαρμάκων

Γενικότερα οι αγρότες δηλώσαν ότι διαθέτουν ασφαλές μέρος αποθήκευσης φυτοφαρμάκων σε ποσοστό 86%, αποτέλεσμα ιδιαίτερα ενθαρρυντικό σε σχέση με την διεθνή βιβλιογραφία (Lekeietal., 2014). Ωστόσο κάνοντας εμβάθυνση στο ερώτημα αποδείχτηκε ότι μόλις το 20% των γεωργών διαθέτουν απόλυτα ασφαλείς αποθήκες που βρίσκονται όχι μόνο μακριά από ζωικούς οργανισμούς και τρόφιμα αλλά είναι και εξοπλισμένες με συστήματα ασφαλείας όπως τηλεφωνο έκτακτης ανάγκης, συστήματα πυρασφάλειας, κουτί πρώτων βοηθειών, σκούπες, κάδους και πλαστικές σακούλες. Σύμφωνα με τα παραπάνω παρατηρείται αντίφαση της θεωρίας με την πράξη διότι εν μέρει το 80% των παραγωγών θεωρεί ότι διαθέτει ασφαλή χώρο αποθήκευσης ενώ από την άλλη μόλις το 20% διαθέτει στην πράξη απόλυτα ασφαλή χώρο με απαραίτητα συστήματα.

Πίνακας 1: Αποτελέσματα συνθηκών αποθήκευσης φυτοφαρμάκων ανάλογα το φύλο, το επίπεδο εκπαίδευσης και τις επιδοτήσεις.

Παράγοντες επίδρασης		Διαθέτω ασφαλή χώρο αποθήκευσης των αγροχημικών που χρησιμοποιώ, μακριά από το σπίτι μου, ζώα και τρόφιμα	Ο χώρος αποθήκευσης έχει σημάσεις, όπως τηλεφωνο έκτακτης ανάγκης, καθώς και μέσα έκτακτης ανάγκης, όπως πυροσβεστήρα, κουτί πρώτων βοηθειών, σκούπες, πλαστικές σακούλες, κάδο απορριμμάτων κ.α.
Επίπεδο Εκπαίδευσης	Απόφοιτος δημοτικού	81%	8%*
	Απόφοιτος δευτερ. εκπαίδευσης	87%	18%*
	Πτυχιούχος	85%	33%*
Φύλο	Αντρας	85%	20%
	Γυναίκα	100%	18%
Επιδοτήσεις	<1000	82%	35%
	1000-5000	86%	16%
	>5000	86%	19%
ΣΥΝΟΛΟ		86%	20%

* Chisquare 6,976 (df=2), p-value= 0,031<0,05

Εν συνεχεία εκτελώντας στατιστικές αναλύσεις φανερώθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση της ηλικίας και του επιπέδου εκπαίδευσης στο παράγοντα της ασφαλούς αποθήκευσης. Συγκεκριμένα όσο νεότεροι και όσο υψηλότερου μορφωτικού επιπέδου είναι οι γεωργοί τόσο πιο πιθανό είναι και να κατέχουν πλήρως εξοπλισμένη αποθήκη. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται και από την βιβλιογραφία (GaberandLatif, 2012; Mohantyetal., 2013).

3.3 Συμπεριφορά γεωργών στη ρύθμιση ψεκαστικού

Σχετικά με τα αποτελέσματα ρύθμισης του ψεκαστικού το 86% δήλωσε ότι γνωρίζει πώς να βαθμονομεί το ψεκαστικό καθώς και την σημασία της διαδικασίας. Ωστόσο η απόδοση αυτών των αποτελεσμάτων είναι θεωρητική και θα ήταν ενδιαφέρον να αποτυπωθεί η κατάσταση στην πραγματικότητα με πιο πρακτικές ερωτήσεις. Επομένως μέσα από πιο πρακτικές ερωτήσεις επιβεβαιώνεται και στην πράξη η σημασία που δίνουν οι γεωργοί στην βαθμονόμηση του μηχανήματος. Συγκεκριμένα σχεδόν το 89% των αγροτών ελέγχει το ψεκαστικό μηχανήμα πριν την εφαρμογή για πιθανές διαρροές και για την σωστή λειτουργία του μανομέτρου και των ακροφυσίων. Στο ίδιο μήκος κύματος το 91% δηλώνει ότι πριν την εφαρμογή ελέγχει την ταχύτητα και την ροή του ψεκαστικού διαλύματος για ομοιόμορφη και ακριβή εφαρμογή στον αγρό. Όσον αφορά την δόση εφαρμογής παρόμοια το 90% των γεωργών ακολουθεί την ετικέτα του σκευάσματος για την παρασκευή της δόσης εφαρμογής. Παρόλο ωστόσο την τυπική παρακολούθηση και ρύθμιση του μηχανήματος μόλις το 70% δηλώνει ότι βαθμονομεί το ψεκαστικό τουλάχιστον μια φορά την καλλιεργητική περίοδο. Σε αυτή την περίπτωση δεν παρατηρηθήκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ επιπέδου εκπαίδευσης, φύλου και ύψους επιδοτήσεων. Αντίθετα βρέθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση της ηλικίας στην βαθμονόμηση του ψεκαστικού καθώς οι νεότεροι αγρότες παρουσιάζουν πιο υπεύθυνη στάση.

Πίνακας 2: Αποτελέσματα ρύθμισης ψεκαστικού ανάλογα το φύλο, το επίπεδο εκπαίδευσης και τις επιδοτήσεις.

Παράγοντες επίδρασης		Ξέρω πώς να ρυθμίζω το ψεκαστικό μου μηχανήμα και γνωρίζω τη σημασία που έχει η σωστή ρύθμιση του ψεκαστικού	Πριν ψεκάσω ελέγγω τα μέρη του ψεκαστικού (Μανόμετρο, μπεκάκια) για να διαπιστώσω αν δουλεύουν σωστά και δεν υπάρχουν διαρροές	Πριν ψεκάσω υπολογίζω την ταχύτητα του ελκυστήρα και τον όγκο του υγρού που ψεκάω ανά λεπτό, για να υπολογίσω με ακρίβεια τον όγκο του ψεκαστικού υγρού που θα πρέπει να παρασκευάσω	Ρυθμίζω το ψεκαστικό μου κατά τακτά χρονικά διαστήματα	Διαβάζω και ακολουθώ πάντα τις οδηγίες που αναγράφονται στις συσκευασίες των αγροχημικών πριν ψεκάσω
Επίπεδο Εκπαίδευσης	Απόφοιτος δημοτικού	96%	100%	100%	77%	100%
	Απόφοιτος δευτερ. εκπαίδευσης	85%	87%	89%	70%	87%
	Πτυχιούχος	82%	87%	87%	67%	87%
Φύλο	Αντρας	86%	89%	90%	69%	89%
	Γυναίκα	91%	100%	100%	91%	100%
Επιδοτήσεις	<1000	80%	77%	88%	76%	94%
	1000-5000	82%	91%	86%	68%	84%
	>5000	90%	91%	93%	70%	91%
ΣΥΝΟΛΟ		86%	89%	91%	70%	90%

Συνοψίζοντας, τα αποτελέσματα ρύθμισης του ψεκαστικού είναι ενθαρρυντικά σε σχέση με την βιβλιογραφία (Ozkan, 1991; HofmanandSolseng, 2004). Επίσης θετικό είναι και η συχνότητα βαθμονόμησης που προέκυψε από την παρούσα μελέτη σε σχέση με την βιβλιογραφία αλλά σε κάθε περίπτωση για καλύτερα αποτελέσματα η βαθμονόμηση πρέπει να γίνεται παραπάνω από μια φορά ανά καλλιεργητική περίοδο (Grissoetal., 1988). Τέλος θετικά είναι τα αποτελέσματα τήρησης των οδηγιών της ετικέτας του σκευάσματος καθώς σε παρόμοιες μελέτες στο παρελθόν το ποσοστό τήρησης μπορεί να φτάνει 30 με 50% (Jallowetal., 2017).

3.4. Συμπεριφορά γεωργών στην πλήρωση του ψεκαστικού μηχανήματος

Το 69% των παραγωγών αναφέρει ότι προετοιμάζουν το ψεκαστικό διάλυμα μακριά από πηγές νερού και σε ασφαλή μέρη. Το ποσοστό σε σχέση με την βιβλιογραφία εκ πρώτης άποψης φαίνεται ενθαρρυντικό αλλά δεν φανερώνει την απόλυτη πραγματικότητα. Σε επόμενη ερώτηση

φανερώθηκε πιο ρεαλιστικό ποσοστό καθώς μόλις το 47% δηλώνει ότι δεν γεμίζει το ψεκαστικό μηχάνημα απευθείας από πηγές νερού. Επίσης, μόλις 58% συμπληρώνει ότι γεμίζει το ψεκαστικό σε γυμνό χώμα. Μέσα από τις αντιφάσεις και τον συνδυασμό των αποτελεσμάτων στην έρευνα πεδίου προέκυψε ουσιαστικά ένα ποσοστό κοντά στο 42-50% που όχι μόνο δεν λαμβάνει υπόψη την γειτνίαση με υδάτινους αποδέκτες και φυτικούς οργανισμούς αλλά εκτελεί κιάλας την πλήρωση απευθείας από τους υδάτινους αποδέκτες. Τα αποτελέσματα αυτά δεν είναι ενθαρρυντικά αλλά είναι πιο θετικά από αντίστοιχα της βιβλιογραφίας και φανερώνουν ελαφρώς μεγαλύτερη ευαισθητοποίηση απέναντι στο περιβάλλον (Mohantyetal., 2013). Επίσης ούτε το επίπεδο εκπαίδευσης αλλά ούτε το φύλο φαίνεται να επιδρούν στατιστικά σημαντικά στην απάντηση. Ωστόσο προβληματισμό προκαλεί το γεγονός ότι η γενικότερη εκπαίδευση δεν παίζει ρόλο στην ορθολογική λήψη αποφάσεων για την προστασία των υδάτινων αποδεκτών όπως αντίθετα συμβαίνει σε παρόμοιες μελέτες (Janhonet al., 2005; GaberandLatif, 2012). Αντίθετα παρουσιάστηκε στατιστικά σημαντική επίδραση της ηλικίας στην απόφαση πλήρωσης σε γυμνό χώμα. Συγκεκριμένα οι παραγωγοί οι οποίοι γέμιζαν την δεξαμενή σε γυμνό χώμα ήταν νεότεροι γεγονός που συμβαδίζει και με μέρος της βιβλιογραφίας (PyrovestiandDaoutoroulos, 1999; Schenkeretal., 2002).

Πίνακας 3: Αποτελέσματα πλήρωσης ψεκαστικού ανάλογα το φύλο και το επίπεδο εκπαίδευσης.

Παράγοντες επίδρασης		Γεμίζω το ψεκαστικό μου απευθείας από επιφανειακές πηγές νερού (λίμνες, ποτάμια, αυλάκια)	Το σημείο όπου γεμίζω το ψεκαστικό μου είναι γυμνό χώμα
Επίπεδο Εκπαίδευσης	Απόφοιτος δημοτικού	54%	54%
	Απόφοιτος δευτερ. εκπαίδευσης	52%	55%
	Πτυχιούχος	51%	67%
Φύλο	Αντρας	54%	55%
	Γυναίκα	27%	91%
ΣΥΝΟΛΟ		53%	58%

3.5. Συμπεριφορά γεωργών στην εφαρμογή ψεκαστικού διαλύματος

Αναφορικά με τα αποτελέσματα εφαρμογής του ψεκαστικού διαλύματος το 50% των παραγωγών δηλώνει ότι δεν γνωρίζει θεωρητικά τι είναι οι ενδιάμεσες ζώνες και ποια η σημασία τους για την προστασία των επιφανειακών υδάτων. Το ότι οι μισοί αγρότες παραβλέπουν την έννοια είναι κρίσιμο αλλά στην πράξη περισσότεροι γεωργοί την τηρούν. Συγκεκριμένα το 63% δήλωσε ότι δεν ψεκάζει ως την άκρη του αγροκτήματος αν αυτό γειτνιάζει με υδάτινους αποδέκτες και εν τέλει ουσιαστικά αφήνει ενδιάμεσες ζώνες. Αυτή η απόκλιση της θεωρίας με την πράξη είναι θετική προς όφελος του περιβάλλοντος. Επίσης κατά την διάρκεια των ψεκασμών το 70% περίπου των παραγωγών αναφέρει ότι παρακολουθεί και τηρεί πιθανόν προειδοποιητικές ταμπέλες για λήψη μέτρων για την προστασία των υδάτων. Ωστόσο και στις δύο περιπτώσεις αποτελεσμάτων υπάρχει ένα μη αμελητέο ποσοστό 30 με 37% γεωργών που παραβλέπει οποιαδήποτε αρνητική επίπτωση προς τους υδάτινους αποδέκτες και το περιβάλλον παρόλο που είναι μικρότερο σε σχέση με αντίστοιχες μελέτες (Mohantyetal., 2013).

Πίνακας 4: Αποτελέσματα εφαρμογής ψεκαστικού διαλλείματος ανάλογα το φύλο και το επίπεδο εκπαίδευσης.

Παράγοντες επίδρασης		Γνωρίζω τι είναι η «ενδιάμεση ζώνη» και ποια είναι η σημασία της για την προστασία των επιφανειακών νερών	Δεν ψεκάζω μέχρι την άκρη του χωραφιού μου, όταν αυτό συνορεύει με επιφανειακά νερά	Πάντα προσέχω για τυχόν ύπαρξη πινακίδων που προειδοποιούν για τη λήψη αυξημένων μέτρων προστασίας επιφανειακών νερών και την επιβολή μικρής χαμηλής διασποράς ή τη δημιουργία ενδιάμεσων ζωνών
Επίπεδο Εκπαίδευσης	Απόφοιτος δημοτικού	50%*	59%	62%**
	Απόφοιτος δευτερ. εκπαίδευσης	42%*	62%	69%**
	Πτυχιούχος	69%*	72%	90%**
Φύλο	Άντρας	48%	60%***	68%
	Γυναίκα	73%	91%***	91%
ΣΥΝΟΛΟ		50%	63%	70%

*Chisquare 8,487 (df=2), p-value= 0,014<0,05

**Chisquare 10,289 (df=2), p-value=0,006<0,05

***Chisquare 3,975 (df=1), p-value= 0,046<0,05

Συμπερασματικά τα αποτελέσματα συμπεριφοράς των γεωργών κατά την διάρκεια των ψεκασμών δεν είναι ενθαρρυντικά απέναντι στο περιβάλλον. Δεν λαμβάνουν υπόψη σχεδόν ένας στους τρεις του υδάτινους αποδέκτες ούτε καν προειδοποιητικές πινακίδες. Εν συνεχεία σε περαιτέρω στατιστικές αναλύσεις βρέθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση του επιπέδου εκπαίδευσης και του φύλου. Συγκεκριμένα όσο πιο μορφωμένοι είναι οι αγρότες τόσο πιο πιθανό να γνωρίζουν την ενδιάμεση ζώνη, τόσο πιο πιθανό να μην παραβλέπουν τις προειδοποιητικές πινακίδες. Επίσης οι γυναίκες παρουσίασαν μια πιο υπεύθυνη στάση στην εφαρμογή καθώς δεν ψεκάζουν ως την άκρη του χωραφιού.

3.6. Συμπεριφορά γεωργών στην διαχείριση στερεών και υγρών αποβλήτων

Σχετικά με τα στερεά υπολείμματα μέσα από κυρίως θεωρητικές ερωτήσεις το 69% δηλώνει ότι γνωρίζει πως πρέπει να διαχειρίζεται τις κενές συσκευασίες παρόλο που παραδόξως σε άλλη ερώτηση αναφέρει ότι μόλις το 35% των αγροτών έχει εκπαιδευτεί στην διαχείριση κενών συσκευασιών (Πίνακας 5). Η αντίθεση αυτή είτε φανερώνει λανθασμένη εντύπωση ουσιαστικής γνώσης των παραγωγών είτε όντως τους έχει μεταδοθεί η γνώση διαχείρισης από στόμα σε στόμα από τους εκπαιδευμένους παραγωγούς ή μέσα από προσωπικές τους αναζητήσεις. Στην συνηθισμένη πραγματικότητα μέσα από εκτενείς συζητήσεις που έγιναν με τους παραγωγούς, οι γεωργοί δεν γνωρίζουν πλήρως την διαδικασία της διαχείρισης των κενών συσκευασιών. Συγκεκριμένα αναφέρουν οι πιο πολλοί ότι το ιδανικό είναι τα στερεά απόβλητα να πηγαίνουν σε ειδικούς κάδους ανακύκλωσης παραπέμποντας τις διαδικασίες του τριπλού πλυσίματος, της ταξινόμησης ανά μέγεθος σε σακούλες και την οπή στις συσκευασίες για μη επαναχρησιμοποίηση. Σε γενικές γραμμές τα αποτελέσματα και τα ποσοστά διαχείρισης κενών συσκευασιών, έστω και με ελλιπή γνώση, είναι θετικά σε σχέση με αντίστοιχες μελέτες (Damalasetal., 2008). Ωστόσο δεν πρέπει να παραβλέπεται το γεγονός ότι οι ερωτήσεις της παρούσας εργασίας όσον αφορά την διαχείριση των στερεών αποβλήτων είναι πιο πολύ θεωρητικές παρά πρακτικές. Σε σχέση με το μικρό ποσοστό εκπαιδευμένων αγροτών αυτό δε αποτελεί πρόβλημα καθώς όπως αναφέρουν και οι Jorsetal. (2016) τα μεγαλύτερα οφέλη στην αλλαγή νοοτροπίας στο αγρότη προκύπτουν από την μετάδοση γνώσης από στόμα σε στόμα. Τέλος στατιστικά σημαντική επίδραση της εκπαίδευσης βρέθηκε καθώς όσο πιο μορφωμένος είναι ένας αγρότης τόσο πιο πιθανό να γνωρίζει πως να διαχειρίζεται τις στερεές συσκευασίες.

Πίνακας 5: Αποτελέσματα διαχείρισης στερεών αποβλήτων ψεκασμού ανάλογα το φύλο και το επίπεδο εκπαίδευσης.

