

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών

**Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών Διαχείριση και
Προστασία Περιβάλλοντος**

Μεταπτυχιακή Διατριβή



**Υπολογισμός Αποτυπώματος Άνθρακα Κύριων
Μεσογειακών Καλλιεργειών και Προτάσεις Μέτρων
Μείωσής του**

Χριστίνα Πανάγαινα

**Επιβλέπουσα Καθηγήτρια
Δρ. Μαρία Ντούλα**

ΜΑΪΟΣ, 2022

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών

**Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών Διαχείριση και
Προστασία Περιβάλλοντος**

Μεταπτυχιακή Διατριβή

**Υπολογισμός Αποτυπώματος Άνθρακα Κύριων
Μεσογειακών Καλλιεργειών και Προτάσεις Μέτρων
Μείωσής του**

Χριστίνα Πανάγαινα

**Επιβλέπουσα Καθηγήτρια
Δρ. Μαρία Ντούλα**

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή υποβλήθηκε προς μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων για απόκτηση μεταπτυχιακού τίτλου σπουδών στη Διαχείριση και Προστασία Περιβάλλοντος από τη Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών του Ανοικτού Πανεπιστημίου Κύπρου.

ΜΑΪΟΣ, 2022

Περίληψη

Η κλιματική αλλαγή που συντελείται στον πλανήτη Γη προκαλείται σε μεγάλο βαθμό από την ανθρώπινη δραστηριότητα, η οποία είναι εξαιρετικά επιβλαβής για την φύση, αλλά ακόμα και για τον ίδιο τον άνθρωπο. Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από ανθρωπογενείς δραστηριότητες έχουν μεγάλη ευθύνη για το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής. Παρά τις συνθήκες που υπογράφηκαν κατά καιρούς από διεθνείς οργανισμούς, το φαινόμενο αυτό δεν περιορίστηκε επαρκώς. Όπως προβλέπεται από μοντέλα και μελέτες, και ο γεωργικός τομέας θα υποστεί σημαντικότερες και μεγάλες πιέσεις εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής.

Το αποτύπωμα του άνθρακα που δημιουργούν τα βλαβερά αέρια του θερμοκηπίου είναι ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που παρουσιάζονται τα τελευταία χρόνια. Γι' αυτό το αποτύπωμα άνθρακα στον αγροτικό τομέα εκτιμάται ότι θα αυξηθεί υπολογίζοντας τα μέσα που θα χρησιμοποιηθούν για τις γεωργικές εργασίες και την απόδοση των καλλιεργειών.

Η παρούσα μελέτη αναλύει τη σχέση που έχει η βιολογική και η συμβατική γεωργία με το αποτύπωμα του άνθρακα, στον ευρύτερο μεσογειακό χώρο, και προσπαθεί μέσω διαφόρων ερευνητικών ερωτημάτων που τίθενται να απαντήσει στις πολύπλοκες ερωτήσεις της επιστήμης. Επιπρόσθετα με την έρευνα, με την χρήση ερωτηματολογίων έχουν εξαχθεί αποτελέσματα τα οποία αποτυπώνουν τις συνθήκες που επικρατούν.

Τέλος, προτείνονται μέτρων μείωσης του αποτυπώματος άνθρακα των κύριων μεσογειακών καλλιεργειών.

Λέξεις κλειδιά: κλιματική αλλαγή, αποτύπωμα άνθρακα, εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, ισοδύναμο διοξειδίου του άνθρακα, βιολογική γεωργία, συμβατική γεωργία

Summary

The climate change that takes place on planet Earth is caused by the human activity, which is extremely harmful for nature, but even for the human himself. The greenhouse gases emissions from human activities are responsible for the climate change. Despite the treaties that have been signed during the past years from international organizations, this phenomenon wasn't limited sufficiently.

The carbon footprint which is caused by the harmful greenhouse gases is one of the most serious problems which we face the last years. That's why the carbon footprint in agriculture is estimated that will increase considering the means that will be used for the agricultural tasks and the yield.

This study analyses the relationship between organic and conventional agriculture with the carbon footprint in the Mediterranean area and tries through various questions to answer to complex scientific questions. Additionally, with the use of questionnaires have been exported results which imprint the current situation.

Finally, some measures are suggested in order to reduce the carbon footprint of the main Mediterranean crops.

Keywords: climate change, carbon footprint, greenhouse gases emissions, carbon dioxide equivalent, organic agriculture, conventional agriculture

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ θερμά την καθηγήτρια μου Δρα Μαρία Ντούλα , που ήταν η υπεύθυνη της διατριβής μου, για την πολύτιμη βοήθεια, τις συμβουλές και την καθοδήγηση που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω και όλους τους καθηγητές μου για τις πολύτιμες γνώσεις που μου μετέδωσαν στα γνωστικά αντικείμενα που παρακολούθησα.

Σε όλους τους παραγωγούς που συμμετείχαν στην έρευνά μου θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου, καθώς χωρίς αυτούς και τα στοιχεία που μου παραχώρησαν δεν θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ σε όλα τα μέλη της οικογένειάς μου και ειδικότερα τους γονείς μου, Στέλιο και Κάρμεν, για την υποστήριξη που μου παρείχαν, ψυχολογική και οικονομική, σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Για την μικρή μας Στέλλα

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	3
Summary	4
Ευχαριστίες.....	5
Περιεχόμενα.....	6
Ακρωνύμια	7
Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή	8
1.1Κλιματική αλλαγή	8
1.2 Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου.....	9
1.3 Γεωργία και κλιματική αλλαγή.....	11
Κεφάλαιο 2 - Αποτύπωμα άνθρακα.....	14
2.1 Ορισμός & Μέθοδοι υπολογισμού του αποτυπώματος άνθρακα.....	14
2.2 Αποτύπωμα άνθρακα στον αγροτικό τομέα	15
2.3 Η βιολογική και η συμβατική γεωργία σε σχέση με το αποτύπωμα άνθρακα	17
2.4 Αποτύπωμα άνθρακα ορισμένων καλλιεργειών.....	21
2.4.1 Ηλίανθος (<i>Helianthus</i> sp.)	21
2.4.2 Τομάτα (<i>Lycopersicon esculentum</i>).....	22
2.4.3 Αραβόσιτος (<i>Zea mays</i>)	22
Κεφάλαιο 3 - Μεθοδολογία	23
3.1 Σκοπός, Στόχοι και Ερωτήματα της Έρευνας	23
3.2 Μεθοδολογία προσέγγισης της Έρευνας.....	24
3.3.2ΕκπομπέςCO ₂ απότα καλλιεργούμενα εδάφη.....	32
3.3.3. Εκπομπές CH ₄ από τη γεωργία.....	33
3.3.4. Εκπομπές από καύσιμα και χρήση ηλεκτρικής ενέργειας.....	34
Κεφάλαιο 4 - Αποτελέσματα.....	36
Κεφάλαιο 5- Συμπεράσματα.....	52
Βιβλιογραφία.....	57
Παράρτημα	64

Ακρωνύμια

ΕΕ: Ευρωπαϊκή Ένωση

ΕΛΣΤΑΤ: Ελληνική Στατιστική Αρχή

ΕΥΔΑΠ: Εταιρεία Ύδρευσης και Αποχέτευσης Πρωτεύουσας

ΗΠΑ: Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής

ΚΑΠ: Κοινή Αγροτική Πολιτική

ΟΗΕ: Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών

FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations

GHG: Greenhouse gases

HFC: Hydrofluorocarbon

IEA: International Energy Agency

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

PFC: Perfluorocarbon

UNFCCC: United Nations Framework Convention on Climate Change

USEPA: United States Environmental Protection Agency

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Κλιματική αλλαγή

Η αλλαγή του κλίματος είναι μια από τις μεγαλύτερες απειλές για την ανθρωπότητα, το περιβάλλον και την οικονομία. Κατά τα τελευταία 150 χρόνια, η μέση θερμοκρασία του πλανήτη έχει αυξηθεί κατά σχεδόν 0,8°C και κατά σχεδόν 1°C στην Ευρώπη, ενώ υπολογίζεται ότι εάν δεν αναληφθεί δράση σε παγκόσμιο επίπεδο για τον περιορισμό των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (GHG), η παγκόσμια θερμοκρασία μπορεί να αυξηθεί περαιτέρω κατά 1,8°C έως 4,0°C έως το 2100. Τα πρόσφατα στοιχεία δείχνουν ταχεία αλλαγή, η οποία θα επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό, και σε ορισμένες περιπτώσεις ανεπανόρθωτα, όχι μόνο τους ανθρώπους, αλλά και τα οικοσυστήματα (Shove, 2010). Είναι χαρακτηριστικό ότι η θερμοκρασία της επιφάνειας της γης αυξάνεται με ρυθμό περίπου 0,2°C ανά δεκαετία τα τελευταία 30 χρόνια (Mohaajan, 2011).

Η σύμβαση-πλαίσιο για την κλιματική αλλαγή (UNFCCC) μεταξύ χωρών μελών των Ηνωμένων Εθνών, έχει στόχο να περιοριστεί η παγκόσμια μέση αύξηση της θερμοκρασίας σε σχέση με την προβιομηχανική εποχή σε λιγότερο από 2°C. Οι παγκόσμιες εκπομπές θα πρέπει μέχρι το 2050 να μειωθούν κατά 50% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990. Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) στηρίζει τον στόχο της σύμβασης UNFCCC και επιδιώκει, μέχρι το 2050, να έχει μηδενίσει τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου από όλους τους παραγωγικούς τομείς της.

Η γεωργία, σύμφωνα με την έκθεση του Ελληνικού Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας του 2018, συνεισφέρει στις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου της χώρας κατά 8,5%, τρίτος στη σειρά τομέας μετά την Ενέργεια και τη Βιομηχανία. Κι ενώ τα τελευταία χρόνια καταγράφεται μείωση των εκπομπών από τον γεωργικό τομέα της Ελλάδας, εν τούτοις περαιτέρω μείωση με εφαρμογή καλών πρακτικών και εισαγωγή αρχών βιοοικονομίας είναι εφικτή. Εάν οι εκπομπές

αερίων θερμοκηπίου δεν ελεγχθούν, τότε οι κάτοικοι των περισσότερων χωρών θα υποφέρουν από έλλειψη πόσιμου νερού, έλλειψη τροφίμων αλλά και από ασθένειες που σχετίζονται με τις αλλαγές στη θερμοκρασία (Mohajan 2015b).

1.2 Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου

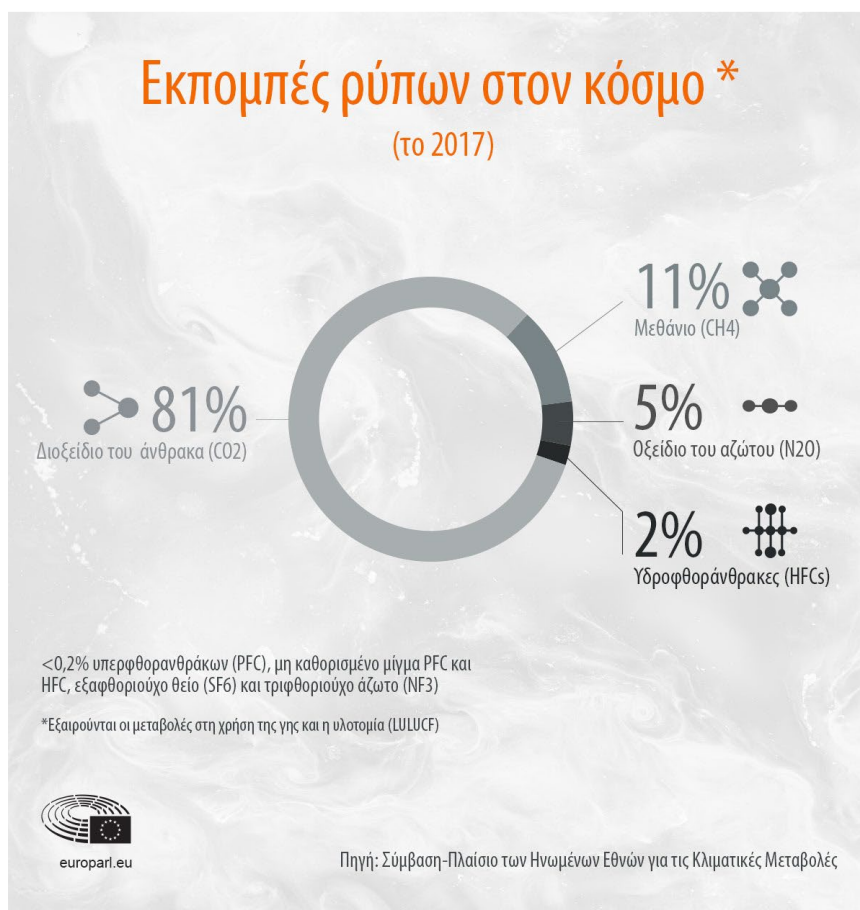
Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και των υπολοίπων αερίων θερμοκηπίου (CH₄, N₂O, CFCs-HCFCs, HFCs, κα.) ευθύνονται σε μεγάλο βαθμό για την υπερθέρμανση του πλανήτη. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι η συγκέντρωση αερίων θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα το 1750 ήταν 280 ppm σε ισοδύναμο CO₂, ενώ σήμερα υπολογίζονται σε 450 ppm, με επιτρεπτό όριο τα 350 ppm (Stern 2007; Mohajan 2015b).