Παράγοντες επίδρασης		Γνωρίζω πώς να διαχειριστώ τις άδειες συσκευασίες αγροχημικών, ακολουθώντας το τριπλό πλύσιμο	Έχω εκπαιδευτεί και έχω συμμετάσχει σε ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης κενών συσκευασιών αγροχημικών
Επίπεδο Εκπαίδευσης	Απόφοιτος δημοτικού	58%*	27%
	Απόφοιτος δευτερ. εκπαίδευσης	66%*	33%
	Πτυχιούχος	85%*	49%
Φύλο	Άντρας	68%	37%
	Γυναίκα	91%	18%
ΣΥΝΟΛΟ		65%	35%

*Chisquare 6,425 (df=2), p-value= 0,040<0,05

Σχετικά με τα υγρά υπολείμματα το 65% των παραγωγών αναφέρει ότι πλένει το ψεκαστικό μόνο όταν πρόκειται κατά την επόμενη εφαρμογή να αλλάξει φυτοφάρμακο. Σε κάθε περίπτωση η τακτική αυτή που παρουσιάζουν πάνω από τους μισούς παραγωγούς δεν είναι σωστή καθώς έτσι το ψεκαστικό πέρα του ότι φθείρεται αποτελεί και εστία ρύπανσης και τοξικότητας, πόσο μάλλον αν σκεφτεί κανείς ότι οι περισσότεροι έχουν το στόλο τους κοντά σε κατοικημένες περιοχές. Συνεχίζοντας το 66% των παραγωγών περίπου δηλώνει ότι το πλύσιμο της δεξαμενής το κάνει σε ασφαλές μέρος στον αγρό μακριά από πηγές υδάτινων αποδεκτών ενώ σε άλλη παρόμοια ερώτηση βγαίνει ένα αντιφατικό αποτέλεσμα καθώς προκύπτει ότι το 42% των γεωργών πλένει της δεξαμενή στο σπίτι του προσέχοντας τους υδάτινους αποδέκτες. Όπως και να έχει από το συνδυασμό των δύο ποσοστών σίγουρα υπάρχει ένα ποσοστό κοντά στο 40% που εκτελεί το πλύσιμο στο περιβάλλοντα χώρο του σπιτιού είτε σε μόνιμη βάση είτε περιστασιακά. Σε γενικές γραμμές είναι εν μέρη θετικό ότι οι περισσότεροι αγρότες πλένουν την δεξαμενή του ψεκαστικού τους στο αγρό προσέχοντας του υδάτινους αποδέκτες αλλά από την άλλη είναι μελανό σημείο ότι υπάρχει 40% που το πλένει στο περιβάλλοντα χώρο του σπιτιού καθώς σίγουρα ένας τέτοιος χώρος θα γειτνιάζει με πιθανούς ζωικούς οργανισμούς και τρόφιμα. Επομένως εντύπωση ίσως προκαλεί το γεγονός αν όντως οι παραγωγοί μέσα από την παρούσα εργασία παρουσιάζουν την πραγματική αλήθεια ότι όντως προσέχουν τους υδάτινους αποδέκτες ενώ παράλληλα δεν διστάζουν να κάνουν την διαδικασία της πλύσης κοντά στον ζωτικό χώρο της οικίας τους. Την πιθανή επιπόλαιη στάση αυτή των παραγωγών την συμπληρώνει το γεγονός ότι μόλις 1 στους 4 περίπου (23%) δηλώνει ότι γνωρίζει ένα αρκετά διαδεδομένο σύστημα διαχείρισης αποβλήτων όπως είναι το Heliosec της Syngenta. Εν συνεχεία εκτελώντας στατιστική ανάλυση βρέθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση του επιπέδου εκπαίδευσης στην γνώση του συστήματος διαχείρισης αποβλήτων Heliosec ενώ επίσης φάνηκε και μια πιο υπεύθυνη στάση των γυναικών όσον αφορά το καθαρισμό του ψεκαστικού. Επιπλέον προέκυψε στατιστικά σημαντική επίδραση της ηλικίας στο μέρος πλυσίματος της δεξαμενής καθώς και στην γνώση του συστήματος Heliosec. Συγκεκριμένα τα άτομα που πλένουν το ψεκαστικό μηχάνημα στο αγρό προσέχοντας τους υδάτινους αποδέκτες είναι στατιστικά σημαντικά νεότερης ηλικίας (p-value 0,034<0,05) σε σχέση με εκείνα που δεν το πράττουν ενώ αντίστοιχα νεότεροι είναι και εκείνοι που γνωρίζουν το σύστημα Heliosec (p-value <0,001<0,05). Το σημείο είναι ενθαρρυντικό καθώς διαφαίνεται ότι οι νεότεροι γεωργοί είναι πιο υπεύθυνοι και πιο ενημερωμένοι σε θέματα διαχείρισης κενών συσκευασιών.

Πίνακας 6: Αποτελέσματα διαχείρισης υγρών αποβλήτων ψεκασμού ανάλογα το φύλο και το επίπεδο εκπαίδευσης.

Παράγοντες επίδρασης		Καθαρίζω το ψεκαστικό μου μόνο όταν αλλάζω αγροχημικό που ψεκάζω	Πλένω το ψεκαστικό μου σε ασφαλές μέρος στο χωράφι και πάντα μακριά από επιφανειακά νερά	Γνωρίζω την ύπαρξη λύσεων για σωστή διαχείριση των υπολειμμάτων ψεκαστικού υγρού, όπως το HELIOSEC
Επίπεδο Εκπαίδευσης	Απόφοιτος δημοτικού	70%	65%	12%*
	Απόφοιτος δευτερ. εκπαίδευσης	65%	64%	18%*
	Πτυχιούχος	51%	74%	41%*
Φύλο	Άντρας	67%**	65%	22%
	Γυναίκα	36%**	91%	36%
ΣΥΝΟΛΟ		65%	66%	23%

*Chisquare 10,470 (df=2), p-value= 0,005<0,05

**Chisquare 4,182 (df=1), p-value= 0,041<0,05

4. Συμπεράσματα

Συνολικά το προφίλ του Έλληνα αγρότη στην παρούσα εργασία δεν είναι ικανοποιητικό σχετικά με την διαχείριση ψεκασμών. Από την μία, ενθαρρυντικά είναι τα αποτελέσματα όταν οι γεωργοί έχουν άμεσο όφελος. Χαρακτηριστικά σε θέματα ρύθμισης ψεκαστικού παρουσίασαν ανεξαρτήτως ηλικίας και εκπαίδευσης ιδιαίτερα θετική εικόνα καθώς από αυτή την διαδικασία εξαρτάται και η επιτυχία εφαρμογής. Όμοια σε στοιχεία αποθήκευσης λαμβάνουν τις απαραίτητες προφυλάξεις για να μην φθαρούν οι δραστικές ή υποστούν δηλητηριάσεις. Αντίθετα ότι θέμα διαχείρισης σχετίζεται με μέτρα για την προστασία του οικοσυστήματος τα παραμελούν ορισμένες φορές ακόμα και επιδεικτικά. Πλέον αυτές οι συμπεριφορές διαμορφώνουν μια κακή και ανεύθυνη νοοτροπία απέναντι στο περιβάλλον. Ωστόσο το αισιόδοξο είναι ότι προέκυψαν κάποια αποτελέσματα που μπορούν χρησιμοποιηθούν ως εργαλεία για την βελτίωση της κατάστασης γενικότερα. Επομένως οι προτάσεις που προκύπτουν από την παρούσα εργασία είναι:

- Η εντατική, η πρακτική και συνεχής εκπαίδευση των παραγωγών. Όπως προέκυψε στις περισσότερες των περιπτώσεων η συμβολή του επιπέδου εκπαίδευσης παίζει ρόλο στην διαμόρφωση πιο θετικής συμπεριφοράς.
- Να δοθούν ερεθίσματα για την μετάδοση αυτής της γνώσης από στόμα σε στόμα.
- Να γίνουν πιο εντατικοί έλεγχοι και κυρώσεις από τους αρμόδιους φορείς.
- Να δοθούν επιπλέον κίνητρα ορθής διαχείρισης καθώς όταν έχουν όφελος από μια διαδικασία οι παραγωγοί την υιοθετούν σε υψηλό βαθμό.
- Πρέπει να γίνουν κατάλληλες υποδομές που θα υποστηρίξουν μια νέα κατάσταση. Συγκεκριμένα κάθε κοινότητα θα ήταν απαραίτητο να έχει κοινό σημείο πλήρωσης της δεξαμενής και διαχείρισης των αποβλήτων.
- Συστήματα γεωργίας ακριβείας και νέες τεχνολογίες μπορούν να διαμορφώνουν μικρότερες απώλειες ψεκαστικού νέφους προς το περιβάλλον.
- Κίνητρα παραμονής των νέων αγροτών. Όπως προέκυψε οι νεότεροι γεωργοί έχουν πιο υπεύθυνη στάση στην διαχείριση φυτοπροστατευτικών προϊόντων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Aggelopoulos, S., Karelakis, C., Tsantopoulos, G., Pavloudi, A., & Seitani, P. (2016). Farmers' perceptions and attitudes towards the development of the sheep and goat sector in the Greek region of Evros. *SpringerPlus*, 5(1), 1134.
- Damalas, C. A., Georgiou, E. B., & Theodorou, M. G. (2006). Pesticide use and safety practices among Greek tobacco farmers: a survey. *International journal of environmental health research*, 16(5), 339-348.
- Gaber, S., & Abdel-Latif, S. H. (2012). Effect of education and health locus of control on safe use of pesticides: a cross sectional random study. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 7(1), 3.
- Grisso, R. D., Hewett, E. J., Dickey, E. C., Schnieder, R. D., & Nelson, E. W. (1988). Calibration accuracy of pesticide application equipment. *Applied Engineering in Agriculture*, 4(4), 310-315.
- Hofman, V., & Solseng, E. (2004). *Spray equipment and calibration*. Fargo: NDSU Extension Service.
- Jallow, F., Awadh, G., Albaho, S., Devi, Y., Thomas, M. (2017). Pesticide knowledge and safety practices among farm workers in Kuwait: results of a survey. *International journal of environmental research and public health*, 14(4), 340.
- Janhong K., Lohachit Ch., Butraporn P., Pansuwan P.. Health promotion program for the safe use of pesticides in Thai farmers, *Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health*, 2005, vol. 36 (pg. 258-261)
- Jørs, E., Lander, F., Huici, O., Morant, R. C., Gulis, G., & Konradsen, F. (2014). Do Bolivian small holder farmers improve and retain knowledge to reduce occupational pesticide poisonings after training on Integrated Pest Management?. *Environmental health*, 13(1), 75.
- Lekei, E. E., Ngowi, A. V., & London, L. (2014). Farmers' knowledge, practices and injuries associated with pesticide exposure in rural farming villages in Tanzania. *BMC public health*, 14(1), 389.
- Mohanty, M. K., Behera, B. K., Jena, S. K., Srikanth, S., Mogane, C., Samal, S., & Behera, A. (2013). Knowledge attitude and practice of pesticide use among agricultural workers in Puducherry, South India. *Journal of forensic and legal medicine*, 20(8), 1028-1031.
- Ozkan, H. E. (1994). *Calibrating Turfgrass Chemical Application Equipment*. Handbook of Integrated Pest Management for Turf and Ornamentals, 143.
- Pyrovetsi, M. Daoutopoulos, G. (1999) Farmers' needs for nature conservation education in Greece, *Journal of Environmental Management* 56, 147-157.
- Schenker, M.B., Orenstein, R., & Samuels, J. (2002). Use of protective equipment among California farmers. *American journal of industrial medicine*, 42(5), 455-464
- Eurostat. (2012). *Agricultural census in Greece*. Available online: http://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php/Agricultural_census_in_Greece
- ΕΛΣΤΑΤ. 2015. Έρευνα διάρθρωσης γεωργικών και κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων, έτους 2013. Αθήνα, Διαθέσιμοσε: <http://www.statistics.gr/el/statistics/agr>

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΑΕΙΦΟΡΙΑ ΤΩΝ ΒΙΟΓΕΝΩΝ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΤΟΥ ΑΓΡΟΔΙΑΤΡΟΦΙΚΟΥ ΤΟΜΕΑ ΚΑΤΑ ΤΟ ΣΤΑΔΙΟ ΤΟΥ ΤΕΛΟΥΣ ΧΡΗΣΗΣ/ΖΩΗΣ ΤΟΥΣ

Δ. Μπριασούλης, Α. Πικάση & Μ. Χισκάκης

Γεωπονικό Παν/μιο Αθηνών, Τμήμα ΑΦΠ-ΓΜ, Ιερά Οδός 75, 11855, Αθήνα, e-mail: pikasi@aua.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ανάπτυξη μεθοδολογίας για τη τεχνοοικονομική αξιολόγηση της αειφορίας εναλλακτικών τρόπων βέλτιστης διαχείρισης βιογενών πλαστικών του αγροδιατροφικού τομέα, κατά το στάδιο τέλους χρήσης/ζωής τους. Τα βιογενή πλαστικά συσκευασίας τροφίμων και γεωργικών φύλλων, εξετάστηκαν ως χαρακτηριστικά παραδείγματα. Η ανάπτυξη της μεθοδολογίας συνδυάστηκε με τον προσδιορισμό αρχών και τεχνο-οικονομικών κριτηρίων αειφορίας καθώς και των αντίστοιχων δεικτών. Η μεθοδολογία στοχεύει στη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης των βιογενών πλαστικών του αγροδιατροφικού τομέα, μετά το τέλος χρήσιμης ζωής τους ως δευτερογενών πρώτων υλών σε διάφορα στάδια της παραγωγής βιογενών υλικών, και αφετέρου στο να διερευνηθεί κατά πόσο αυτά αποτελούν μια πιο αειφορική λύση σε σχέση με τα αντίστοιχα συμβατικά πλαστικά υλικά.

Λέξεις κλειδιά: αειφορία, τεχνο-οικονομική ανάλυση, δείκτες, βιογενή πλαστικά

TECHNO-ECONOMIC SUSTAINABILITY ANALYSIS METHODOLOGY FOR ALTERNATIVE END-OF-LIFE OPTIONS FOR POST-CONSUMER BIO-BASED PLASTICS USED IN THE AGRIFOOD SECTOR

D. Briassoulis, A. Pikasi, M. Hiskakis

Agricultural University of Athens, Department NRM & Ag. Eng., Iera Odos 75, 11855, Athens, e-mail: apikasi@aua.gr

ABSTRACT

A techno-economic sustainability assessment (TESA) methodology of End-of-Life (EoL) options of bio-based plastics used in the Agrifood sector was developed. Two main categories, flexible food packaging and agricultural films, were considered as illustrative examples, taking into account the relevant increasing demand. The TESA methodology development was followed by the definition of TESA indicators, referring to relevant principles and criteria. The methodology aims first at ensuring optimal alternative EoL routes for the bio-based plastics, allowing for their recirculation as valuable secondary resources in the biorefineries production in support of bioeconomy and subsequently examine the potential of the biodegradable mulch films and bio-based compostable packaging to represent more sustainable solutions as compared to the conventional plastic products.

Keywords: sustainability, techno-economic analysis, indicators, bio-based plastics

1. INTRODUCTION

The global production capacity of bio-based plastics in 2018 reached 2.1 Mt and it is estimated to grow to 2.6 Mt by 2023. A significant proportion of the global production of bio-based biodegradable and non-biodegradable plastics concerns the food packaging (0.5 Mt) and agriculture (0.1 Mt) market segments (European Bioplastics, 2019). The sectors of flexible food packaging and agricultural films show an increasing demand for bio-based biodegradable plastics.

The main question on the use of bio-based plastics concerns their sustainability, estimated over the whole life cycle from the resources stage, to manufacturing, use and to the End-of-Life (EoL) options. Do the commercial biodegradable mulching films and bio-based compostable packaging for fruits and vegetables represent a more sustainable solution as compared to the conventional plastic products? To answer this problem, first the definition of sustainability has to be clarified:

- **Circular economy:** A circular economy system with resource inputs and outputs minimized through the design for recirculation or long-lasting loops of reuse following repair, remanufacturing, refurbishing and recycling, or upcycling (Geissdoerfer et al., 2017)
- **Bioeconomy:** A renewable resources- of biological origin-based economy system. The processing methods used in biorefineries aim at valorising the biomass as resource for the production of bioenergy and bio-based materials such as chemicals, bio-gas (European Commission, 2018)
- **Sustainable bioeconomy:** The renewable segment of the circular economy. The sustainable circular bioeconomy turns biogenic waste and residues into renewable resources for the production of added value bio-based materials (European Commission, 2018)

The sustainability assessment of any product or process, including bio-based plastics, is composed of three pillars and it may be applied to the whole life cycle of a product or to part of it: environmental sustainability assessment (LCA), technoeconomic sustainability assessment (TESA) and social sustainability assessment. The present study focuses on the TESA of the EoL options of post-consumer bio-based plastics of the Agrifood sector.

The techno-economic analysis (TEA) analyses the technical feasibility and economic viability of all the stakeholders involved (including the community). This analysis differs greatly between an existing product in the market, where the technical feasibility is demonstrated and real data exist, and a conceptual new product, where the data must be estimated. In the first case a detailed process flow diagram of the system can be constructed and the variability of some of the parameters (feedstock availability, market, resources etc) can be accurately estimated. In the case of a new process the analysis depends of the readiness level. At least advanced laboratory and early scale-up data are needed in order to construct a process flow diagram scenario. The use of a stochastic model to estimate the inputs, outputs and resources utilization is needed to account for the risk factors associated with the economic funding of the project analysed. The variability of the inputs and outputs in such a model are represented as probabilistic functions. The standard deviation of this function represents the uncertainty (risk) and decreases if more data are made available (by increasing the readiness level).

The techno-economic sustainability analysis, depending on its specific scope, compares the sustainability aspect of two existing or optimized systems or alternatives. Therefore, the techno-

economic sustainability analysis of bio-based products uses the results of techno-economic analysis and optimization to compare the profitability (with a broad sense that includes all involved stakeholders) and viability of the products in question. This techno-economic sustainability analysis in interaction with the environmental sustainability analysis and the social sustainability analysis complete the sustainability analysis for a specific case.

The techno-economic sustainability analysis should respond to two questions. Firstly, to which extent the technical feasibility and sustainability of resources is assured and secondly, how the economic profitability with a very broad definition that includes all stakeholders like the consumers and the community and society in addition to the traditional businesses (that in any case will not operate unless they are profitable) is addressed and assured.

It is evident that there is a significant overlapping between the economic, environmental and social aspects particularly in the community and the society profitability concepts.

The aim of this work is to present a techno-economic sustainability analysis methodology for each major EoL route of bio-based products with emphasis placed on bio-based plastics, and to define techno-economic sustainability indicators for the EoL of post-consumer/industrial bio-based plastics of the Agrifood sector.

2. METHODS

2.1. Methodology

The techno-economic sustainability analysis (TESA) methodology for the post-consumer and industrial stage of bio-based plastics has been developed based on three preliminary inventory analysis steps (Briassoulis et al., 2019), followed by the TESA methodological steps for the development of techno-economic sustainability principles, criteria, and indicators. The aim of the TESA methodological framework is to ensure that optimal alternative EoL routes are defined for the bio-based plastics, allowing for their recirculation as valuable resources in line with the concept of the circular bioeconomy.