Παρά το γεγονός ότι το Πρωτόκολλο του Κιότο συμφωνήθηκε το 1997, πολλές ανεπτυγμένες και ορισμένες αναπτυσσόμενες χώρες δεν το εφαρμόζουν. Επιπρόσθετα, τον Δεκέμβριο του 2011 στο Ντέρμπαν της Νότιας Αφρικής, δεν υπήρξε συμφωνία μείωσης των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου μεταξύ των εθνών του ΟΗΕ σύμφωνα με το Πρωτόκολλο του Κιότο και έτσι το Πρωτόκολλο παρατάθηκε έως και το 2015 (Mohajan, 2015α).

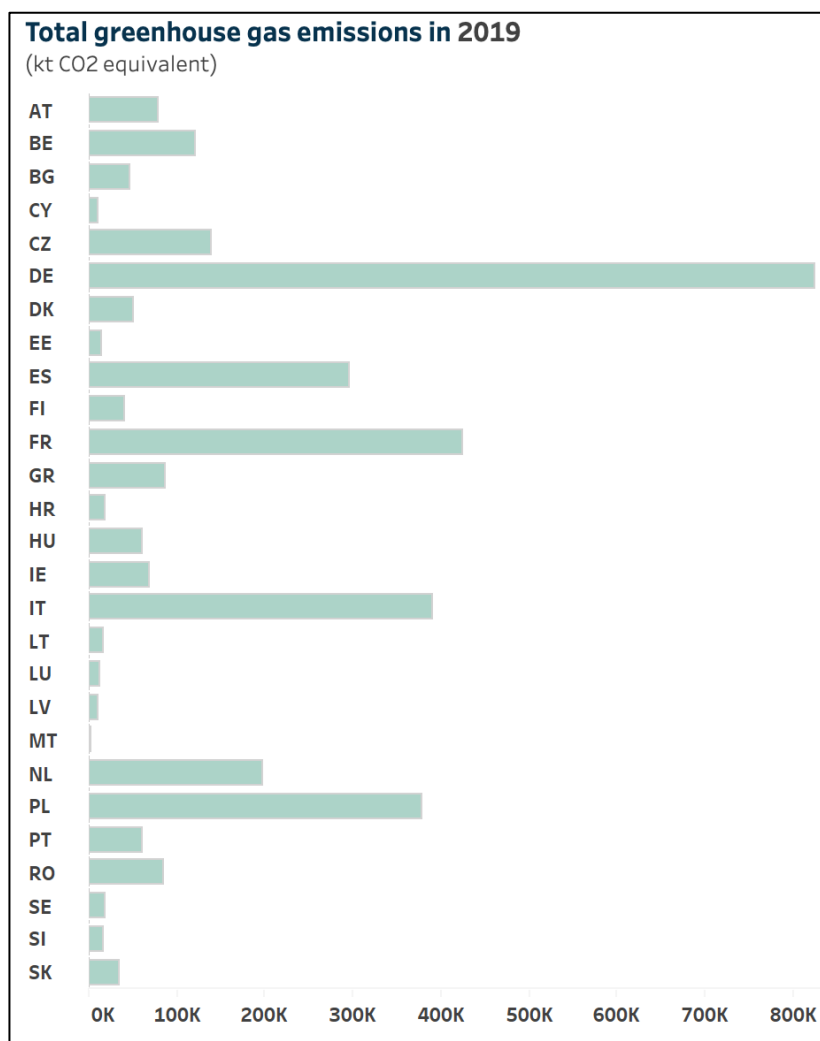
Σύμφωνα με τα στοιχεία του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας (IEA) (IEA, 2007α), οι ΗΠΑ και η Κίνα είναι οι χώρες με τις μεγαλύτερες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου παγκοσμίως. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι οι δύο χώρες μαζί εκπέμπουν περίπου το 40% των παγκόσμιων εκπομπών CO₂ και περίπου το 35% των συνολικών αερίων θερμοκηπίου.

Στη Σύνοδο κορυφής για την κλιματική αλλαγή της Κοπεγχάγης τον Δεκέμβριο του 2009, η Κίνα δεσμεύτηκε να μειώσει μέχρι το 2020 τις εκπομπές άνθρακα κατά 40%-45%, σε σχέση με τα επίπεδα του 2005 (Mohajan, 2013).

ΟΙ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΣΤΗΝ ΕΕ ΚΑΙ ΣΤΟΝ ΚΟΣΜΟ



Σχήμα 1. Παγκόσμιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου-Ποσοστά εκπομπής ανά αέριο (Πηγή: Σύμβαση – Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για τις κλιματικές Μεταβολές).



Σχήμα 2. Εκπομπές ρύπων ανά χώρα Μέλος της ΕΕ για το 2019 (κιλοτόνοι ισοδυνάμου (CO₂) (Πηγή: Ευρωπαϊκή Επιτροπή <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/greenhouse-gases-viewer>).

1.3 Γεωργία και κλιματική αλλαγή

Σύμφωνα με τα δεδομένα προγνωστικών μοντέλων και μελετών, η παγκόσμια γεωργία αναμένεται να υποστεί σημαντικές πιέσεις εξαιτίας των αναμενόμενων αλλαγών στο κλίμα, οι οποίες θα επηρεάσουν τις αγρο-οικολογικές συνθήκες. Αν και, ειδικά για τον γεωργικό τομέα, υπάρχουν ανελαστικές πρακτικές που εμποδίζουν τη σημαντική μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (π.χ. χρήση αζωτούχων λιπασμάτων), εν τούτοις υπάρχουν εναλλακτικές πρακτικές που μπορούν να εφαρμοσθούν με πολύ θετικά αποτελέσματα.

Το μερίδιο των γεωργικών εκπομπών στις συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ήταν 385.787 kt CO_{2eq} το 2019 και ποσοστό 10,6% (Ευρωπαϊκή Επιτροπή <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/greenhouse-gases-viewer>). Οι εκπομπές αυτές αναμένεται να αυξηθούν τις επόμενες δεκαετίες λόγω της αύξησης του πληθυσμού και του βιοτικού επιπέδου. Στον γεωργικό τομέα, η εφαρμογή λιπασμάτων, η κτηνοτροφία, η διαχείριση της κοπριάς, η καλλιέργεια ρυζιού και η καύση είναι οι κύριες πηγές εκπομπών αερίων θερμοκηπίου. Το τεχνικό δυναμικό για τον μετριασμό των αερίων του θερμοκηπίου στην αγροτική ανάπτυξη της Ελλάδας έως το 2030, δείχνει σημαντικές ευκαιρίες για μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, καθώς και αυξημένο δυναμικό εισοδήματος για τους αγρότες (Smith et al., 2007). Η γεωργία στις αναπτυσσόμενες χώρες μπορεί να διαδραματίσει σημαντικότατο ρόλο στον μετριασμό των εκπομπών των αερίων θερμοκηπίου, αλλά το οικονομικό δυναμικό για τον μετριασμό τους περιορίζεται από ελάχιστα κίνητρα επενδύσεων σε αυτόν τον τομέα. Ωστόσο, το δυναμικό μετριασμού μπορεί να ενισχυθεί βελτιώνοντας την πρόσβαση του αγροτικού κλάδου στις αγορές άνθρακα, στο πλαίσιο της διεθνούς συμφωνίας του Κιότο.

Οι εκπομπές από τη γεωργία προέρχονται κυρίως από:

- τα εδάφη (διαχείριση, καλλιεργητικές πρακτικές, φυσικές διαδικασίες αναπνοής)
- εκτροφή ζώων και διαχείριση κοπριάς
- καλλιέργεια ρυζιού
- καύση γεωργικών προϊόντων και υπολειμμάτων.

Η διαχείριση των εδαφών, η εντερική ζύμωση και η διαχείριση κοπριάς αντιπροσωπεύουν το μεγαλύτερο μέρος των εκπομπών από τον γεωργικό τομέα. Μάλιστα, οι εκπομπές από τη γεωργία αναμένεται να αυξηθούν λόγω της αυξημένης ζήτησης τροφίμων, τη βελτιωμένη διατροφή και τις μεταβαλλόμενες διατροφικές προτιμήσεις του αυξανόμενου πληθυσμού, που οδηγούν σε μεγαλύτερη κατανάλωση κρέατος και γαλακτοκομικών προϊόντων (Delgado et al., 1999). Αυτό με τη σειρά του θα οδηγήσει επίσης σε αύξηση της πίεσης στους δασικούς πόρους λόγω αλλαγών χρήσεων γης και μετατροπής τους σε γεωργική γη.

Οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες μπορούν να επηρεάσουν την ποσότητα των εκπομπών, μέσω της διαχείρισης των ροών άνθρακα και αζώτου και συνεπώς να οδηγήσουν προς τη μείωση - ή τον μετριασμό αυτών. Ο μετριασμός ορίζεται ως οποιαδήποτε ανθρωπογενής παρέμβαση που μπορεί, είτε να μειώσει τις πηγές εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, είτε να αυξήσει τη δέσμευση του άνθρακα στα εδάφη. Συνεπώς υπάρχουν δύο μεγάλες κατηγορίες μεθόδων μετριασμού των εκπομπών στη γεωργία: η δέσμευση άνθρακα στα εδάφη και η μείωση των εκπομπών στο αγρόκτημα. Τέλος, μια ακόμη στρατηγική μετριασμού θεωρείται η χρήση βιοκαυσίμων και βιοενέργειας (π.χ. βιοαιθανόλη, βιοαέριο) με παραγωγή τους μέσα από τον κύκλο υλικών μια εκμετάλλευσης (αγροτικής ή κτηνοτροφικής).

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι, ακόμη και με επαρκή μέτρα μετριασμού, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και οι συγκεντρώσεις τους στην ατμόσφαιρα, αναμένεται να αυξηθούν περαιτέρω για τις επόμενες δεκαετίες. Κατά συνέπεια, η μέση θερμοκρασία θα συνεχίσει να αυξάνεται και οι εποχικές αλλαγές στις βροχοπτώσεις και τη θερμοκρασία θα επηρεάσουν τις αγρο-κλιματολογικές συνθήκες. Συνέπεια αυτών θα είναι μεταβολές στις καλλιεργητικές εποχές, αλλαγές στο ημερολόγιο φύτευσης και συγκομιδής, προβλήματα στη διαθεσιμότητα νερού, στον κύκλο των παρασίτων και των ασθενειών, στον πληθυσμό των ζιζανίων, αλλά και στους ρυθμούς εξατμισοδιαπνοής, φωτοσύνθεσης και παραγωγής βιομάζας. Ως αποτέλεσμα, οι αγρότες θα πρέπει να προσαρμόσουν τις πρακτικές τους προκειμένου να συνεχίσουν να ικανοποιούν τις παγκόσμιες ανάγκες σε τρόφιμα και ταυτόχρονα να διασφαλίσουν τη βιωσιμότητα των εκμεταλλεύσεών τους (Chan, Heenan & So, 2003).