2.1.1. Step 1: Inventory analysis of policies, action plans and regulations concerning the sustainability aspects of the circular economy (CE) and bioeconomy

2.1.2. Step 2: Inventory analysis of the EoL options of bio-based and conventional fossil-based post-consumer products focusing on the EU and USA statistics and the corresponding legislative developments for plastics

2.1.3. Step 3: Inventory analysis of techno-economic parameters pertaining to the sustainability of the alternative EoL options of bio-based and conventional fossil-based products based on literature review

2.1.4. Step 4: A set of principles, criteria and indicators for techno-economic sustainability assessment of the alternative routes of the EoL stage has been proposed based on the outcomes of steps 1-3 and relevant scientific sources.

2.1.5. Step 5: The proposed EoL sustainability principles, criteria and indicators are currently assessed/evaluated using selected case studies of the Agrifood sector and the TESA methodology for EoL options in order to be refined and finalised (step in progress).

The TESA for the EoL of post-consumer and industrial bio-based plastics is applied in two stages following the prioritised alternative EoL routes according to the hierarchy of the Circular Economy Package (CEP) (COM 28 final, 2018): reuse, material recovery (mechanical and chemical recycling), organic recycling (aerobic composting and anaerobic digestion) while energy recovery is a complementary route (i.e. not an independent option) applied only for non-recyclable non-biodegradable bio-based products (Figure 13).

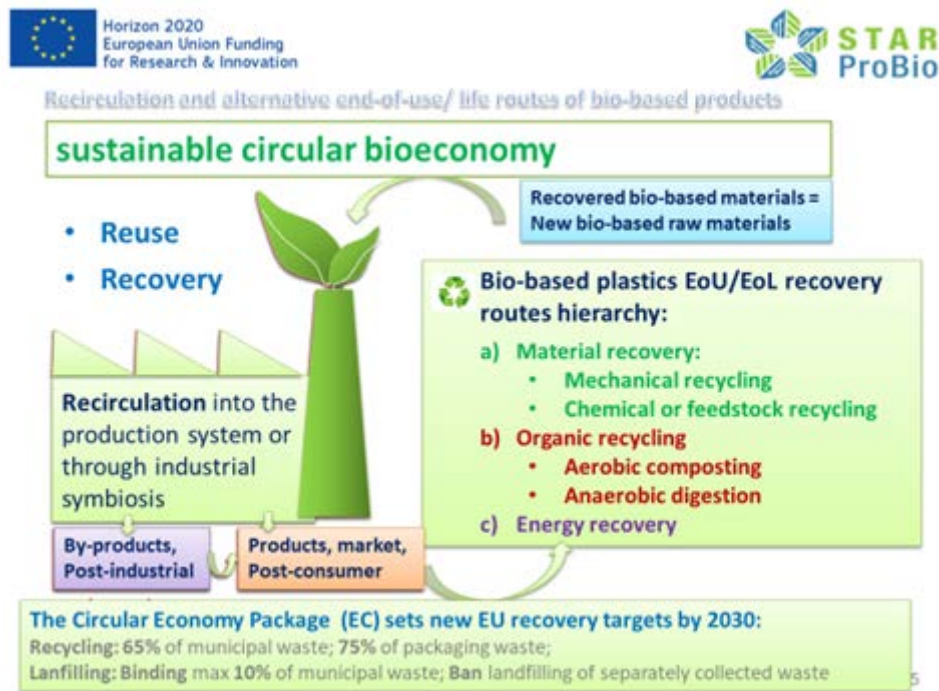


Figure 1. EoL routes for biobased plastics in the basis sustainable circular bioeconomy (adapted from Briassoulis et al., 2019)

Stage 1 - Materials recovery: TESA data of an established materials recycling reference scenario process resulting in the production of recyclates or monomers from a specific post-consumer, industrial bio-based plastics. An equivalent reference product should be used for comparison purposes. In the case of drop-in (non-biodegradable) bio-based plastics, the conventional fossil-based products are selected as reference materials. In the case of biodegradable bio-based plastics a conventional bio-based plastic (equivalent in terms of applications/ properties) should be used as reference material.

Stage 1 - Organic recycling: TESA data of an established organic recycling reference scenario process resulting in the production of compost and possibly biogas from a specific post-consumer, industrial non-recyclable bio-based plastic entering the facility together with biowaste. An equivalent reference conventional biodegradable plastic (bio-waste) should be used for comparison purposes.

Stage 2. The TESA analysis of stage 1 shall be evaluated under different not established processing and market conditions (i.e. TESA analysis based on pilot-scale or experimental data and hypothetical scenarios). Stage 2 TESA sensitivity analysis will be performed provided that needed scientifically justified data are available. Stage 2 will provide a sensitivity analysis allowing for the evaluation of possible techno-economic improvements through alternative processing and/or marketing options, with special emphasis placed on the recirculation potential of the products of alternative EoL options, in support of the emerging circular bioeconomy.

3. RESULTS

3.1. Proposed techno-economic sustainability analysis principles, criteria and indicators for alternative EoL options for post-consumer /industrial bio-based plastics

3.1.1. Principle 1: Sustainable Alternative EoL Routes – Techno-economically sound EoL options

This principle focuses on the techno-economic assessment of alternative EoL options for a post-consumer/industrial product including technical processability, economic viability, combined environmental and techno-economic resources efficiency and impact on sustainability. The assessment should be compared against a reference product and depending on the scope of the analysis should also compare alternative EoL options. In the case of biodegradable mulch films, the reference material is the conventional Linear Low-Density Polyethylene (LLDPE) mulch film. In the case of bio-based biodegradable packaging film for horticultural produce, the reference material is the polypropylene (PP) film.

3.1.2. Proposed criteria falling into Principle 1.

A. Technical feasibility for material recovery (mechanical and chemical recycling) and organic recycling (aerobic composting and anaerobic digestion) based on existing processes and possible improvements.

B. Economic viability of material recovery & organic recycling based on existing processes

C. Common environmental and techno-economic criteria of material recovery and organic recycling.

Proposed indicators for the corresponding criteria and the highlights of the most important parameters to be considered for the techno-economic sustainability analysis (TESA) of alternative EoL options are summarized in the following section.

3.1.3. Proposed indicators falling into Principle 1

a. Proposed indicators for criterion A: Technical feasibility

a1: Main characteristics of the post-consumer /industrial plastic that distinguish the possible mechanical and chemical recycling or organic recycling routes and affect significantly the processability of the stream.

The nature and the intrinsic properties of the materials, particularly their biodegradability is a determinant factor for the route they will be directed as well as for the treatment they will be subjected to at their EoL stage (Delft, 2017; European Bioplastics, 2017). The constituent parts of this indicator which can be used as indicative qualitative metrics are the non-biodegradable (so called, drop-ins) and the biodegradable bio-based plastics. Both bio-based mulch and food packaging films are biodegradable bio-based plastics.

a2: Sorting efficiency of the collected post-consumer specific bio-based plastic from different collection and sorting schemes.

Post-consumer mulch films are not collected as they are designed to be biodegraded in the soil in contrast to LLDPE film that may be routed only to energy recovery at a high cost. Bio-based biodegradable packaging films should be collected and sorted into a stream routed to material recovery as a priority or organic recycling as a second option. In the case of PP packaging film, the priority is material recovery (Figure 14).

The sorting process is a critical step for the material recovery as well as organic recycling EoL options (Plastics Recyclers Europe, 2013; Seadi et al., 2013; Garcia, 2016)

a3: Mechanical recyclability of the sorted post-consumer specific bio-based products.

The technical feasibility of the mechanical recycling process depends on several factors such as the thermal stability (Al-Salem et al., 2009), the uniformity of the mono-stream or the sorted post-consumer bio-based plastic stream (Singh et al., 2017), the impact of physical limiting factors which may determine the recyclability of specific bio-based plastics; among them is the presence of contaminants in the plastic waste stream. In the case of bio-based packaging, mechanical recyclability is possible for various bio-based polymers such as PLA, as well as for PP films, under specific reprocessing conditions.

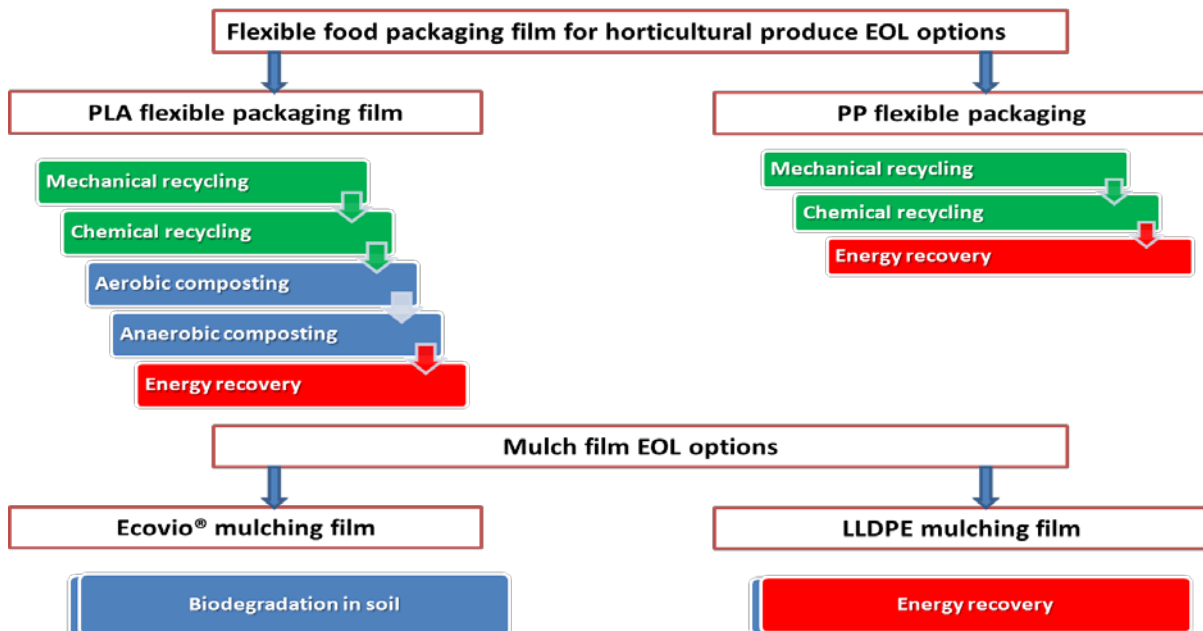


Figure 2. Alternative EoL routes in priority for biobased and reference food packaging and mulch films

a4: Technical feasibility for the chemical recycling of the sorted post-consumer specific bio-based products.

The technical feasibility of the chemical recycling process can be evaluated by the depolymerisation efficiency as measure. The efficiency in terms of conversion yield in high value-added monomers and/or chemicals recovered is a crucial factor. A depolymerisation process that is not efficient cannot result in high recovery rates or high-quality monomers/chemicals. Both PLA and PP polymers may follow depolymerisation processing.

a5: Technical feasibility for the aerobic composting and anaerobic digestion of the sorted non-recyclable post-consumer specific bio-based biodegradable products

The technical feasibility of organic recycling relates to the conformity of bio-based plastics to the compostability and/or biodegradability requirements defined by standard specifications published by several organizations, to be accepted for industrial composting and/or anaerobic digestion (AD). In this aspect biodegradable bio-based food packaging, if not recyclable mechanically or chemically, can be routed to aerobic composting facilities or to AD facilities. In contrast, PP packaging film, if not recyclable, should be routed to energy recovery. Biodegradable in soil mulch film is designed to be rototilled along with plant remains in the soil. LLDPE mulch film is not biodegradable in soil and non-recyclable.

b. Proposed indicators for criterion B: Economic viability

b1: Availability of recycling facilities for mechanical and chemical recycling of post-consumer /industrial products.

The availability of mechanical recycling facilities in the region that accept bio-based plastics, and/or the distance of available infrastructures, turns mechanical recycling into a priority alternative EoL route for bio-based plastics including bio-based food packaging, or not. In the case of chemical recycling, the establishment of the feasibility of large-scale operations in a way that chemical recycling becomes a valuable alternative recycling route in the near future (European Bioplastics, 2017).

b2: Availability of aerobic composting and anaerobic digestion facilities for the organic recycling of non-recyclable post-consumer /industrial biodegradable products

The availability of industrial composting facilities and AD facilities that accept bio-based plastics, including bio-based compostable food packaging in the region and/or the distance of available infrastructures are basic prerequisites, for considering organic recycling and/or anaerobic digestion as suitable EoL options for bio-based products.

b3: Availability of collected/sorted recyclable industrial/post-consumer bio-based products

One of the key factors for the economic viability of mechanical recycling and/or chemical recycling is the requirement that sufficient quantities of commercial mono stream bio-based plastic are available, and their supply is rather stable to cover the investments required.

b4: Availability of collected and sorted non-recyclable industrial /post-consumer compostable bio-based products along with bio-waste feedstock

A guaranteed long-term supply of bio-waste feedstock, including bio-based compostable plastics, is necessary before the establishment of an aerobic composting or AD plant. The development of separate collection of municipal biowaste will allow for routing bio-based biodegradable packaging that is non-recyclable to aerobic composting with biowaste.

b5: Post-consumer / industrial recycled product quality characterization

It is crucial that the final products are characterized in terms of their quality. Several standards define the required general characteristics and some optional degradation characteristics of conventional plastic recyclates, applicable also to their bio-based non-biodegradable counterparts (EN 15347:2007). No standards exist yet for recyclates of bio-based biodegradable plastics such as PLA.

b6: Compost quality from aerobic composting and AD of non-recyclable post-consumer / industrial biodegradable bio-based products and biowaste

The quality of the final products of organic recycling (i.e. compost, digestate and biogas respectively), has strong impact on the economic viability of the relevant EoL treatments. Meeting the requirements of the specifications of the Revised Fertilising Products Regulation (European Parliament, 2018) is a critical issue for the marketing of a final organic recycling product. Bio-based biodegradable food packaging labelled as compostable according to EN13432 is acceptable to aerobic composting facilities and possibly to AD facilities.

b7: Market value of post-consumer / industrial recycled product.

The market price for a specific quality of bio-based recyclates is a crucial factor of the economic viability of mechanical recycling. Mechanical recycling may be feasible but not economically viable if the prices obtained do not support its operation as a priority option for EoL of bio-based products (Van den Oever et al., 2017). The market price for a specific quality of second-generation bio-based monomers or oligomers is a crucial factor of the economic viability of chemical recycling.

b8: Market of non-recyclable post-consumer/industrial biodegradable bio-based products

Ensuring successful industrial composting and/or AD plant development and operation with strong impact on the economic viability of the organic recycling of non-recyclable bio-based plastics along with biowaste, requires availability of markets for the end-products.

b9: Estimated financial feasibility of mechanical recycling, chemical recycling and organic recycling of post-consumer / industrial bio-based products

The financial feasibility of the EoL options is based on the economic data and can be described in terms of the profitability of the processes.

c. Proposed indicators for criterion C: Common environmental and techno-economic

c1: Mass recovery efficiency through the mechanical and chemical recycling

The higher the recyclate mass or the higher the mass of pure monomer/ oligomer or chemicals produced from the initial mass of the sorted post-consumer plastic entering the mechanical or chemical recycling facility, respectively, is, the higher the material recovery and recirculation potential is achieved.

c2: Biogas mass recovery efficiency under AD conditions

The percentage of the compostable bio-based plastics composted and/or the percentage of anaerobically digestible bio-based plastics converted into biomass is small. The biogas obtained describes the efficiency of recovery of the sorted post-consumer biodegradable bio-based plastic mass entering the AD facilities together with biowaste.

c3: Impact of additives and reagents used with mechanical and chemical recycling of post-consumer/industrial products on sustainability

The nature and efficiency of additives and of reagents used for the manufacturing and the reprocessing of the bio-based plastics, and in chemical recycling, respectively, affect the overall sustainability of materials recovery (Hahladakis et al., 2018).

c4: Impact of the additives and reagents used with aerobic composting and AD of non-recyclable post-consumer /industrial biodegradable bio-based products on sustainability

The efficiency and nature of the additives used in both the composting process and the AD, with emphasis placed on the use of environmentally benign additives that are natural substances or compostable/digestible bio-based compounds may affect the techno-economic and environmental sustainability of the process (Gabhane et al., 2012; González et al., 2018).

c5: Utilisation efficiency of the resources used for the mechanical reprocessing, chemical depolymerisation and organic recycling of post-consumer /industrial products

The overall environmental and techno-economic sustainability of the alternative materials recovery and organic recycling processes is affected significantly by the efficiency of the utilities used for the processes and their renewability and/or recirculation. The energy used may be derived from renewable and/or conventional sources while the water used may partially come from a closed recycling loop of the wastewater.

c6: Impact of the waste – emissions associated with the mechanical reprocessing and chemical depolymerisation of post-consumer /industrial products on sustainability

The wastes and the air emissions produced during the mechanical and/or chemical recycling processes have important impacts on their techno-economic and environmental sustainability. Waste streams in mechanical or chemical recycling usually include solid waste and air, possibly harmful, emissions and wastewater mainly in the mechanical recycling case (Xiang et al., 2002).

c7: Impact of the waste – emissions associated with the aerobic composting and AD of non-recyclable post-consumer /industrial biodegradable bio-based products on sustainability

Waste streams generated from aerobic composting, such as leachate, residuals, odors, air emissions and in AD anaerobic digestion effluents (ADEs) may have important techno-economic and environmental sustainability impact.

3.1.4. Principle 2: Techno-economically sound recirculation potential of recycled post-consumer /industrial bio-based products through alternative EoL routes

Techno-economically sound recirculation of mechanically and chemically recycled post-consumer and industrial bio-based products back into the plastic conversion manufacturing of end products and the polymer processing stages, respectively, depends on the recirculation potential of the specific bio-based products and also on the manufacturing techno-economic recirculation processing efficiency. Recirculation of non-recyclable biodegradable bio-based products may be achieved using compost produced from biowaste together with compostable plastics as organic fertilizer for biomass (resources) production.

The possibility of the recycled post-consumer and industrial bio-based products to recirculate from the stage of the EoU/EoL back into the manufacturing and processing stages or even to the initial parts of the value chains comprises the recirculation potential that in general integrates criteria related to the EoL stage described in principle 1 (Figure 13). The reason that the recirculation potential is presented as an additional separate techno-economic sustainability principle (2), even though it contains elements of the techno-economic sustainability criteria of the alternative EoL options (principle 1), is the identification of the gap between product design, materials supply, marketing and manufacturing, on one hand, and the return flow of recycled/ recovered materials, on the other hand. The inclusion of the specific principle 2 on recirculation of the recycled/ recovered materials along with associated techno-economic criteria and indicators aims at ensuring the restoration of the fragmented connection between the EoL stage and the produced secondary materials with the bio-based products value chains. Material characteristics, standards, traceability schemes can play a significant role in this direction.