Κεφάλαιο 2

Αποτύπωμα άνθρακα

2.1 Ορισμός & Μέθοδοι υπολογισμού του αποτυπώματος άνθρακα

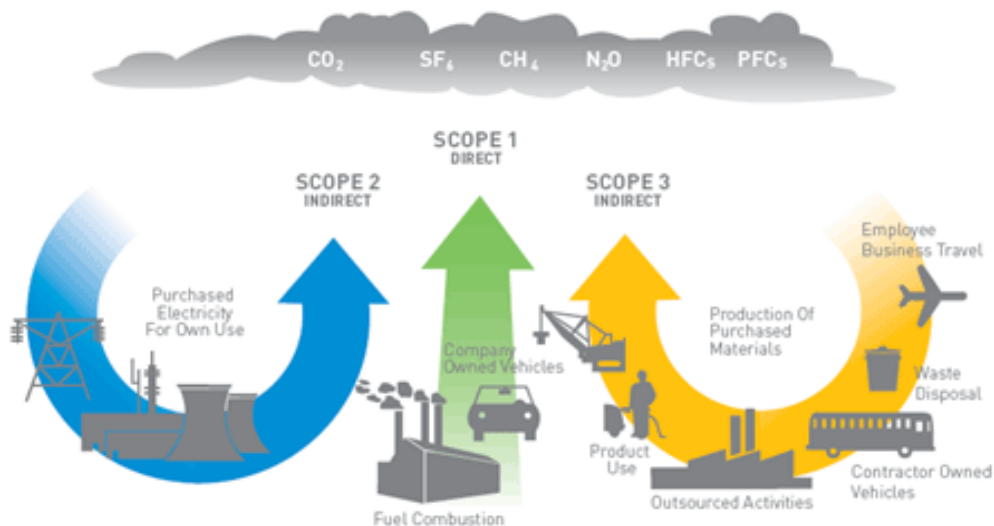
Το Ανθρακικό Αποτύπωμα, αποτελεί το μέτρο της συνολικής ποσότητας των αερίων θερμοκηπίου (σε ισοδύναμο διοξειδίου του άνθρακα $\text{CO}_{2\text{eq}}$) που παράγονται άμεσα ή έμμεσα από μία δραστηριότητα, είτε συσσωρεύονται κατά τα στάδια ζωής ενός προϊόντος, ενός αγαθού ή μιας υπηρεσίας (Wiedmann & Minx, 2008; Wright, et al., 2011).

Το ανθρακικό αποτύπωμα αναφέρεται στα έξι αέρια θερμοκηπίου, όπως αυτά ορίζονται στο Πρωτόκολλο του Κιότο (GHG Protocol) και είναι τα εξής:

- CO_2 -Διοξείδιο του άνθρακα
- CH_4 -Μεθάνιο
- N_2O -Υποξείδιο του αζώτου
- HFC-υδροφθοράνθρακες
- PFC-υπερφθοροάνθρακες
- SF_6 -εξαφθοριούχο θείο
- NF_3 -τριφθοριούχο άζωτο

Ο υπολογισμός του ανθρακικού αποτυπώματος ενός φορέα ή μιας επιχείρησης διαχωρίζει τις εκπομπές σε τρεις κατηγορίες (Σχήμα 3):

1. SCOPE 1: άμεσες εκπομπές λειτουργίας (καύσεις ορυκτών καυσίμων, καύσεις από τα μέσα μεταφοράς, χρήση λιπασμάτων, κ.α.),
2. SCOPE 2: έμμεσες εκπομπές από την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας
3. SCOPE 3: έμμεσες εκπομπές από πηγές, οι οποίες δεν ανήκουν ή δεν ελέγχονται άμεσα από τον φορέα ή την επιχείρηση (Matthews et al., 2008).



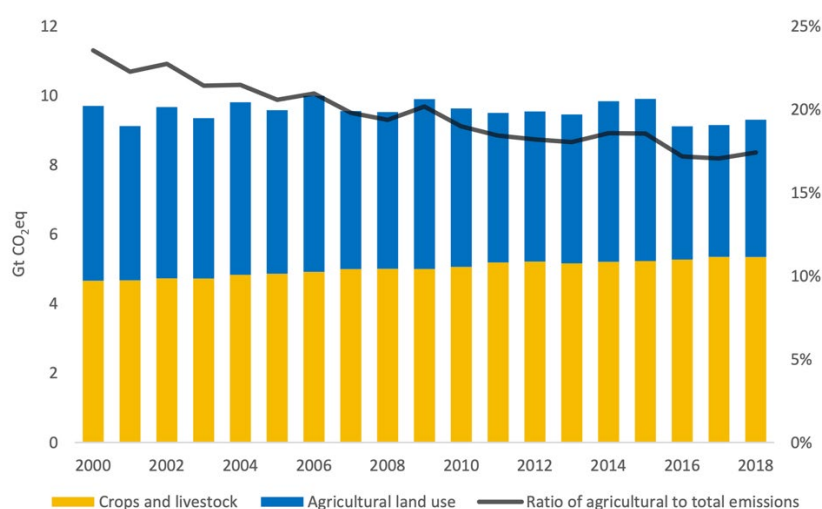
Σχήμα 3. Άμεσες και έμμεσες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου
(Πηγή: <https://www.greenelement.co.uk/blog/carbon-footprint-scope-1-2-3/>).

Ο υπολογισμός του συνολικού αποτυπώματος άνθρακα είναι ιδιαίτερα περίπλοκος λόγω του μεγάλου όγκου δεδομένων που απαιτείται να συνηπολογιστούν και της ανακρίβειας που εισάγουν στους υπολογισμούς διάφορες παραδοχές. Παρ' όλα αυτά είναι ιδιαίτερα σημαντικό να γνωρίζει μία επιχείρηση ή ένας φορέας το συνολικό αποτύπωμα άνθρακα του κύκλου εργασιών ώστε να είναι εφικτός στη συνέχεια ο σχεδιασμός μέτρων αντιστάθμισης, όπως π.χ. χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, λήψη μέτρων αποθήκευσης άνθρακα στο έδαφος, κλπ.

2.2 Αποτύπωμα άνθρακα στον αγροτικό τομέα

Το 2018, οι παγκόσμιες συνολικές εκπομπές από τη γεωργία, συμπεριλαμβανομένων και των εκπομπών χρήσης γης και αλλαγής χρήσης γης (land use, land use change) έφτασαν τους 9,3 δισεκατομμύρια τόνους ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα (Gt CO_{2eq}). Περισσότερο από το μισό αυτών των εκπομπών (5,3 Gt CO_{2eq}), οφείλεται σε δραστηριότητες καλλιέργειας και κτηνοτροφίας σε επίπεδο εκμετάλλευσης (αγρού ή φάρμας εκτροφής ζώων), με τις δραστηριότητες χρήσης γης και αλλαγής χρήσης γης να ευθύνονται για σχεδόν 4 Gt CO_{2eq}. Οι εκπομπές από αυτές τις δραστηριότητες για το έτος 2000 ήταν 4,6 και 5,0 Gt CO_{2eq}, αντίστοιχα. Οι εκπομπές από τις καλλιέργειες και τις

κτηνοτροφικές δραστηριότητες συνέχισαν να αυξάνονται καθ' όλη την περίοδο 2000-2018 και έφτασαν να είναι κατά 14% μεγαλύτερες σε σχέση με το 2018 από ό,τι το 2000. Αντίθετα, οι εκπομπές από τη χρήση γης και την αλλαγή χρήσης γης μειώθηκαν την περίοδο αυτή, λόγω περιορισμού της αποψίλωσης των δασών. Έτσι, οι συνολικές εκπομπές παρουσιάζουν μείωση κατά 4% για το 2018 σε σχέση με το 2000 (FAOSTAT, 2020). Το 2018, οι εκπομπές από τη γεωργία και τη χρήση και αλλαγής χρήσης γης αντιπροσώπευαν το 17% των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από όλους τους τομείς, από 24% τη δεκαετία του 2000. (Σχήμα 4).



Σχήμα 4. Ετήσιες εκπομπές από καλλιέργειες, κτηνοτροφία και χρήσεις γης, καθώς και μερίδιο της γεωργίας στις παγκόσμιες εκπομπές από όλους τους τομείς τα έτη 2000-2018(FAOSTAT, 2020)

Οι προβλέψεις του FAO δείχνουν ότι η αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού και του πλούτου θα αυξήσει τη ζήτηση για τα τρόφιμα κατά περισσότερο από 50% μέχρι το 2030, και 100% από το 2050 (Bruinsma, 2009, Huang et al, 2010). Για την παραγωγή ζωικού κεφαλαίου, οι προβλέψεις δείχνουν ακόμη μεγαλύτερη αύξηση της παγκόσμιας ζήτησης (Rosegrant et al., 2001). Το 2006, ο FAO (2006) προέβλεψε ότι η αύξηση της ζήτησης τόσο για το κρέας όσο και τα γαλακτοκομικά προϊόντα θα επιβραδυνθεί μετά το 2030. Πιο πρόσφατες εκτιμήσεις προβλέπουν 110% και 80% αύξηση στον τομέα του βοείου και της ζήτησης γαλακτοκομικών προϊόντων, αντίστοιχα, μεταξύ των ετών 2000 και 2050 (O'Mara, 2011).

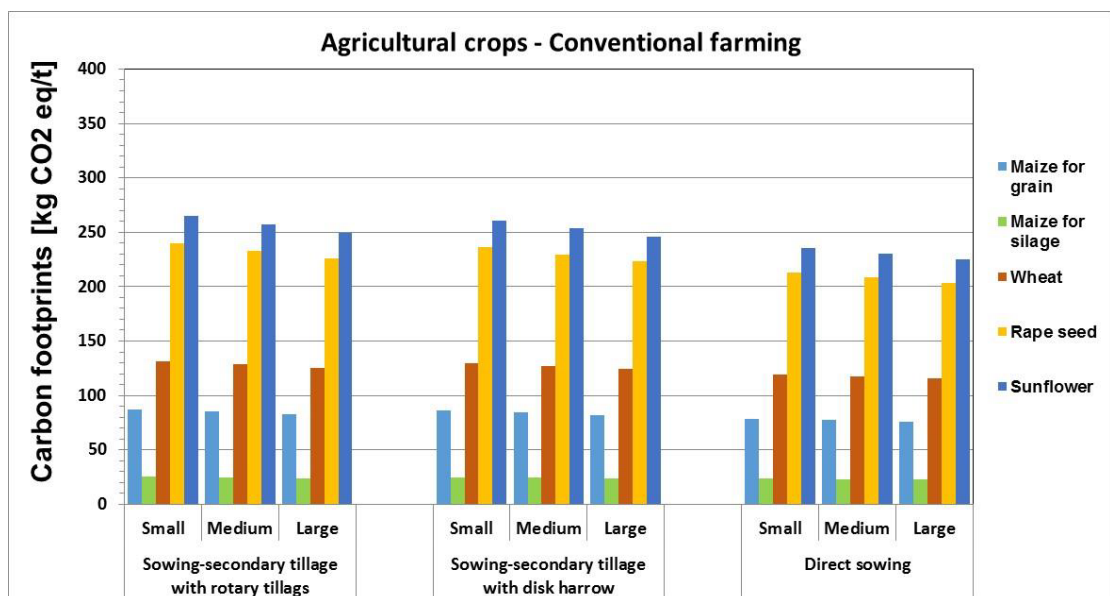
Αξίζει βέβαια να σημειωθεί ότι ο βαθμός της αύξησης των εκπομπών εξαρτάται από τα μέσα της αύξησης της γεωργικής παραγωγικότητας. Από το 1961 έως και το 2005 έλαβε χώρα μία αύξηση της τάξης του 162% στις αποδόσεις των καλλιεργειών και 27% στις γεωργικές εκτάσεις (Burnley et al., 2010). Οι Smith et al. (2007) εκτιμούν ότι οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, που έχουν συνδεθεί με την ιστορική αλλαγή χρήσης της γης, της αποψίλωσης των δασών ιδίως, υπολογίζονται ως το 15% των παγκόσμιων εκπομπών και το 30% των εκπομπών σχετίζονται με την κτηνοτροφική παραγωγή στον αναπτυσσόμενο κόσμο (Smith et al., 2007). Σύμφωνα με την μελέτη των West et al. (2010) η διαφορά των επιπτώσεων των αερίων του θερμοκηπίου από τη βελτίωση των αποδόσεων των καλλιεργειών και της αλλαγής χρήσης γης θα είναι ακόμη πιο έντονη στο μέλλον και μάλιστα θα είναι ιδιαίτερα σημαντική σε περιοχές με χαμηλότερα γεωγραφικά πλάτη που έχουν γενικά μεγαλύτερη δυνατότητα για αυξήσεις της απόδοσης των καλλιεργειών. Γίνεται σαφές από όλα τα παραπάνω ότι τα προβλήματα της επισιτιστικής ασφάλειας και της κλιματικής αλλαγής δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν μεμονωμένα, αλλά σε συνδυασμό το ένα με το άλλο (Huang et al., 2010).

2.3 Η βιολογική και η συμβατική γεωργία σε σχέση με το αποτύπωμα άνθρακα

Παρακάτω παρατίθενται πίνακες και διαγράμματα από την έρευνα των Al-Mansour & Jejić (2014), σχετικά με το αποτύπωμα άνθρακα των συμβατικών, ολοκληρωμένων και βιολογικών καλλιεργειών.