3.1.5. Proposed criteria falling into Principle 2.

D. Recirculation potential of mechanically and chemically recycled post-consumer /industrial bio-based products

E. Recirculation potential of organically recycled post-consumer and industrial biodegradable bio-based products

3.1.6. Proposed indicators falling into Principle 2

d. Proposed indicators for criterion D: Recirculation potential of mechanically and chemically recycled bio-based products

d1: Recirculation potential of specific post-consumer /industrial products through mechanical and chemical recycling reprocessing

The physical and chemical characteristics of specific post-consumer /industrial products have strong impact on their recirculation potential. In mechanical recycling, the maximum number of reprocessing cycles before the material becomes non-recyclable anymore depends on the specific material and the reprocessing conditions. The deterioration (degradation) of the properties of a bio-

based or conventional polymer in most cases is gradual, analogous to the reprocessing cycles and characteristic for the specific product. In chemical recycling, the recirculation potential through the recovery of monomers/oligomers depends on the characteristics of the specific product.

d2: Characterisation of mechanically reprocessed and chemically depolymerised post-consumer /industrial products according to relevant standards

The mechanically reprocessed and chemically depolymerised post-consumer /industrial products are characterized according to standards for their quality and their potential to close the loop of the recirculation back to their useful life cycle stages. The establishment of relevant standards is an issue of essential importance, as the European plastics recycling industry lacks uniform standards and certification schemes which would strengthen the secondary raw materials market. Consumers hardly rely on constant supplies of high-quality products, due to the differentiation of quantities and qualities of reprocessed materials because of the standards variation (Plastic recyclers Europe, 2019). Moreover, chemical recycling needs to be conceptualized in the legislation so that the produced material's quality and recirculation potential are clearly defined as well as distinguished from energy recovery (Plastics Recyclers Europe, 2019).

d3: Traceability schemes for recording the mechanically reprocessed and chemically depolymerised post-consumer /industrial product

Traceability schemes may be required by legislation, international standards or end users in order to allow better product control or to locate and withdraw unwanted material and/or defective products from the secondary market (British Standards Institution, 2019). Such schemes enhance the confidence between the producers and end users as far as the use of the reprocessed /recovered materials are concerned, ensuring their recirculation potential back to the useful life cycle stage.

e. Proposed indicators for criterion E: Recirculation potential of organically recycled biodegradable bio-based products

e1: Recirculation potential of the compost produced through organic recycling of non-recyclable post-consumer /industrial biodegradable bio-based products

The final compost product from the organic recycling of biowaste together with non-recyclable post-consumer /industrial biodegradable bio-based products, may be characterized and used as organic fertilizer, or soil improvement compound. The compost enhances the biomass production and the CO₂ absorption replacing chemical fertilisers.

4. CONCLUSIONS

The techno-economic sustainability analysis (TESA) methodology for the post-consumer and industrial stage of bio-based plastics has been developed based on three preliminary inventory analysis steps, followed by the two TESA methodological steps for the development of techno-economic sustainability principles, criteria, and indicators. The last methodological step, currently in progress, constitutes the application of the proposed methodology and EoL sustainability principles, criteria and indicators in selected case studies of the Agrifood sector. The aim is to assess/evaluate the proposed TESA methodology for EoL options of post-consumer /industrial bio-based plastics and

refine and finalize it. The case studies tested include biodegradable mulch films versus LLDPE mulch film as the reference material and bio-based biodegradable packaging film for horticultural produce versus PP film as the reference material. In this last step, the TESA for the EoL of post-consumer /industrial bio-based plastics will be applied following the prioritised alternative EoL routes according to the hierarchy of the Circular Economy Package (CEP) (Figure 14). Special emphasis will be placed on the recirculation potential of the EoL alternatives, in support of the emerging circular bioeconomy.

5. BIBLIOGRAPHY

- Al-Salem, S. M., Lettieri, P., Baeyens, J., 2009. Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review. *Waste Management*, 29, 2625 -2643.
- Briassoulis, D., Pikasi, A., Hiskakis, M., 2019. *End-of-waste life: Inventory of alternative end-of use recirculation routes of bio-based plastics in the European Union context*. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 1–58.
- British Standards Institution, 2019. *Environmental-Management-and-Sustainability, Recycling*.
- COM , 2018. *A European Strategy for Plastics in a Circular Economy, Communication from the Commission to the EP&C, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions Brussels*, 28 final.
- Delft Report, 2017. *Biobased Plastics in a Circular Economy, Policy suggestions for biobased and biobased biodegradable plastics*, CE Delft.
- EN 15347:2007. *Plastics. Recycled Plastics. Characterization of plastics waste*.
- European Bioplastics, 2019. <https://www.european-bioplastics.org/market/>.
- European Bioplastics e.V., 2017. *Recycling And Recovery: End-Of-Life Options for Bioplastics, Position of European Bioplastics*.
- European Bioplastics, 2017. *FREQUENTLY ASKED QUESTIONS ON BIOPLASTICS*.
- European Commission, 2018. *A sustainable bioeconomy for Europe: strengthening the connection between economy, society and the environment, Updated Bioeconomy Strategy*
- European Parliament, 2018. *Amendments adopted by the EP on 24 October 2017 on the COM (2016) 157: Proposal for a regulation of the EP&C laying down rules on the making available on the market of CE marked fertilising products and amending Regulations*
- Gabhane, J., William, S.P. Bidyadhar, R., Bhilawe, P., Anand, D., Vaidya, A.N. Wate, S.R., 2012. *Additives aided composting of green waste: Effects on organic matter degradation, compost maturity, and quality of the finished compost*. *Bioresource Technology*, 114, 382 -388.
- Garcia, J.M., 2016. *Catalyst: Design Challenges for the Future of Plastics Recycling*, *Chem*, 1, 813-815.

- Gargalo, C.L., Carvalho, A., Gernaey, K.V. and Sin, G., 2016. A framework for techno-economic & environmental sustainability analysis by risk assessment for conceptual process evaluation. *Biochem Eng J*, 116, 146.
- Geissdoerfer, M., Savaget, N.M.P., Bocken, N., Hultink, E., 2017. The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Clean. Prod.*, 143, 757-768.
- González, J., Sánchez, M.E., Gómez, X., 2018. Enhancing Anaerobic Digestion: The Effect of Carbon Conductive Materials, *Journal of Carbon Research*, 4, 59.
- Hahladakis, J.N., Velis, C.A. , Weber, R. , Iacovidou, E., Purnell, P, 2018. An overview of chemical additives present in plastics: Migration, release, fate and environmental impact during their use, disposal and recycling, *Journal of Hazardous Materials*, 344, 179-199.
- Plastics Recyclers Europe, 2009. Chemical recycling.
- Plastic recyclers Europe, 2019. RECYCLERS CERTIFICATION.
- Plastics Recyclers Europe, 2013. Study on an increased mechanical recycling target for plastics, Final Report
- Seadi, Al., Owen, N., Hellström, H., Kang, H., 2013. Source separation of MSW, Technical Brochure Published by IEA Bioenergy.
- Singh, N., Hui, D., Singh, R., Ahuja, I.P.S., Feo, L., Fraternali, F., 2017. Recycling of plastic solid waste: A state of art review and future applications. *Composites, Part B* 115, 409 -422.
- Van den Oever, M., Molenveld, K., Van der Zee, M., Bos, H., April 2017, Bio-based and biodegradable plastics - Facts and Figures, Wageningen Food and Biobased Research, Wageningen.
- Xiang, Q., Mitra, S., Xanthos M., Dey, S.K., 2002. Evolution and Kinetics of Volatile Organic Compounds Generated during Low-Temperature Polymer Degradation, *J. Air & Waste Manag. Assoc.*, 52, 95 -103.

ASSESSING THE SUSTAINABILITY OF GREENHOUSE CROPS USING LIFE CYCLE ANALYSIS TOOLS

A. Vatsanidou¹, T. Bartzanas^{1,2}, N. Katsoulas³

¹Center for Research and Technology-HELLAS (CERTH), Institute of Bio-Economy and Agrotechnology (IBO), Dimarchou Georgiadi 118, 38333, Volos, Greece

²Laboratory of Farm Structures, Department of Natural Resources Management & Agricultural Engineering, Agricultural University of Athens, Iera Odos 75, Athens 11855, Greece

³Department of Agriculture Crop Production and Rural Environment, School of Agricultural Sciences, University of Thessaly, 38446, N. Ionia, Magnisia, Greece

ABSTRACT

The assessment of the environmental impact of agricultural production has received increasing attention over the last years, because agriculture appears to have a major impact on the environment. Modern, intensive crop production is regarded as a source of solid, liquid and gaseous emissions, which can be both a nuisance and environmentally harmful. Plastic, waste water and greenhouse gases, coming from direct or indirect sources, are the most important effluents for polluting the air, the ground and surface water (nitrates and phosphate emissions), causing climate change, acidification, eutrophication and ecotoxicity (soil enrichment with heavy metals). Regarding protected cultivations, there are some environmental studies that are restricted to the use of national or EU level guiding policy or in improving farm management by supplying information to the farmer or advisor. To reduce pollution sources from intensive agriculture production systems to the environment many technologies have been developed and applied, like close hydroponic systems, close greenhouse, degradable plastic covering materials etc. However, till today information and studies concerning a complete environmental assessment of greenhouse cropping system are limited. Therefore, there is an increasing interest in product-oriented and life cycle based environmental assessments (LCA), because there is a need to evaluate global emissions and impacts from the whole production chain in relation to types and amounts of products consumed. Life cycle assessment (LCA) is a generally accepted method to evaluate the environmental impact during the entire life cycle of a product. In the present paper, we built upon the results of previous EU projects rational irrigation strategies in greenhouse and using the LCA method through the SIMAPRO software we evaluate the environmental impact on close, semi-close and open greenhouse hydroponic systems.

Keywords: Life Cycle Assessment, Hydroponics, Water use efficiency,

1. INTRODUCTION

Along with an increasing population, the world faces climate change, rising fossil fuel prices, ecosystem degradation, and water and land scarcity - all of which are making today's food production methods more challenging. The EU energy strategy (2030 Energy Strategy) calls for a 40% cut in greenhouse gas emissions compared to 1990 levels and at least a 27% share of renewable energy consumption whereas the EU directive (EU No 406/2009/EC) for greenhouse gas emissions (GHG) forces for to at least 50 % reduction below 1990 levels by 2050. Limited water availability already poses a problem in many parts of Europe and the situation is likely to deteriorate further due to climate change, with Europe's high water stress areas expected to increase from 19% today to 35% by the 2070s (COM2009 147/4).

In Greece, but in general in the Mediterranean region, protected cultivation constitutes the most productive form of primary agricultural production. Although the climate conditions for greenhouse crop production are favourable, the Greek greenhouse industry, like many other parts of the agro-food chain, faces a major challenge: Meeting the increasing food needs whilst simultaneously reducing agriculture's environmental impact. The majority of greenhouses in the Mediterranean area are low cost, low-tech, labour intensive and simply equipped. Most of the greenhouse crops are grown in the soil but in recent two decades, there has been a switch to hydroponic production systems. Hydroponic systems offer several benefits such as the control of root pathogens, superiority of physical and hydraulic characteristics of growing media, better control of nutrient availability, pollution prevention and higher water and nutrients use efficiency. Although high-tech greenhouses are capable of providing the optimal conditions for year-round production, they are the most expensive option in terms of capital, running costs and energy consumption. Vanthoor et al. (2012) reported that the most profitable infrastructure for a specific region is not necessarily the most expensive one; and growers' experiences show that in many cases high profits can also be achieved using intermediate-level greenhouses or low cost structures. However, as lack of technology and automation is shown to lead in higher demand for labour, labour costs also to be taken into account, too.

In many Greek (and Mediterranean) regions up to 85% of the total fresh water consumption can be attributed to agriculture. Many areas are facing severe problems with water shortage and/or poor quality of water resources. This situation will be further worsen since the expected climate change will worsen the situation as it will lead to hotter summers. Apart from water, EU agriculture uses massive amounts of expensive imported nutrients, notably Nitrogen (N) and Phosphorus (P). N and P nutrient production and use are associated with appreciable amounts of energy use, greenhouse gas emissions, and other environmental problems, like depletion of natural resources, eutrophication, acidification, etc (Munoz et al. 2008c). Advanced cultivation and management techniques and optimisation of external nutrient and irrigation water input are required to ensure that Mediterranean agriculture remains competitive and sustainable.

Sustainability assessment tools can provide support to on-farm decision making and hereby may have a significant impact on a sustainable development of farms. At international level, it is well recognized that an integrated sustainability assessment must be based on a life cycle approach that allows to deeply analyse the whole system or supply chain, thus avoiding burden shifting. Life Cycle Assessment (LCA) is the key tool to perform an environmental sustainability analysis of products and technologies (Guinée et al., 2004). It has already been widely applied to assess the environmental performance of agricultural systems, and when combined with social and economic indicators can ensure economic, environmental and social pillars of sustainability.

There are several valuable studies available in the literature which investigated the LCA in agricultural products (Tabatabaie and Murthy, 2016, Khoshnevisan et al. 2013, Longo et al. 2016). The environmental impacts of some protected crops (peppers, melons, tomatoes, cherry tomatoes) have also been analysed (Munoz et al. 2008a, Munoz et al. 2008b, Nemecek et al. 2008, Cellura et al. 2012). In the present paper, we built upon the results of previous EU projects rational irrigation strategies in greenhouse and using the LCA method through the SIMAPRO software we evaluate the environmental impact on close, semi-close and open greenhouse hydroponic systems.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Experimental greenhouse

The experiments were conducted in the greenhouse facilities of the University of Thessaly, in Velestino, Greece (39° 44' N, 22° 79' E). The geometrical characteristics of the greenhouse were as follows: eaves height of 2.4 m; ridge height of 4.1 m; total width of 8 m; total length of 20 m. The greenhouse was equipped with two side roll-up vents and flap roof vent. Heating was achieved by means of PVC pipes (Ø 0.2 m) located above ground, near plants' substrate. The tomato crop (*Lycopersicon esculentum* 'Formula') was transplanted in rockwool slabs placed in 6 independent closed-cycle hydroponic installations (experimental units). Three treatments differing in the management of the drainage solution (DS) were applied in duplicate in the six experimental units: (a) a standard open hydroponic system (O), the DS was constantly discharged throughout the experiment, (b) a semi-closed system (SC), the DS was recycled as long as the Na concentration of the nutrient solution was lower than 12.5 mM

2.2 Life Cycle Assessment

The methodology chosen to evaluate the environmental impact of the tomato production was LCA which has been effectively applied in agricultural and food systems over the last few years. The principles of LCA are described in the ISO standards 14040 and 14044 (ISO, 2006a,b), which define four phases: goal and scope definition, inventory analysis, impact assessment, and interpretation.

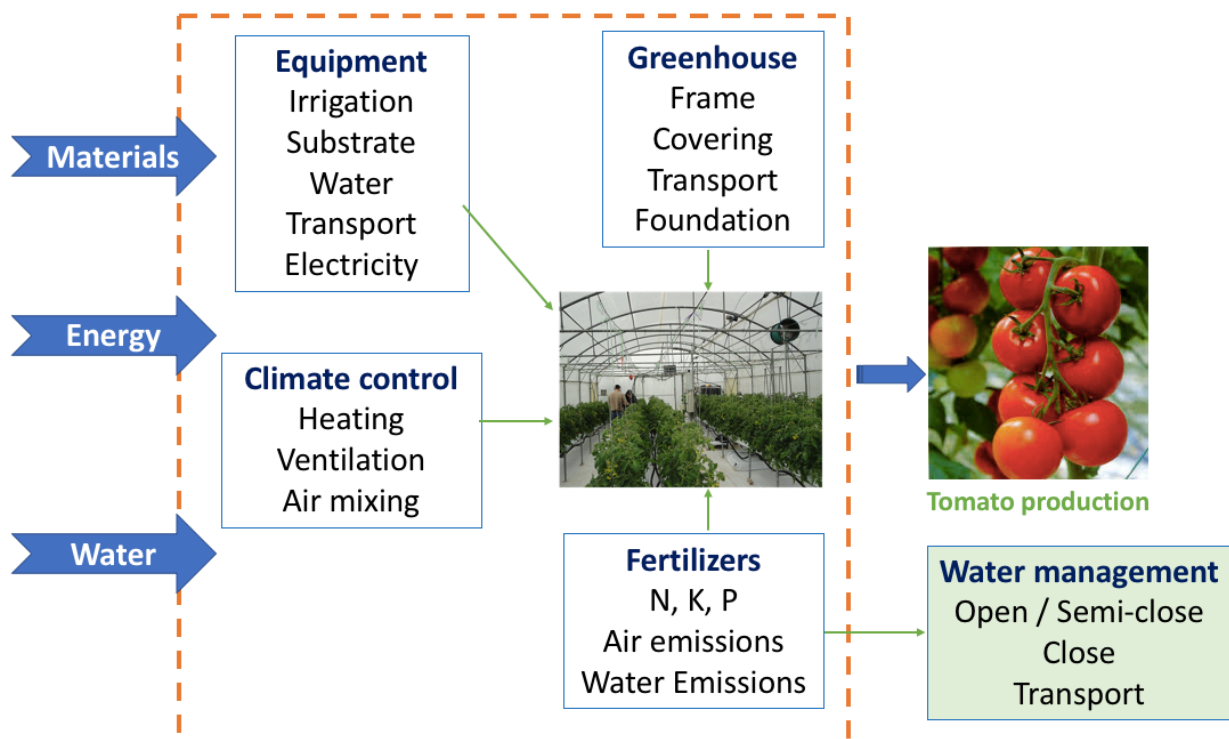


Fig. 1. Flow diagram, process contribution and system boundary

The basic elements of LCA are the following:

- a) The functional unit (FU) refers to the main function of the system analysed and is the reference unit for the inputs and outputs of the system analysed. Since the final function was the production of vegetables, the FU chosen for this study was the mass unit 1 kg of tomatoes. (An average yield production of 25 kg/m² is considered representative for the specific type of the greenhouse)
- b) The system boundary defines the unit processes included in the model production system. We defined the system boundary from raw materials extraction up to farm level, including material disposal. Thus, the processes considered for the environmental analysis included inputs and outputs in the manufacture of greenhouse components, transport of materials, materials disposal and greenhouse management (water, fertilizers, pesticides and electricity consumption). The flow diagram with the selected system boundary presented in Fig. 1.