Πίνακας 1: Αποτύπωμα άνθρακα για συμβατικές καλλιέργειες ανά τύπο σποράς (χαμηλής, μέσης ή υψηλής απόδοσης)

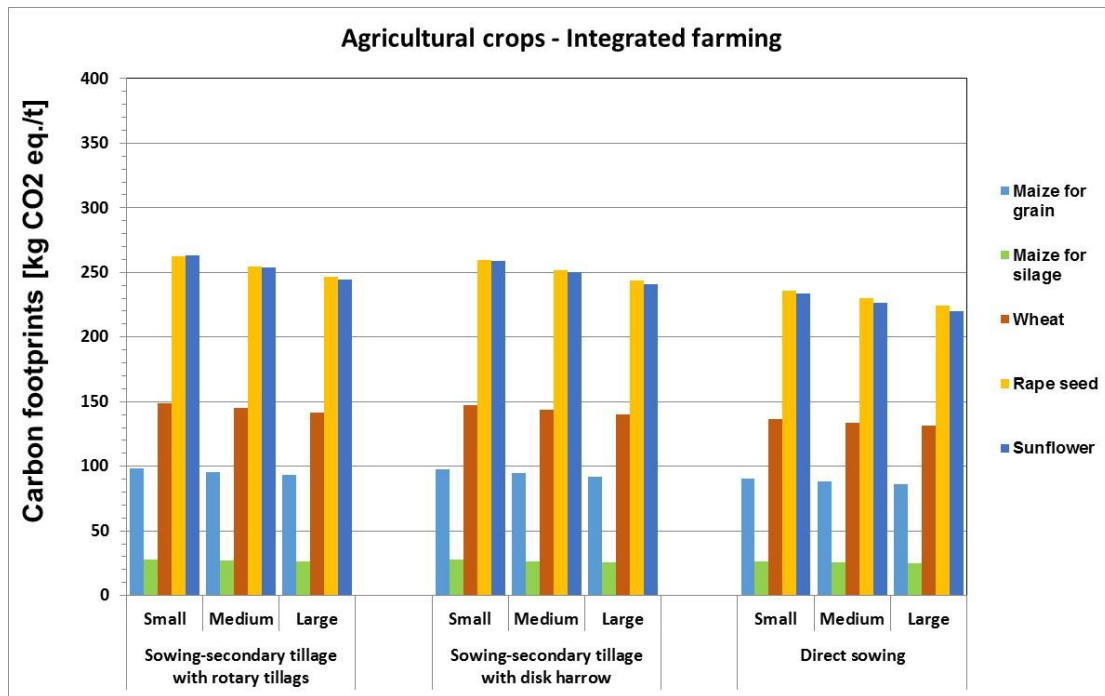
	Δευτερεύουσα σπορά - όργωμα με περιστροφικά όργανα			Δευτερεύουσα σπορά με δισκοσβάρνα			Άμεση σπορά		
	kg CO _{2eq} /ton								
	Χαμηλή	Μέση	Υψηλή ή	Χαμηλή	Μέση	Υψηλή	Χαμηλή	Μέση	Υψηλή
Καλαμπόκι	87,3	85,1	82,9	86,3	84,1	82,0	78,8	77,3	75,8
Καλαμπόκι ενσίρωσης	25,1	24,5	23,8	24,9	24,3	23,6	23,6	23,1	22,5
Σιτάρι	131,4	128,4	125,5	129,9	127,0	124,2	119,3	117,3	115,4
Ελαιοκράμβη	239,9	232,8	225,8	236,6	229,8	223,0	213,3	208,5	203,7
Ηλίανθος	264,7	256,9	249,2	261,0	253,6	246,1	235,4	230,1	224,7



Διάγραμμα 1: Το αποτύπωμα άνθρακα των γεωργικών καλλιεργειών για συμβατικές καλλιέργειες ανά τύπο σποράς.

Πίνακας 2: Αποτύπωμα άνθρακα για ολοκληρωμένες καλλιέργειες ανά τύπο σποράς

	Δευτερεύουσα σπορά - όργωμα με περιστροφικά όργανα			Δευτερεύουσα σπορά με δισκοσβάρνα			Άμεση σπορά		
	Χαμηλή	Μέση	Υψηλή	Χαμηλή	Μέση	Υψηλή	Χαμηλή	Μέση	Υψηλή
	kg CO _{2eq} /ton								
Καλαμπόκι	98,6	95,8	93,0	97,6	94,8	92,2	90,1	88,0	86,0
Καλαμπόκι ενσίρωσης	27,7	26,9	26,1	27,5	26,7	25,9	26,1	25,4	24,8
Σιτάρι	148,7	145,0	141,3	147,2	143,6	140,0	136,6	133,8	131,2
Ελαιοκράμβη	262,6	254,6	246,7	259,3	251,5	243,9	236,0	230,2	224,5
Ηλίανθος	262,8	253,5	244,2	259,2	250,1	241,2	233,5	226,6	219,8