The crop production system was structured in several stages/groups for the inventory analysis, each one including relating processes and flows, in order to facilitate the study and interpretation of the results: greenhouse structure, auxiliary equipment, climate control system, fertilizers, pesticides and waste management.

- Greenhouse structure included: The steel elements, frame reinforcements, gutters, axes, profiles, arches and ventilators. The trellis system to support the tomato crop was made of wire. The covering and floor mulching were made of low density polyethylene, the front and side walls of polycarbonate sheet and the insect proof screens of polyethylene. The foundations and main path were made of concrete
- Auxiliary equipment included: the irrigation system; drainage and rain water collecting installations; consumption of electricity by the watering system, and the substrate.
- Climate control system as in most Mediterranean greenhouses, there was no heating system and only natural ventilation was used to alleviate the heat stress
- Fertilizers, the total quantities of N, P and K were obtained from the different fertilizers applied to the crop.
- Pesticides, the total amount of active ingredient was considered for insecticides and fungicides
- Wastes management: several wastes material treatments were considered. Metal and polycarbonate wastes were 100 % recycled. Concrete and substrate were 50 % recycled and 50 % transported to landfill. Plastics were 90 % recycled and 10 % transported to landfill. Green biomass was treated at the compost plant, considering a 60 % loss of fresh weight at the time of transport. Only emissions due to transport to the landfill and composting plant, and emissions due to landfill disposal were included in the study.

The primary data for the agricultural operations, such as water consumption, fertilizers and pesticides doses and yield, were experimental greenhouse data. The secondary data were obtained from the Ecoinvent database like manufacture of greenhouse components, substrate, and pesticides; electricity production mix; and materials transports, and disposal. The LCAFoods database was used for fertilizer manufacture.

The indicators and impact categories selected for the environmental assessment were chosen because of their relevance in energy and agriculture processes and were: cumulative energy demand (MJ) as the energy flow indicator, and five midpoint impact categories, defined by the CML2001 method v.2.05 (Guinée et al. 2002):

- Abiotic depletion (kg Sb eq): This impact category is defined as depletion of future availability of natural resources. This impact category includes abiotic resources and energy. The category indicator is related to extraction of minerals and fossil fuels.
- Air acidification (kg SO₂ eq): Consists of acidifying substances deposition due to nitrogen and sulphur oxides to the atmosphere, soil and water. The acidity of the environment can change damaging flora and fauna in it. The major acidifying pollutants are SO₂, NO_x and NH₃.
- Eutrophication (kg PO₄-3eq): This category includes all impacts due to excessive levels of macro-nutrients, nitrogen and phosphorus in aquatic ecosystems, making an increase of biomass that can lead to anaerobic conditions and can make disappear any type of aerobic life in the end.
- Global warming (kg CO₂ eq): This refers to atmosphere and oceans global increase of temperature. Climate change is related to greenhouse gas emissions. Human activities produce and increase of these type of gases which is directly related with planet overwarming.
- Photo-chemical Oxidation (kg C₂H₄ eq): This is the formation of reactive gases (mainly ozone) when heat from the sun acts on antropogenic emissions. These gases are very harmful to humans, ecosystems and crops. This problem is also indicated with “summer smog”.
- Cumulative Energy Demand aims to investigate the energy use throughout the life cycle of a product. This includes the direct (extraction and transport of raw materials, manufacture, distribution, use and product waste treatment) as well as the indirect uses (production of electricity, fuels, machinery, transport, etc).
- Water use: Water is a precious resource. It is critical for ecosystem functions both as habitat and as resource) and equally essential for humans. Water abstracted for human purposes can have significant impacts on water systems.
- Transport by lorry or van were included for most elements delivered to the greenhouse, considering vehicle and road manufacture, maintenance and diesel consumption.

3. RESULTS.

In the open hydroponic system the main burdens in the product system were mainly caused from the climate control system, and fertilizers (nutrient solution), and secondly from auxiliary equipment and structure. The high values in climate control system is due to direct energy inputs for ventilation and heating system. The environmental impacts sourced from the use of nutrient solution/ fertiliser reached almost 60% in eutrophication impact category and almost 20% in acidification (Fig 2.). These impacts were mainly due to emissions during manufacture and to their application to the crop. The principal burden in the auxiliary equipment stage was water consumption, since the amount of electricity for the irrigation system was low, and the substrates were the same in all treatments. The inputs for steel, plastics, concrete and transport processes were evaluated in the assessment of the structure.

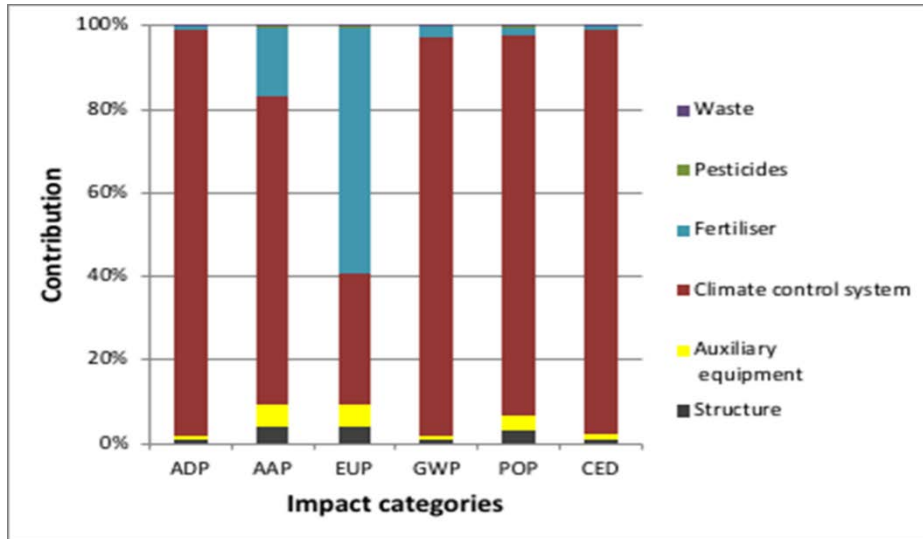


Fig. 2. Environmental impact assessment of an open hydroponic system

In the semi - closed hydroponic system also the climate control system accounted for the highest percentage of contribution in all the impact categories. However, the second most contributing group was the auxiliary equipment mainly due to electricity consumption for irrigation (higher amount compared to open system). However the high contribution that the auxiliary equipment has in eutrophication and acidification is due to the higher concentration of N and P in nutrient solution due to the close irrigation system. Thus, the amount of nutrients used were reduced and that resulted in decreased contribution of nutrient solution/ fertiliser to eutrophication and acidification impact categories to the overall environmental impact (Fig. 3).

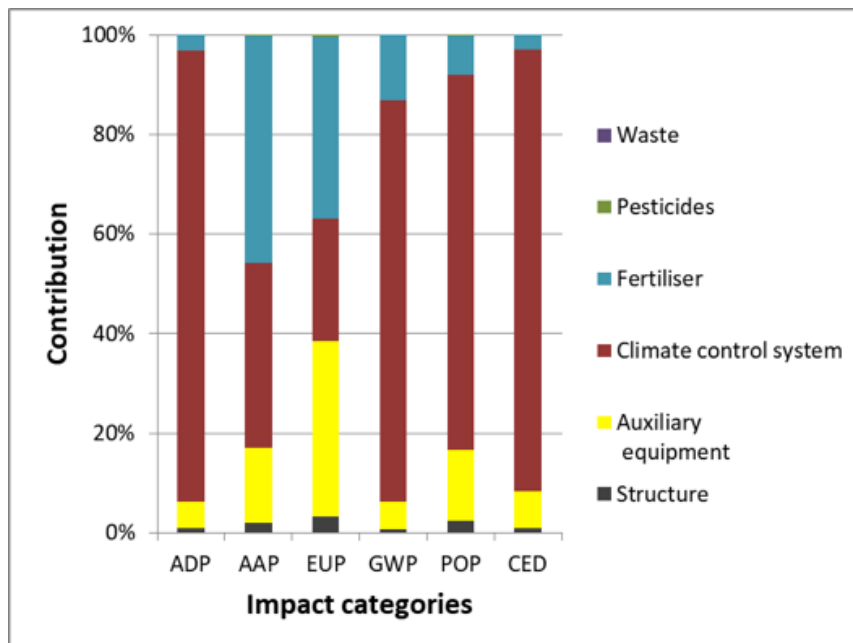


Fig. 3. Environmental impact assessment of a semi-close hydroponic system

In semi close hydroponic system the contribution of the groups of practices are very similar to close system with the difference attributed to water consumption and the eutrophication and acidification where higher amount of nutrients were used since after 3-4 circulations an amount of water in the irrigation system was discharged and also the nutrient solution was enriched again with the necessary nutrients

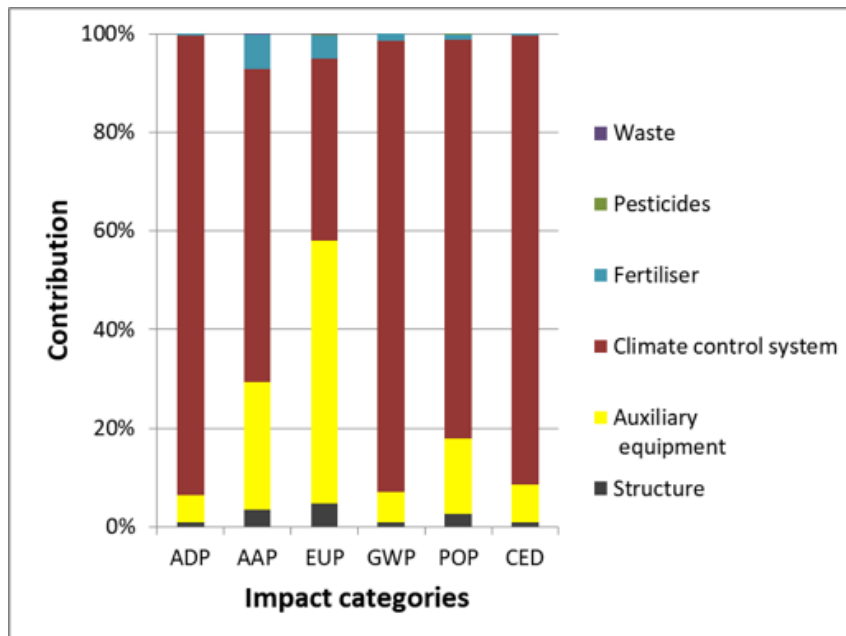


Fig. 4. Environmental impact assessment of a close hydroponic system

4. CONCLUSIONS

The use of close and semi-close irrigation systems can sustainably reduce the use of irrigation and fertilizers in greenhouse crop production systems and thus to reduce the overall environmental footprint of the production enable a more environmental crop production with lower emissions to the environment. The greenhouse crop production processes in total as well as the electricity production process were also proven to be important contributors to the total use of resources and emissions. Completion of LCA studies involving a number of different greenhouse producing systems (crops/structures/equipment), development of site and eventually country-specific emission factors for the processes at the greenhouse level and finally specifically designed LCA's for the greenhouse production processes, will be the main research interests in order to improve the quality of LCI results and therefore the estimation of the environmental performance of the greenhouse sector

Acknowledgments: This work was supported by the project "Research Synergy to address major challenges in the nexus: energy-environment-agricultural production (Food, Water, Materials)" - NEXUS, funded by the Greek Secretariat for Research and Technology (GSRT) – Pr. No. MIS 5002496

5. REFERENCES

- Guinee, J.B., 2004. Handbook on Life Cycle Assessment; Operational Guide to the ISO Standards. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands
- ISO, 2006a. ISO 14040 Environmental Management Life Cycle Assessment Principles and Framework.
- ISO, 2006b. ISO 14044 Environmental Management Life Cycle Assessment Requirements and Guidelines.
- Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Mousazadeh, H., 2013. Environmental impact assessment of open field and greenhouse strawberry production. *Eur. J. Agron.* 50, 9–37.
- Longo, S., Mistretta, M., Guarino, F., Cellura, M., 2016. Life cycle assessment of organic and conventional apple supply chains in the north of Italy. *J. Clean Prod.* 140 (2), 654–663.
- Muñoz, P., Antón, A., Paranjpe, A., Ariño, J., Montero, J., 2008a. High decrease in nitrate leaching by lower N input without reducing greenhouse tomato yield *Agron. Sustain. Dev.* 28 (4), 489.
- Munoz, P., Antón, A., Nuñez, M., Vijay, A., Ariño, J., Castells, X., Montero, J., Rieradevall, J., 2008b. Comparing the environmental impacts of greenhouse versus open-field tomato production in the Mediterranean region. In: ISHS. *Acta Horticulturae* (Ed.), International Conference on Sustainable Greenhouse Systems Greensys. 2007, p. 4e6. October (Naples, Italy).
- Nemecek, T., von Richthofen, J.S., Dubois, G., Casta, P., Charles, R., Pahl, H., 2008. Environmental impacts of introducing grain legumes into European crop rotations. *Eur. J. Agron.* 28, 380e393.
- Tabatabaie, S.M.H., Murthy, G.S., 2016. Cradle to farm gate life cycle assessment of strawberry production in the United States. *J. Clean Prod.* 127, 548–554.

A LIFE CYCLE ASSESSMENT OF BIOMASS PRODUCTION FROM ENERGY CROPS IN CROP ROTATION USING DIFFERENT TILLAGE SYSTEM

A.Vatsanidou¹ & T. Gemtos²

¹Center for Research and Technology-HELLAS (CERTH), Institute of Bio-Economy and Agrotechnology (IBO), Dimarchou Georgiadi 118, 38333, Volos, Greece

²Department of Agriculture Crop Production and Rural Environment, School of Agricultural Sciences, University of Thessaly, 38446, N. Ionia, Magnisia, Greece

ABSTRACT

Monoculture cropping system was the dominant cropping system in Thessaly for a long time. The new reform of EU CAP has decreased subsidies linked to specific crops, like cotton, and durum wheat. New cropping systems have been already introduced by CAP, where crop rotation is imposed under cross compliance standards. The recent EU Directive (Renewable Energy Directive, RED) introduced the use of energy from renewable sources, like biomass. Thus, the new cropping systems, using bioenergy crops had to be tested and proven under Greek conditions. The main objective of the present study was to compare the environmental profile of the different agricultural practices in a crop rotation system used for biomass production. The ultimate aim was to reveal and compare the environmental impacts of using different tillage practices for seedbed preparation (conventional and conservation tillage) in an innovative crop rotations system, combining winter and spring crops, in order to achieve a continuous over the years soil coverage of the field. Environmental impact assessment was performed using a multiple impact category LCA following the ISO standards for LCA 14040 and 14044.

Keywords: Biomass, Life Cycle Assessment, Tillage, Crop Rotation

1. INTRODUCTION

The last few decades the use of biomass for energy production (bioenergy), such as electricity, heat and transport fuels, was seen as a promising option to reduce the use of non-renewable energy sources and the emissions from fossil fuel carbon (C) to the atmosphere (EC, 2000). This perspective and the development by most EU governments of detailed bioenergy plans including alternative energy sources (EC, 2005), has resulted in an extensive research on raw material production, transformation to energy and environmental performance of biomass and energy crops. The potential environmental benefits of bioenergy derived from renewable biomass sources have been the subject of research the last years. Dedicated energy crops have the benefit of providing specific ecosystem services (e.g. C sequestration, biodiversity enhancement, GHG emissions mitigation, enhancement of soil quality), the value of which are depended on the particular bioenergy production system and the reference land use that it displaces (Cherubini et al, 2009).

Monoculture cropping system was the dominant cropping system in Thessaly for a long time. The new reform of EU CAP has decreased subsidies linked to specific crops, like cotton, and durum wheat. New cropping systems have been already introduced by CAP, where crop rotation is imposed

under cross compliance standards. The recent EU Directive (Renewable Energy Directive, RED) introduced the use of energy from renewable sources, like biomass. Thus, the new cropping systems, using bioenergy crops had to be tested and proven under Greek conditions.

In order to develop more sustainable farming systems, researchers and decision-makers need information about the strengths and weaknesses of different farming systems with respect to productivity and environmental impacts within the ecosystems' carrying capacity. Therefore, assessment tools are required to comprehend the environmental impact of different farming systems. Life Cycle Assessment (LCA) is used more and more to assess the ecological sustainability of goods, including food products, and is seen as a useful diagnostic tool for evaluating environmental impacts of food products and production systems (Roy et al., 2009). LCA is an accepted methodology for quantifying the energy consumption, material usage, and environmental impacts of processes over their entire life cycle—from “cradle-to-grave”. LCA is the most comprehensive method available and useful to avoid problem-shifting e.g., from one phase of the life cycle to another, because it analyses potential environmental impacts throughout a product's life cycle including the supply chain and downstream processes (ISO, 2006).

Many environmental research studies have focused on the environmental profile of specific crops (Ramesh et al., 2012), while a great number was concerned with the environmental impacts from different agricultural practices or different cropping systems (Abdollahi et al., 2015; Bacenetti et.al., 2015). Crop residue management and land use management changes, from monoculture (using conventional tillage and, in most cases, burning or removal of the residues) to a crop rotation using conservation tillage (reduced and no-till tillage) were also issues under consideration in the current study. The reference scenario of the monoculture conventional crop corresponded to the cotton cultivation. Planting winter cover crops can compensate for some disadvantages (i.e., soil organic carbon levels and soil erosion) occurring when removing crop residues in energy crops. Cover crops also permit crop residues to be harvested without adverse effects to the environment, like soil erosion. Thus, utilization of crop residues and winter cover crops can improve the eco-efficiency of the cropping systems (Kim and Dale, 2005).

The main objective of the present study was to compare the environmental profile of the different agricultural practices in a crop rotation system used for biomass production. The ultimate aim was to reveal and compare the environmental impacts of using different tillage practices for seedbed preparation (conventional and conservation tillage) in an innovative crop rotations system, combining winter and spring crops, in order to achieve a continuous over the years soil coverage of the field. The goal of the study was to perform a multiple impact category LCA following the ISO standards for LCA 14040 and 14044 as close as possible.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Tillage systems

The different tillage systems used (treatments) were:

- Conventional tillage (CT): Seedbed preparation for sunflower as spring crop using ploughing at 25-30 cm and two passes of a disk harrow at 7-9 cm. For winter crop, one ploughing at 25-30 cm, two passes of a disk harrow at 7-9 cm and two passes of a light cultivator at 6-8 cm for seedbed preparation.

- Reduced tillage I (RT I): Seedbed preparation using a heavy cultivator at a depth of 20-25 cm and one pass of a disk harrow or a light cultivator for each crop.
- Reduced tillage II (RT II). Seedbed preparation before planting sunflower using strip tillage. A strip tillage machine developed in the laboratory of Farm Mechanisation was used for spring crops. Primary and secondary tillage carried out by a disk harrow at 6-8 cm for the winter crops. A total of three passes, two passes for weed destruction and initial soil disturbance and one for seedbed preparation before planting the crop.
- Reduced tillage III (RT III) with one pass of a rotary cultivator at 10-15 cm for primary tillage, and a second pass with disk harrow for the spring crop and one pass of rotary cultivator for winter crop.
- No-tillage (NT). Direct planting using a no till pneumatic drilling machine for winter crops and a pneumatic drilling machine for spring row crops.

2.2 Functional Unit

In the present study the FU was defined as the 1 kg dry matter of biomass production at farm gate. This means that the LCA study is a cradle- to - gate study, which means that includes all the processes until the biomass is harvested at the farm. So, the answer to the question “what” is the recently harvested dry matter of biomass at field. The time period (the “how long”) depend on the needs of the biofuel production market. The “how well”, meaning the quality of biomass produced in the field is determined from chemical analysis, and more specific from carbon and ash content of biomass. The latter is a fundamental characteristic of biomass, since the high ash content can lead to problems in combustion, gasification and pyrolysis during the conversion of biomass to biofuels

2.3 Functional Unit

The study under analysis was a Cradle to Gate study, meaning an assessment of a partial life cycle of a product, from the extraction of raw materials (cradle) up to the production of the product, at the farm, “gate”. In the current study the phase of the “gate” was the biomass production in the field, including the whole above ground plant part of the plant in its entirety. Thus, all emissions and resource uses during biomass production and the supply chains of all inputs are included (e.g. fertiliser production from raw materials and fertiliser application equipment, production, maintenance, etc.). It is pointed out, that the CO₂ uptake of the plants is included, but reported separately, because the carbon is released as CO₂ when the biomass is used for generating energy, which nullifies this positive effect. The CO₂ captured in the soil, due to land use change was also included and reported separately. Seed, fertiliser and herbicide production are also included and the agricultural practices of soil seedbed preparation, sowing, irrigation, harvesting, baling, loading bales and, finally, transporting the biomass at the field temporary storage area. In the case of capital goods (or ancillaries), the production, use and maintenance phase of the machinery are being analysed, as well as the farming infrastructure (e.g. buildings, irrigation infrastructure, etc.) its production, use and maintenance. The environmental impacts of field operations by human labour were not considered, as well as the transportation of human labour to the field. All the processes included to the cradle-to gate analysis are presented in figure 1. As for the time boundaries, the study considered the complete lifetime of whole year field cultivation.

2.4 Inventory Analysis

The data used to make the inventory were collected from one year of a three year crop rotation. Crop rotation used energy crops with double crops per year, one rain fed and one irrigated, in order to keep the soil covered all year round and simulate the conditions that will be created when second generation biofuels will be adopted.

Three categories of data were used in this study: the foreground data, the background data and the semi-specific data, as was also presented in the pear case study. The attributional modelling approach will also be used here for compiling the inventory of the system under study. The foreground data concerned the primary data from the energy crop cultivation and were obtained via questionnaire based interview during the growing seasons 2012 and 2013. These foreground data, included amounts of all the crop production input/inflows categories- fertilisers, pesticides, machinery, irrigation, fuel consumption and transportation of agro-chemicals from the production site to the store and from the store to the farm. These data is highly detailed data when different production inputs within an input category is used, e.g. N ammonium nitrate and N in urea for N fertilisers.

The background data concerned all the information about the inputs production stage from raw material including the machinery and infrastructure production and all the operations under specific conditions. These data were taken from the Ecoinvent database, cut-off (also called recycled content) system model version 3.1 (Ecoinvent, 2014).

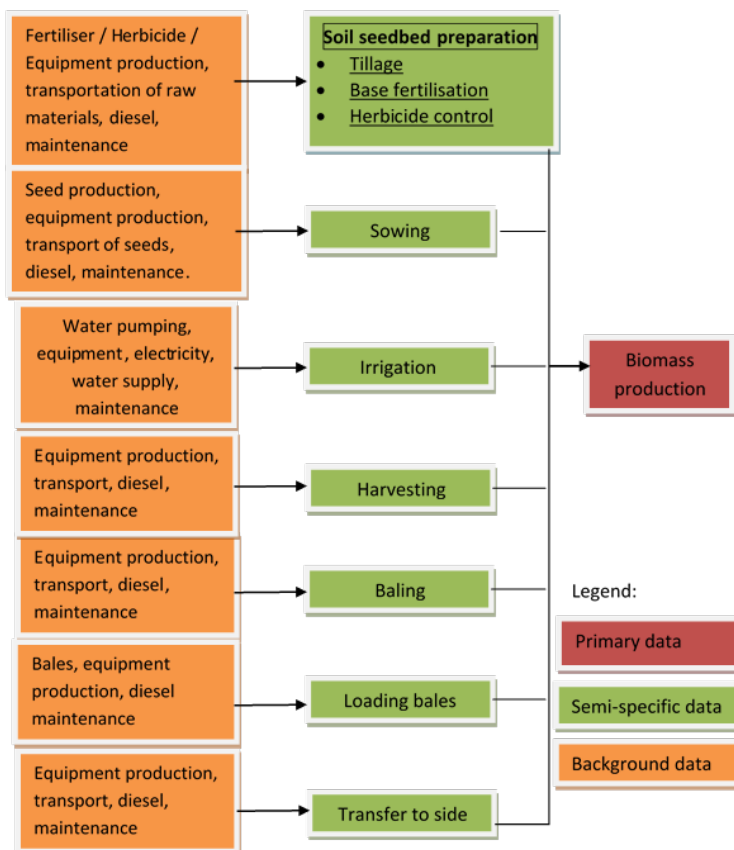


Fig. 1. The processes included to the system boundaries for the biomass production

The semi-specific data concerned data coming from the ecoinvent background database adapted for the conditions of the present study. In the farm machinery input category, as the Table 5-2 shows, the processes from the Ecoinvent data like, “Tillage, ploughing”, “Tillage rotary and spring harrowing”, “Tillage chiselling and rotary cultivator”, “Sowing”, “fertilising by broadcaster”, “Baling” and “Transfer to side” were adapted to the data of the study, mainly for fuel consumption. All the other characteristics of the machines, like tractor, agricultural implement, shed production and maintenance etc. remained the same as in the background data.

For the fertilisers and herbicides application the background data were used, where different amounts of inputs within the inputs categories were distinguished, e.g. for N fertilisers we used N from urea, ammonium sulphate and ammonium nitrate, while for pesticides the pesticides’ unspecified production and active ingredient compounds were used. Also for the seed production the background data were used. The irrigation process was adapted from the ecoinvent data base ‘Spanish irrigation market’ process, using the Greek conditions for irrigation and as source, a ground well for pumping water. Energy use for pumping included electricity-powered pumps, which were modelled with country-specific datasets using the country’s electricity consumption mix and from diesel-powered pumps, were used generic data (diesel market ‘Europe, without Swiss’). Regarding transportation from the place of production to the point of sale, global freight process from the background ecoinvent database was used. The pesticides assumed that have been produced in European countries and came to retail points by lorry. Likewise, the fertilisers assumed either they have been produced in EU or the raw materials were extracted in European countries and came to Greece by lorry. Transport passenger car was used as semi-specific process for the transportation of the fertilisers and pesticides from the agri-store to the field.

For land transformation, which is a change from one land use type to another as a result of a human activity, we used the area of 1 ha, the area required to produce the biomass of crops of the present study. For land occupation (occupied area multiplied by time) the resource flow occupation, “occupation arable” was chosen to represent the cultivation of energy crops. It should be noticed that the two cultivations, spring crop and winter crop, occupied six and a half and five and a half months respectively, completing a whole year of cultivation.

The quantitative data of product output in the present study were defined as the kg dry matter of biomass produced in one ha and one year of cultivation. In the analysed cropping system, the biomass and the seeds are collected together, so the agricultural harvesting work includes the collection of the whole above-ground plant mass

3. RESULTS.

The ReCiPe 2008 method was chosen to perform the impact assessment of the results. This choice, as already has been mentioned in the previous chapter, was based on the fact that impact categories at the midpoint have a stand-alone value in a midpoint-oriented LCA method, which is also usable as an intermediate step in an endpoint-oriented method. As mentioned before ReCiPe method was combined with the method of Pfister et al. (2010) with title “Water use impacts on resources method” for midpoint and endpoint level of the hierarchist (H) perspective. Thus, the results of the LCA of energy crops production using the adapted Recipe method (Goedkoop et al.,

2013) are presented below. Also the results of the midpoint and endpoint Impact 2002+ method are presented. In the current study, the obligatory step of the characterization phase was only completed, without proceeding to the other optional steps of the LCA.

The results of the Impact Assessment using the ReCiPe endpoint method combined with the Pfister et al. (2010) method for scarcity in water are presented in figure 2 for all the treatments of the study. In the endpoint level the impact categories are aggregated into three endpoint categories:

- damage to human health (HH)
- damage to ecosystem diversity (ED)
- damage to resource availability (RA)

The figure 2 shows that the RT II (Disk harrow/strip tillage) treatment of the energy crop study had better performance compared to other treatments in the three areas of protection (AoPs), meaning that it was the least harmful treatment, according to the adapted ReCiPe endpoint method.

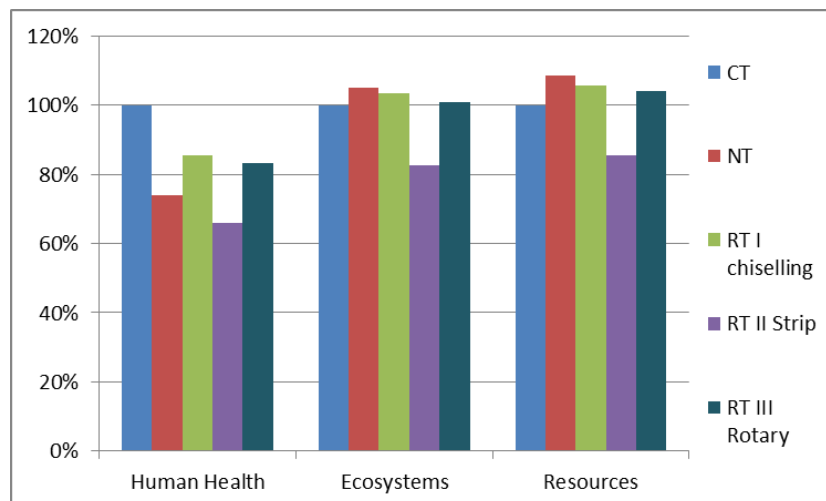


Fig 2. Results of Impact Assessment applied on energy crops study at the endpoint level using FU 1 kg of dry biomass

In all the impact categories the analysis showed that strip tillage treatment had lower percentages in the environmental impacts compared to the other tillage treatments of the study. Also the variations of most impact categories of the other experimental treatments are due to the yield variations among the treatments.

The environmental profile of each treatment of the energy crop study is presented in Figures 3 to 7 for all the tillage treatments. Each graph depicts the contribution (in percentages) of each process group, like fertiliser production, field operations, etc., to the most important impact categories for the study. All the emissions of substances to air, water and soil from the biomass production phase in the different tillage treatments are represented by CT, RTI, RTII, RTIII and NT biomass group. The biomass production phase was almost exclusively responsible for the emissions in the Agricultural land occupation category and CO₂ from land transformation. These results are due to land use for

specific period, during growth cultivation and to the C sequestration in soil from land management change of use, respectively. Also biomass production group covers a part of Fossil CO₂ category with similar percentages (23-25%) for all the tillage treatments, and a part of Particulate matter formation ranged from 25-29% also for all the tillage treatments.

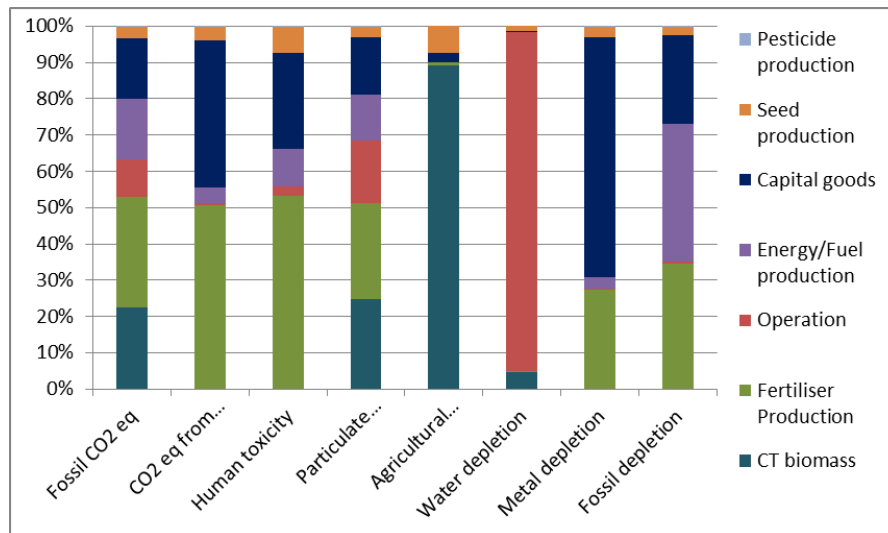


Fig. 3. Processes contribution to the most significant impact categories for Conventional tillage treatment

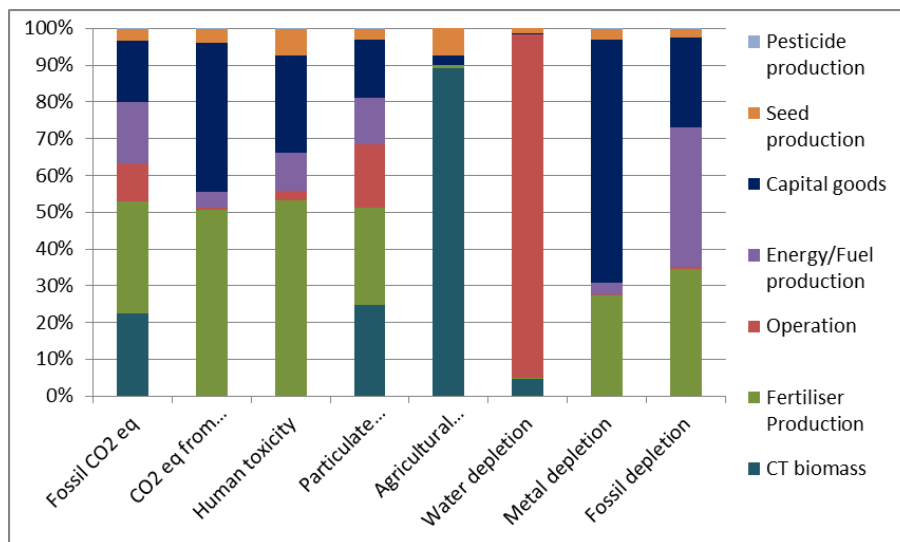


Fig. 4. Processes contribution to the most significant impact categories for Reduced Tillage I (chiselling) treatment

The biomass production phase had no contribution to Human toxicity, meaning that production phase is not responsible for emissions included in this impact category.

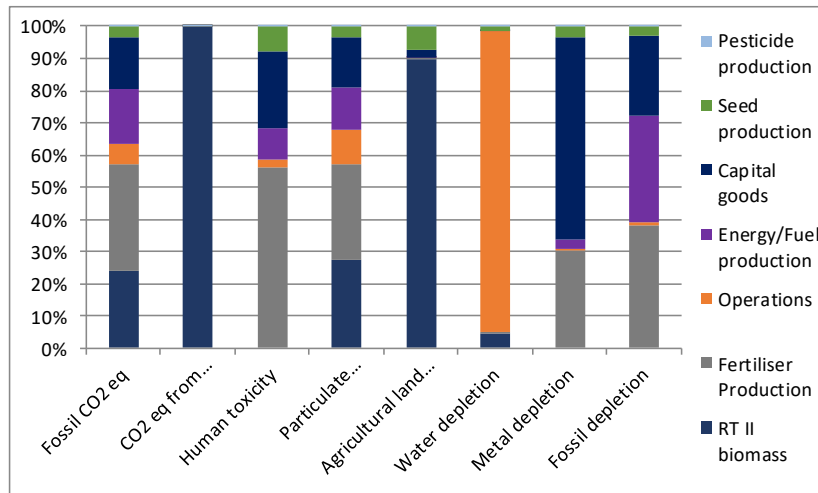


Fig. 5. Processes contribution to the most significant impact categories for Reduced Tillage II S (disk harrow/strip) treatment

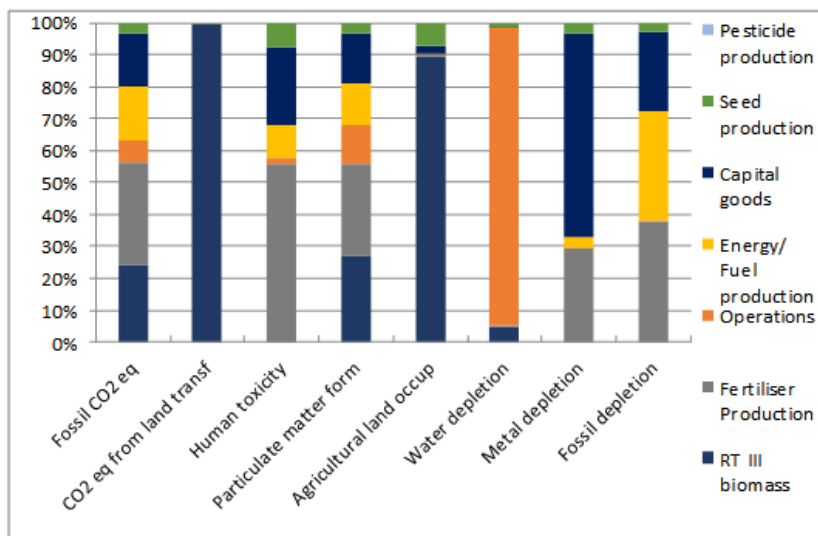


Fig. 6. Processes contribution to the most significant impact categories for Reduced Tillage III (Rotary) treatment

The diesel consumption in tractor uses, gasoline consumption in transportation and electricity use in irrigation are represented from the Operation in the graphs. As it is depicted mainly in Water Depletion impact category and consequently in Particulate matter formation and Fossil CO₂, the operations showed significant contribution, with CT tillage treatment having the higher amounts in Particulate matter formation and Fossil CO₂ (17% and 10% respectively), while the lower was recorded in No-tillage treatment (7% and 4%). The agricultural machinery production and maintenance of all the equipment and machinery used are included in the Capital goods group and had an important contribution percentage in the majority of the impact categories in all the treatments.

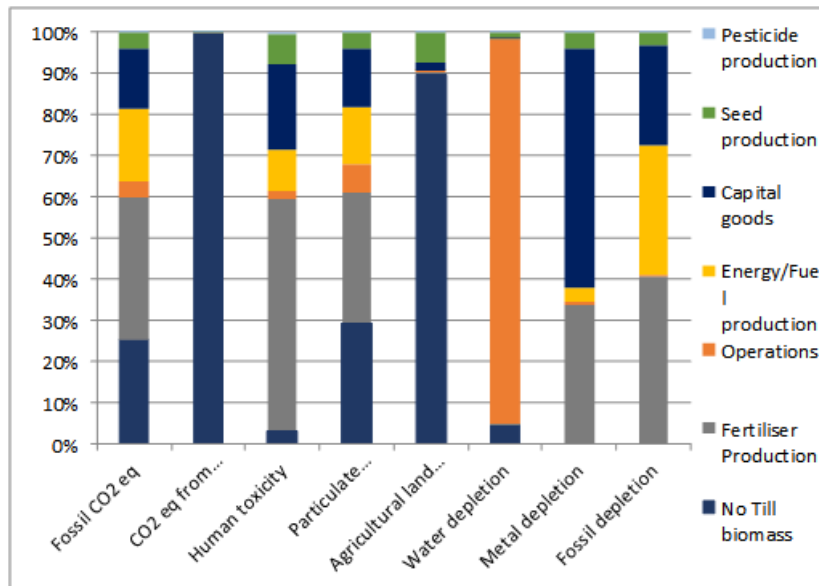


Fig. 7. Processes contribution to the most significant impact categories for No-tillage treatment

4. CONCLUSIONS

The objective of the second study was to compare the environmental profile of the different agricultural practices in a crop rotation system used for biomass production. The Life Cycle Impact Assessment (LCIA) in the characterisation phase presented the results of the analysis using primary data of one year (including two successive crops; spring and winter crop). The main conclusions emerged from this LCA study is summed up below:

- When the cropping system was analysed concerning inputs and outputs the fertilisation was the main driver for environmental impacts followed by fuel consumption during the biomass production for all the treatments
- When the different tillage practices were compared, RT II S treatment presented the best environmental performance compared to all the other tillage treatments in all the most important impact categories
- When the mass based FU was used (1 kg DM), the monoculture single cotton crop had higher environmental impact than the energy crops.
- When the area based FU was used (1 ha) No tillage treatment had the best environmental performance in relation to the total CO₂ emissions, between the two cropping systems, but also presented better environmental performance among the tillage treatments of the energy crop study in the most impact categories

Acknowledgments: This work was supported by the project "Research Synergy to address major challenges in the nexus: energy-environment-agricultural production (Food, Water, Materials)" - NEXUS, funded by the Greek Secretariat for Research and Technology (GSRT) – Pr. No. MIS 5002496

5. REFERENCES

- Abdollahi, L., Hansen, E.M., Rickson, R.J, and Munkholm L.J, 2015. Overall assessment of soil quality on humid sandy loams: Effects of location, rotation and tillage. *Soil & Tillage Res.*, 145, 29-36.
- Bacenetti, J., Fusi, A., Negri, M., Fiala, M., 2015. Impact of cropping system and soil tillage on environmental performance of cereal silage productions. *Journal of Cleaner Production*, 86, 49-59.
- Ecoinvent, 2014. Ecoinvent data v3.1., life cycle inventory database; [https://v31.ecoquery,ecoinvent.org/](https://v31.ecoquery.ecoinvent.org/)
- European Commission, 2005. Biomass action plan. COM(2005) 628, Brussels.
- European Commission, Towards a European strategy for the security of energy supply. Green Paper. COM (2000)769, Luxemburg, 2000.
- Cherubini F., Neil D. Birda, D.N, Cowie, A., Jungmeier,G., Schlamadinger,B., SusanneWoess-Gallasch, S., 2009. Energy- and greenhouse gas-based LCA of biofuel and bioenergy systems: Key issues, ranges and recommendations. *Resources, Conservation and Recycling* 53, 434–447.
- ISO, 2006. ISO 14040:2006 Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework. Geneva, Switzerland.
- Kim S, and Dale, B.E., 2005. Life cycle assessment of various cropping systems utilized for producing biofuels: bioethanol and biodiesel. *Biomass Bioenergy*, 29,426–39.
- Ramesh, V., Venkateswarlu, B., Sharma, K. L. and Wani, S. P., 2012. Soil carbon dioxide emissions from sorghum–sunflower rotation in rain fed semi-arid tropical alfisols: effects of fertilization rate and legume biomass incorporation. *Communications Soil Sci. Plant Analysis*, 43 (14), 1915-1929, DOI: 10.1080/00103624.2012.689399

ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΑΝΘΡΑΚΑ ΤΟΥ ΑΙΓΟΠΡΟΒΕΙΟΥ ΓΑΛΑΚΤΟΣ ΓΙΑ ΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΦΕΤΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Β. Ανέστης^{1,2,✉}, Α. Βατσανίδου², Θ. Μπαρτζάνας^{3,2} & Κ. Κίττας¹

¹Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα ΓΦΠΑΠ, Οδός Φυτόκου, 38446, Βόλος

²Εθνικό Κέντρο Έρευνας & Τεχνολογικής Ανάπτυξης (ΕΚΕΤΑ), Ινστιτούτο Βιο-οικονομίας & Αγρο-τεχνολογίας (ΙΒΟ), Δημ. Γεωργιάδου 118, 38333, Βόλος

³Γεωπονικό Παν/μιο Αθηνών, Τμήμα ΑΦΠ-ΓΜ, Ιερά Οδός 75, 11855, Αθήνα,

✉vanestis@agr.uth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή εφαρμόστηκε μεθοδολογία περιβαλλοντικής Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (ELCA) για την αποτίμηση του αποτυπώματος άνθρακα 4 συστημάτων αιγοπροβατοτροφίας τα οποία τροφοδότησαν με γάλα την ίδια γαλακτοβιομηχανία, με κύρια γραμμή παραγωγής τη Φέτα ΠΟΠ. Η λειτουργική μονάδα ορίστηκε ως 1 kg διορθωμένου γάλακτος (ως προς την περιεκτικότητα λίπους και πρωτεΐνης). Το δυναμικό παγκόσμιας υπερθέρμανσης (GWP₁₀₀) ήταν ο σχετικός δείκτης, αποτιμήθηκε με τη μέθοδο IPCC 2013 v. 1.03 και ξεχωριστά για την άμεση αλλαγή χρήσης γης (GWP_{100, dLUC}). Για τη μοντελοποίηση ELCA, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό SimaPro v. 8.5.2 PhD. Ως αποτέλεσμα της ανάλυσης, προσδιορίστηκαν τα σημεία εστίασης για το GWP των 4 αλυσίδων τροφοδοσίας και συζητήθηκαν οι βασικοί παράγοντες διαφοροποίησής του στις αλυσίδες αυτές.

Λέξεις κλειδιά: Περιβαλλοντική ΑΚΖ, Αποτύπωμα άνθρακα, Αιγοπρόβειο γάλα, Φέτα ΠΟΠ

CARBON FOOTPRINT OF THE SHEEP & GOAT MILK USED FOR INDUSTRIAL FETA CHEESE PRODUCTION IN GREECE

V. Anestis^{1,2,✉}, A. Vatsanidou², T. Bartzanas^{3,2} & C. Kittas¹

¹University of Thessaly, Department of ACPRE, Fytokou Str., 38446, Volos

²Centre for Research & Technology Hellas (CERTH), Institute for Bio-economy & Agri-Technology (IBO), Dimarchou Georgiadou 118, 38333, Volos

³Agricultural University of Athens, Department NRM & Ag.Eng., Iera Odos

75,11855,Athens, ✉vanestis@agr.uth.gr

ABSTRACT

In this work, an attributional, ‘cradle-to-farm-gate’ ELCA was applied for the estimation of the carbon footprint (CF) of 4 sheep and goat farming systems in Greece which supplied with raw milk the same dairy industry, whose major production line was Feta cheese PDO. The functional unit (FU) was defined equal to 1 kg of Fat and Protein Corrected Milk (FPCM). The IPCC 2013 v. 1.03 method was used for the CF estimation with Global Warming Potential (GWP₁₀₀) being the relevant indicator and separately presented for direct land use change (GWP_{100, dLUC}). SimaPro v.8.5.2 PhD software was used for the LCA modeling. As a result of this analysis, the GWP hotspots of the 4 supply chains were identified and the most important factors for the differentiation between the GWP estimates were discussed.

Keywords: Environmental LCA, Carbon footprint, Sheep and goat milk, Feta cheese PDO

1. INTRODUCTION

Farming of small ruminants is of special economic, social and environmental importance for Mediterranean countries (Zygoiannis, 2006). In the year 2017, Greece was the country with the highest and the fourth highest annual produced quantity of dairy products from raw sheep milk and raw goat milk collection in the EU, respectively (Eurostat, 2019). Around 90% of the raw sheep milk delivered to dairies in Greece is used for highly-valued cheese products, with Feta cheese (Protected Designation of Origin label, PDO) being the most important commercially (Gelasakis et al., 2012).

Due to its size, sheep and goat farming in Greece contributes around 32% of the total Greenhouse Gas (GHG) emissions (considering only CH₄ emissions from the dairy farm) from the Primary Sector in the country (UNFCCC, 2017). Improvement of the environmental performance of Greek sheep and goat farming could be decisive for the improvement of its competitiveness, especially if the importance of production systems' eco-sustainability and climate change mitigation in the European agenda is considered (Vagnoni et al., 2015). Estimation of the environmental impact of sheep and goat milk production processes in Greece and taking action for its reduction are therefore of paramount importance. To this purpose, an environmental Life Cycle Assessment (ELCA) approach can be employed. ELCA due to its analytical power for assessing environmental impacts holistically (at supply chain level) has been widely used for estimating the environmental performance of dairy products (Notarnicola et al., 2017). Considering that the primary production stage (agricultural and livestock production processes) has been suggested as the most relevant for the environmental performance of the supply chain of dairy products from ewe's milk (e.g. Vagnoni et al., 2017), use of the ELCA method focusing on the dairy sheep and goat farm would be very important as a first step for the environmental sustainability of Feta cheese production. Few research studies on ELCA of sheep and goat milk production have been carried out for Mediterranean countries (e.g. Gutiérrez-Peña et al., 2019; Vagnoni et al., 2015; Vagnoni and Franca, 2018). Moreover, Anestis et al. (2016) was the only ELCA research found to be published for Greek sheep and goat dairy production systems to date.

The aim of this paper was to apply a partial ELCA method in order to estimate the carbon footprint (CF) of selected sheep and goat farming systems in Greece which supplied with raw milk the same dairy industry whose major production line was Feta cheese PDO. Moreover, hotspots in the studied supply chains for this environmental impact category are identified and differences between the CFs of the various systems are discussed.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Description of dairy farming systems

Data was collected from four dairy sheep and goat farms from the network of the same dairy industry (DELTA FOODS SA), for the year 2016. Two of them were sheep farms (DSF1; DSF2), one was goat farm (DGF) and the last one reared both sheep and goats (DMF) and were located in three different Regions of Greece. The produced quantity of the ewe and doe milk from these farms was exclusively supplied to the dairy industry and Feta PDO cheese was its major product. The farms' selection was accomplished according to the dairy industry's recommendations and considering that they belonged to the group of farms with the highest annual raw milk delivery (>25tn) and the availability and capability of farmers to provide the requested data. Table 1 presents

important characteristics of the dairy farm systems and Table 2 their material and energy inputs and manure management systems.

Table 1. Characteristics of the dairy sheep and goat farms (year 2016)

Characteristics	DSF1	DSF2	DGF	DMF	
				Sheep	Goats
Land					
Pastures (ha)	7.0	0.0	10.0	26.5	
Arable land (ha)	0.0	0.0	19.0 ¹	20.5 ³	
Grazing land (ha)	7.0	0.0	15.0 ²	35.0 ⁴	
Duration of grazing (days)	240.0	0.0	240.0	240.0	
Livestock / products					
Mature females (heads)	460.0	230.0	350.0	455.0	96.0
Mature females sold (kg/year)	0.0	0.0	660.0	3300.0	450.0
Surplus female lambs sold (kg/year)	1482.0	1495.9	606.0	1754.5	283.4
Mature males (heads)	14.0	9.0	20.0	12.0	4.0
Mature males sold (kg/year)	121.4	216.0	0.0	187.9	82.7
Surplus male lambs sold (kg/year)	3031.6	2693.3	1222.7	3399.3	671.6
Raw milk sold (kg FPCM/year)	83184.6	78756.9	29380.7	60978.2	14440.2
Raw fiber (kg/year)	300.0	156.2	43.0	600.0	13.0

¹ 2.5ha for maize; 11ha for wheat; 4ha for barley; 1.5ha for clover

² Mature goats grazed the crop residues of clover, barley and wheat cultivations (land size of 5ha) as well as the pasture land (10ha)

³ 5ha for maize; 7ha for barley; 4ha for wheatgrass; 4.5ha for clover

⁴ Mature sheep and goats grazed the crop residues of wheatgrass and clover (8.5ha) as well as the pasture land (26.5ha)

2.2 ELCA methodology

In this study, the attributional, partial ELCA is consistent with LEAP guidelines for small ruminants (FAO, 2016a), which were developed in accordance with ISO standards for LCA. The functional unit (FU) was defined equal to 1 kg of Fat and Protein Corrected Milk (FPCM) (IDF, 2015) as suggested by Pulina et al. (2005) with the raw milk (RM) yield corrected at 6.5% fat (FC) and 5.8% protein contents (PC):

$$\text{FPCM (kg)} = \text{RM (kg)} \times [0.25 + 0.085 \times \text{FC (\%)} + 0.035 \times \text{PC (\%)}] \quad (1)$$

Table 2. Material and energy inputs and manure management systems of the dairy farms.

Characteristics	DSF1	DSF2	DGF	DMF	
				Sheep	Goats
Farm material and energy inputs					
Concentrate feed produced on-farm / purchased (t)	0.0 / 102.9	0.0 / 102.5	47.0 / 18.1	90.0 / 53.6 (S), 11.6 (G)	
Roughage produced on-farm / purchased (t)	0.0 / 137.1	0.0 / 149.8	21.0 / 48.2	32.3 / 132.7 (S), 25.4 (G)	
Mineral fertilizers (N) / (P ₂ O ₅) (kg/year)	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	640.0 / 210.0	0.0 / 0.0	
Pesticides (l/year)	0.0	0.0	1150.0	0.0	
Diesel purchased (kg)	1500.0	0.0	2435.5	1623.7	
Electricity consumption (kWh/year)	18696.4	8000.0	9348.2	15580.4	
Management of manure excreted during housing					
	Deep litter; solid storage; 100% of manure applied to grazing area	Deep litter; 100% of manure supplied to neighboring farms	Solid storage; 100% of manure applied to the farm's arable land	Deep litter; 100% of manure applied to the farm's arable land	

S: Sheep, G: Goats

The system boundaries were ‘cradle to farm gate’, including the processes associated with the supply chains of market inputs (i.e. production of feed and bedding materials, mineral fertilizers and pesticides for feed crop cultivation, fuels, water and electricity – *background system*) to the dairy farms as well as the on-farm processes (i.e. in-house rations’ supply and grazing of the different sheep and goat cohorts, feed crop cultivation, shearing and milking, sheep and goat manure management – *foreground system*), resulting in the production of raw milk, animal live-weight and raw fiber. All transport processes in the supply chains of market inputs to the dairy farms were included. Supply of cleaning products, veterinary medicines and refrigerants for on-farm raw milk cooling were excluded. Dairy farm buildings and machinery were also excluded. Soil carbon sequestration in the natural grasslands and meadows grazed as well as by the feed crops was not taken into consideration due to related primary data unavailability. The *background system* was further divided to the following sub-systems: a) concentrates, b) roughages, c) agrochemicals, d) fuel and e) electricity.

GHG emissions were estimated both during housing (enteric fermentation, on-farm manure management (OFMM) and grazing (enteric fermentation and excreta deposition on pasture) of sheep and goats. Emissions of CH₄ from sheep and goat enteric fermentation and from manure, as well as direct and indirect N₂O emissions from manure were estimated by using the respective IPCC Tier 2 methodologies (FAO, 2016a; IPCC, 2006a, 2006b). Direct and indirect N₂O emissions were also estimated for the case of N fertilizer application to the land for feed crop cultivation as well as for the feed crop residues on an annual basis (Tier 1 methods, IPCC, 2006b). GHGs from diesel combustion in agricultural machinery were estimated considering the annual diesel purchase, according to the Tier 1 method of Winther et al. (2017).

Cereal grains, roughages and compound feeds were all domestically produced. Industrial feed material (co-) products and inputs to the feed industry were all modeled as market mixes consisting of both local produce and imports. Official data from FAOSTAT for Greece was employed to define the country’s market mixes. Ecoinvent v.3.4, Agri-footprint v.4.0 and Agribalyse v. 1.3. datasets as available in the SimaPro v. 8.5.2 PhD software (Pré, 2017) were used as a basis both for modeling the production of the feed materials from producers at short distances from the dairy farms and developing the market mix datasets. Local transport processes by truck were modelled by using the respective Agri-footprint v.4.0 datasets. Modeling of the fertilizers and pesticides’ inputs to DGF was also based on Ecoinvent v.3.4 datasets.

A biophysical approach which used the dietary energy requirements’ model for sheep and goats of the IPCC (2006a) was used for allocating the environmental burden to the various co-products of the dairy farms (i.e. raw milk, animal live-weight and raw wool), as suggested in FAO (2016a). An economic allocation approach was generally used for the background processes of feed production as recommended in FAO (2016b).

The IPCC 2013 v. 1.03 method as available in Pre (2017) was utilized for the estimation of the CF. The Global Warming Potential over a time horizon of 100 years (GWP₁₀₀) was the relevant indicator and it was separately presented for direct land use change (GWP_{100, dLUC}). Raw milk supply chain modeling for the studied farms as well as the assessment of their CF and hot spots were also performed by using Pre (2017).

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Carbon footprint

In Table 3, the estimates for the two CF indicators (i.e. GWP_{100} and $GWP_{100, \Delta LUC}$) are presented. The range of the results for the systems studied was 2.68-4.02 and 0.09-0.50 kg CO₂-eq/kg FPCM for the GWP_{100} and $GWP_{100, \Delta LUC}$, respectively. Direct land use change was found to contribute less to the total Climate Change (CC) potential of the system (max. 11.9% in DSF2), in all cases. From the sheep producing farming systems, DSF2 was connected with the highest GWP estimates while small differences were found for the total CC potential between DSF1 and DMF_sheep. On the other hand, the GWP estimates of the DGF were the highest from the goat producing systems investigated. Moreover, from the systems exclusively producing sheep and goats, DGF was associated with the highest GWP_{100} while DSF2 with the highest total CC potential. In the DMF system, production of doe milk was also found to be connected with higher GWP estimates than the production of ewe milk.

Table 3. The CF estimates (kg CO₂-eq/kg FPCM) of the dairy farms' supply chains

CF indicator	Dairy Farm Supply Chains				
	DSF1	DSF2	DGF	DMF_sheep	DMF_goats
GWP_{100}	2.68	3.70	4.02	2.89	3.44
$GWP_{100, \Delta LUC}$	0.21	0.50	0.14	0.09	0.12
Total CC	2.89	4.20	4.16	2.98	3.56

CC: Climate Change

In order to explain the aforementioned findings, the contribution of the various sub-systems to the total GWP_{100} estimates was calculated and shown (Figure 1). The contribution of the dairy farm, feed (concentrates and roughages) and bedding materials' supply to the total GWP_{100} was more than 93% in all the studied supply chains apart from the DGF (77.7%). In the latter supply chain, there was also a significant contribution of agrochemicals' supply (15.4%).

For all the studied systems, the dairy farm was found to be the largest contributor to the total GWP_{100} (from 47.11% in DSF1 to 68.56% in DMF_goats). The contribution of the dairy farm sub-system was increased in the farming systems with own-production (i.e. DGF and DMF) of cereal grains (and straws) and clover in comparison to the DSF1 (no own-production of feed). The fact that the dairy farm in DGF showed a lower contribution than in DSF2 and DMF can be explained by the increased contribution of agrochemicals' supply in this supply chain. Furthermore, the dairy farming sub-system in DSF2 was associated with the largest GWP_{100} estimate (2.36 kg CO₂-eq/kg FPCM) in comparison to the rest of the sheep producing supply chains and DSF1 with the lowest (1.26 kg CO₂-eq/kg FPCM). The dairy farming sub-systems in DGF and DMF_goats were found with similar GWP_{100} estimates (2.41 and 2.36 kg CO₂-eq/kg FPCM) and were potentially larger than the respective estimates in the sheep producing supply chains.

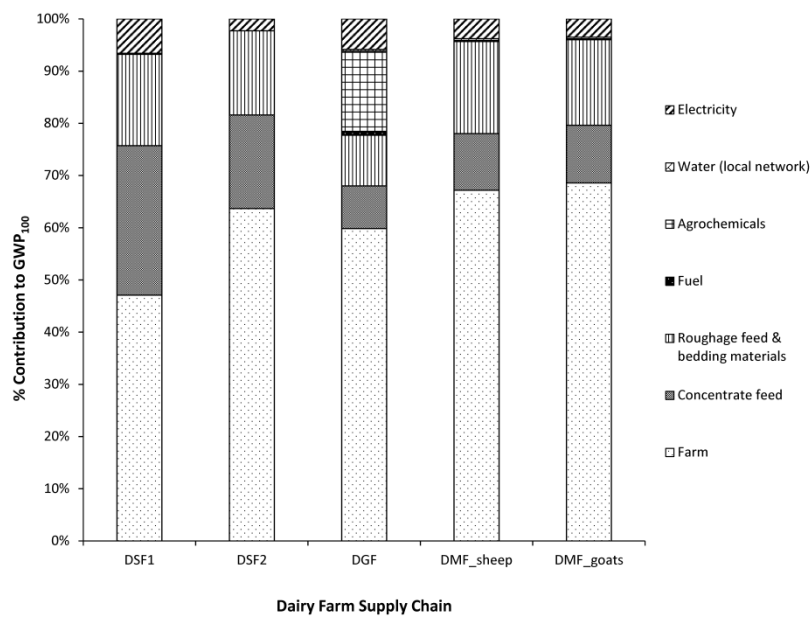


Figure 1. Contribution of the sub-systems to the total GWP₁₀₀ estimates.

As expected, the contribution of concentrate feed supply in DSF1 and DSF2 (non-feed producing farms) was larger than in DGF and DMF (feed producing farms). The GWP₁₀₀ for concentrate feed supply was more than double in the DSF1 (0.77 kg CO₂-eq/kg FPCM) and DSF2 (0.66 kg CO₂-eq/kg FPCM) supply chains than in the DMF_sheep. Small differences were found in the GWP₁₀₀ for concentrate feed supply between the DGF (0.33 kg CO₂-eq/kg FPCM) and the DMF_goats (0.38 kg CO₂-eq/kg FPCM).

In addition, the contribution of roughage feed and bedding materials' supply was found similar in all systems except for DGF, again mostly due to the increased contribution of agrochemicals in this system. Small differences were observed between the GWP₁₀₀ estimates for roughage feed and bedding materials' supply of the DSF1 (0.47 kg CO₂-eq/kg FPCM) and DMF_sheep (0.51 kg CO₂-eq/kg FPCM) systems while the estimate for DSF2 was larger (0.60 kg CO₂-eq/kg FPCM). The GWP₁₀₀ of the roughage feed and bedding materials' supply was 31% larger in the DMF_goats than in the DGF (0.56 vs. 0.39 kg CO₂-eq/kg FPCM).

Diesel and water from local network seemed to be less important contributors to the total GWP₁₀₀ and possibly less responsible for its differences between the studied supply chains.

Furthermore, in all the studied supply chains, the concentrate feed supply sub-system was responsible for more than 98% of the total GWP_{100, dLUC} estimate.

3.2 Carbon footprint hot spots

The hot spots of the supply chains are defined as the processes emitting GHGs and whose sum of contributions to the total CF indicator is 80% or more (European Commission, 2018). The identified on-farm and off-farm most contributing processes (grouped) for the GWP₁₀₀ indicator are summarized in Figure 2.

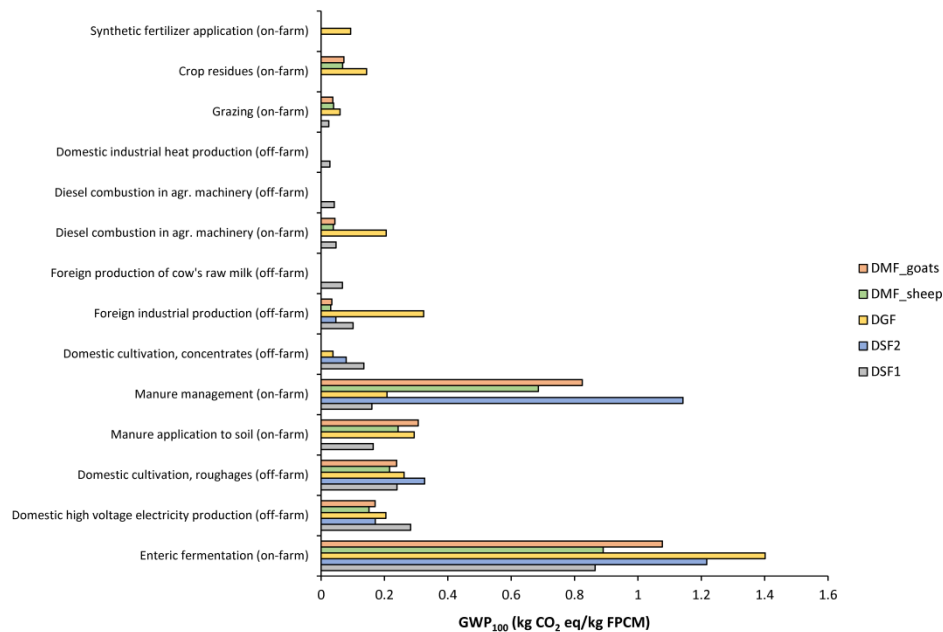


Figure 2. The GWP_{100} hot spots (y-axis) and their estimates (x-axis).

CH_4 emission from animals' enteric fermentation was found as the most important contributor to the total GWP_{100} in all systems. Furthermore, Figure 2 illustrates that the management of the manure excreted at house (due to both direct and indirect N_2O emissions and CH_4 emission), the manure application to the farm's croplands (and grazing lands) (due to direct and indirect N_2O emissions), the domestic cultivation of crops for roughage feed and bedding material supply (mostly due to N_2O emissions from all sources of N input to soil) and the domestic high voltage electricity production processes (mostly due to CO_2 emissions from lignite combustion) seem to be the rest of the processes of high importance for the majority of the systems studied. The largest electricity consumers were found to be the dairy farm, the drying of domestically produced cereal grains and the irrigation in the domestic cultivation of cereals. It should be noticed that manure application to soil was considered out of the system boundaries for DSF2. Moreover, the supply of synthetic fertilizers and pesticides in DGF caused an increased contribution of foreign industrial production processes (e.g. CO_2 emissions due to liquid ammonia and N_2O emissions due to nitric acid solution production). Finally, the domestic cultivation of crops for concentrate feed supply (mostly due to N_2O emissions from all sources of N input to soil) is a hot spot for DSF1, DSF2 and DGF but not for DMF with the contribution being decreased for DGF. This could be explained from the on-farm feed crop production taking place in DGF and DMF.

Regarding $GWP_{100, \Delta LUC}$, three processes could be characterized as hot spots for all the supply chains: a) the clear-cutting of primary forest for annual cropland tenure in Brazil, b) the clear-cutting of secondary forest for annual cropland tenure in Argentina and c) the foreign cultivation of soybean as modelled for the rest of the world (i.e. for all countries except for Argentina, Brazil, Canada-Quebec, Switzerland and United States according to Ecoinvent v. 3.4 database (Pré, 2017)). These were all associated to CO_2 emission and to the soybean cultivation upstream to the soybean meal supply to the domestic Feed Industry.

3.3 Differentiation in the CF estimates

Ewe milk production. Figure 2 shows that the GWP_{100} estimates with the largest potential differences between the ewe milk producing systems were connected to the management system of the manure excreted during housing (OFMM), with DSF2 receiving larger values than DSF1 (7-fold difference) and DMF_sheep (66.5% difference) and DMF_sheep larger values than DSF1 (4-fold difference). Moreover, the GWP_{100} estimate due to sheep enteric fermentation in DSF2 was 40.7% and 36.7% larger than DSF1 and DMF_sheep, respectively. Thus, OFMM and sheep enteric fermentation seem to be the major factors determining the degree of differentiation between the total GWP_{100} estimates of the ewe milk producing supply chains. More specifically, the difference in CH_4 emission from the OFMM mostly determined this differentiation between DSF1, DSF2 and DMF_sheep, with the larger methane conversion factor for the deep bedding systems in DSF2 and DMF_sheep (due to the farms' average annual temperature conditions and the period that the litter is stored within the house (IPCC, 2006a)) comprising the main reason for this difference. Between DSF1, DSF2 and DMF_sheep, the larger annual Gross Energy Intake per adult ewe due to their ration supply in DSF2 seems to be the basic reason explaining the larger GWP_{100} estimate due to sheep enteric fermentation in this system.

Doe milk production. Although there are differences worthy of noticing between the GWP_{100} of goats' enteric fermentation, the OFMM and the diesel combustion of on-farm agricultural operations for the DGF and DMF_goats supply chains (Figure 2), a counteraction seems to take place resulting in a similar GWP_{100} for the dairy farm sub-system. This leaves the agrochemicals' supply (for the on-farm feed crop cultivation processes) in the dairy farm of the DGF system the main responsible factor for its larger total GWP_{100} estimate in comparison to the DMF_goats system.

Ewe vs. doe milk production. For the DMF system, Figure 2 shows that the differences in the GWP_{100} of animals' enteric fermentation and OFMM were mainly responsible for the higher total GWP_{100} in the DMF_goats than in DMF_sheep. The higher CH_4 and N_2O emissions of the DMF_goats associated to these processes per kg FPCM can be basically attributed to the larger allocation factor of the environmental burden which is connected to the sold FPCM in the DMF_goats system. In addition, for the systems exclusively producing either ewe or doe milk, the higher total GWP_{100} of DGF in comparison to the DSF1 was associated with higher GWP_{100} due to: a) CH_4 from enteric fermentation, b) N_2O from manure application to soil and c) CO_2 emission from diesel consumption in the farm's agricultural machinery. The aforementioned hold as a result of the lower annual CH_4 and N_2O emissions and the lower annual quantity of the FPCM sold in the DGF. On the other hand, the annual quantity of the diesel combusted was higher in the DGF. The supply of fertilizers and pesticides for feed crop production in the DGF was another important factor to this differentiation. Moreover, the similarity in the GWP_{100} of the dairy farm sub-systems of DSF2 and DGF came as a consequence of the counteraction of the differences in the GWP_{100} of all on-farm hot spots (larger in DGF) with the difference in the GWP_{100} of manure handling (larger in DSF2). This leaves the supply of agrochemicals as the major responsible factor for the larger total GWP_{100} in the DGF supply chain.

Direct land use change. The differences in the total $GWP_{100, dLUC}$ estimates of the studied supply chains clearly reflect the degree of dependence of sheep and goat diets on soybean meal with DSF2 being the most dependent and followed by DSF1.

4. CONCLUSIONS

The results suggested that the milk delivered by the most intensive sheep farm (i.e. DSF2) was associated with the highest CF indicators' estimates from the sheep rearing systems while DGF with the highest from the goat rearing systems. Direct LUC was found to contribute less to the total CC potential in all the supply chains and its contribution was mainly dependent on the existence of soybean meal in the sheep and goats' diets. In all the studied systems, the ruminants' enteric fermentation process was the most important contributor to the total GWP₁₀₀. Emissions of CH₄ from the OFMM and sheep enteric fermentation were the major factors for the differentiation between the total GWP₁₀₀ estimates of the ewe milk supply chains. The supply of agrochemicals (for the on-farm feed crop cultivation processes) in the DGF system was the main responsible factor for the respective differentiation between the doe milk supply chains as well as between the supply chains with the highest CC potential (i.e. DGF, DSF2).

ACKNOWLEDGEMENTS

This paper was completed in the framework of the Interreg Mediterranean PEFMED project: 'Uptake of the Product Environmental Footprint across the MED agrofood regional productive systems to enhance innovation and market value'. The authors would like to thank Dr. Fotini Salta (Hellenic Food Industries Federation – SEVT) for her valuable contribution throughout this project, Isidora Milona (DELTA FOODS SA) for her help with regards to the farms' selection and data collection and the farmers for their time and interest in providing primary data for the completion of this work.

REFERENCES

- Anestis, V., Bartzanas, T., Papanastasiou, D.K., Kittas, C., 2016. *Carbon Footprint and Energy Use Calculator for Greek Intensive Sheep and Goat Production Processes, International Conference on Agricultural Engineering (CIGR - AgEng), Aarhus, Denmark.*
- European Commission, 2018. *PEFCR Guidance document - Guidance for the development of Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCRs), version 6.3, May 2018.*
- Eurostat, 2019. *Milk Collection (all milks) and dairy products obtained – annual data [WWW Document]*https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=apro_mk_pobta&lang=en (accessed 5.30.19).
- FAO, 2016a. *Greenhouse gas emissions and fossil energy use from small ruminant supply chains: Guidelines for assessment.* Livestock Environmental Assessment and Performance Partnership. Rome, Italy.
- FAO, 2016b. *Environmental performance of animal feeds supply chains: Guidelines for assessment. (Version 1).* Livestock Environmental Assessment and Performance Partnership. Rome, Italy.
- Gelasakis, A.I., Valergakis, G.E., Arsenos, G., Banos, G., 2012. *Description and typology of intensive Chios dairy sheep farms in Greece.* J. Dairy Sci. 95, 3070–3079. doi:10.3168/jds.2011-4975
- Gutiérrez-Peña, R., Mena, Y., Batalla, I., Mancilla-Leytón, J.M., 2019. *Carbon footprint of dairy*

- goat production systems: A comparison of three contrasting grazing levels in the Sierra de Grazalema Natural Park (Southern Spain). *J. Environ. Manage.* 232, 993–998. doi:10.1016/J.JENVMAN.2018.12.005
- IDF, 2015. *A Common Carbon Footprint Approach for Dairy. The IDF Guide to Standard Life Cycle Assessment Methodology for the Dairy Sector*. Bulletin of the International Dairy Federation 479/2015, Brussels.
- IPCC, 2006a. *Chapter 10: Emissions from Livestock and Manure Management*. In: Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K. (Eds.), 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Vol. 4 Agriculture, Forestry & Other Land Use. IGES, Japan, p. 89.
- IPCC, 2006b. *Chapter 11: N₂O Emissions from Managed Soils, and CO₂ Emissions from Lime and Urea Application*. In: Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K. (Eds.), 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Vol.4 Agriculture, Forestry and Other Land Use. IGES, Japan, p. 54.
- Notarnicola, B., Sala, S., Anton, A., McLaren, S.J., Saouter, E., Sonesson, U., 2017. *The role of life cycle assessment in supporting sustainable agri-food systems: A review of the challenges*. *J. Clean. Prod.* 140, Part, 399–409. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.071
- Pré, 2017. *SimaPro* [WWW Document]. <https://simapro.com>
- Pulina, G., Macciotta, N., Nudda, A., 2005. *Milk composition and feeding in the Italian dairy sheep*. *Ital. J. Anim. Sci.* 4, 5–14.
- UNFCCC, 2017. *National Inventory Submissions 2016 - NIR of Greece* [WWW Document]. http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/9492.php
- Vagnoni, E., Franca, A., 2018. *Transition among different production systems in a Sardinian dairy sheep farm: Environmental implications*. *Small Rumin. Res.* 159, 62–68. doi:10.1016/J.SMALLRUMRES.2017.12.002
- Vagnoni, E., Franca, A., Breedveld, L., Porqueddu, C., Ferrara, R., Duce, P., 2015. *Environmental performances of Sardinian dairy sheep production systems at different input levels*. *Sci. Total Environ.* 502, 354–361. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.09.020
- Vagnoni, E., Franca, A., Porqueddu, C., Duce, P., 2017. *Environmental profile of Sardinian sheep milk cheese supply chain: A comparison between two contrasting dairy systems*. *J. Clean. Prod.* 165, 1078–1089. doi:10.1016/J.JCLEPRO.2017.07.115
- Winther, M., Dore, C., Lambrecht, U., Norris, J., Samaras, Z., Zierock, K.-H., 2017. *1.A.4 Non road mobile machinery 2016*. In: EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2016. Technical Guidance to Prepare National Emission Inventories. European Environment Agency, Luxembourg: Publications Office of the European Union, p. 82.
- Zygoyiannis, D., 2006. *Sheep production in the world and in Greece*. *Small Rumin. Res.* 62, 143–147.

ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΛΛΑΔΟΣ

11^ο ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

ΒΟΛΟΣ, 2019