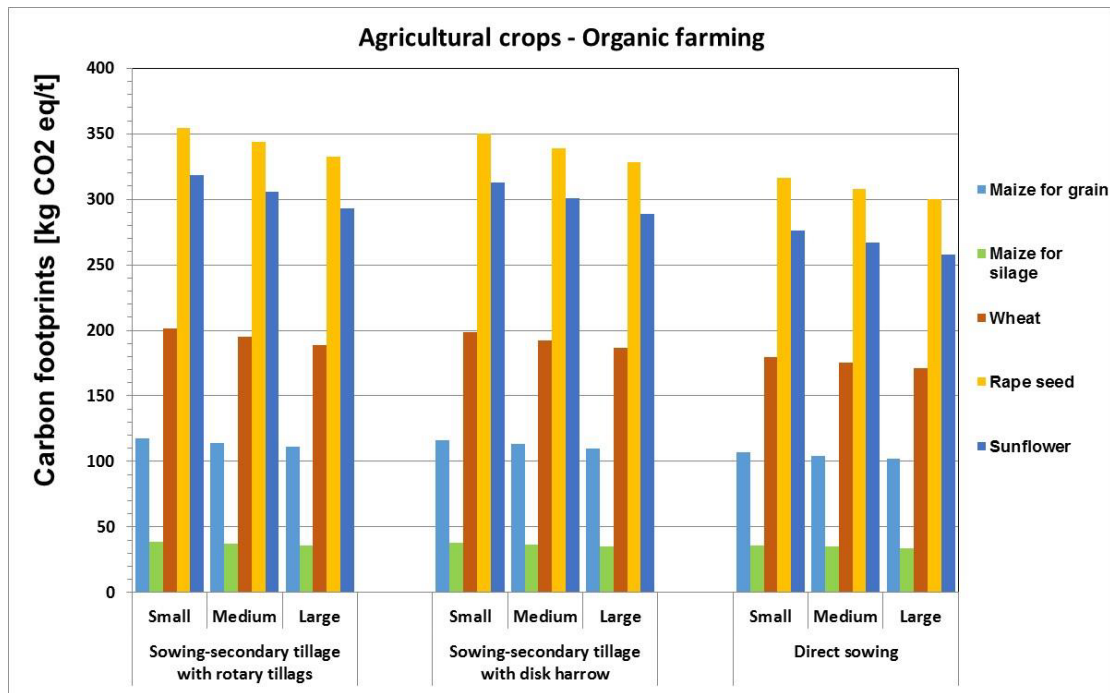


Διάγραμμα 2: Το αποτύπωμα άνθρακα των γεωργικών καλλιεργειών για ολοκληρωμένες καλλιέργειες ανά τύπο σποράς.

Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και κατά συνέπεια το αποτύπωμα άνθρακα των καλλιεργειών στην ολοκληρωμένη γεωργία είναι λίγο χαμηλότερα από ό,τι στη συμβατική γεωργία. Το χαμηλότερο αποτύπωμα άνθρακα ή οι εκπομπές GHG είναι στην παραγωγή αραβοσίτου και το υψηλότερο στους ελαιούχους σπόρους (ελαιοκράμβη και ηλίανθος).

Πίνακας 3: Αποτύπωμα άνθρακα για βιολογικές καλλιέργειες ανά τύπο σποράς

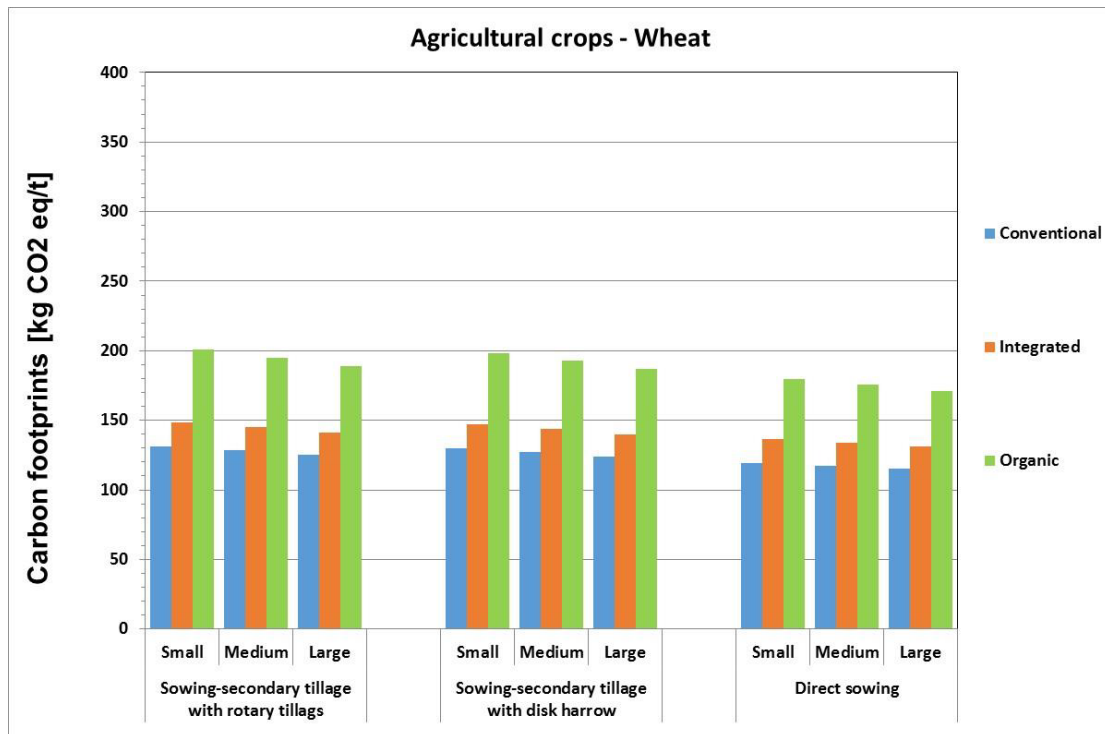
Δευτερεύουσα σπορά - όργωμα με περιστροφικά όργανα	Δευτερεύουσα σπορά με δισκοσβάρνα			Άμεση σπορά					
	Χαμηλή	Μέση	Υψηλή	Χαμηλή	Μέση	Υψηλή	Χαμηλή	Μέση	Υψηλή
kg CO _{2eq} /ton									
Καλαμπόκι	117,7	114,2	110,9	116,4	113,0	109,8	107,1	104,5	102,0
Καλαμπόκι ενσίρωσης	38,4	37,0	35,7	38,1	36,7	35,4	35,9	34,8	33,7
Σιτάρι	201,2	195,1	189,0	198,5	192,6	186,8	179,9	175,6	171,3
Ελαιοκράμβη	354,7	343,6	332,6	349,9	339,2	328,6	316,1	308,2	300,4
Ηλίανθος	318,4	305,7	293,1	313,1	300,8	288,7	275,9	266,7	257,7



Διάγραμμα 3: Το αποτύπωμα άνθρακα των γεωργικών καλλιεργειών για βιολογικές καλλιέργειες ανά τύπο σποράς.

Ακόμη και στη βιολογική παραγωγή οι χαμηλότερες εκπομπές είναι στον αραβόσιτο για ενσίρωση και οι υψηλότερες εκπομπές ανά τόνο απόδοσης είναι και πάλι στους ελαιούχους σπόρους (ελαιοκράμβη και ηλιάνθος).

Από όλα τα παραπάνω γίνεται σαφές ότι το μεγαλύτερο μερίδιο εκπομπών στην παραγωγή γεωργικών καλλιεργειών προέρχεται από τη χρήση λιπασμάτων. Το μερίδιο των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από λιπάσματα αντιπροσωπεύει από 49% έως 76% του συνόλου των εκπομπών στη συμβατική και ολοκληρωμένη παραγωγή γεωργικών καλλιεργειών. Λόγω της χρήσης οργανικών λιπασμάτων στον βιολογικό τύπο παραγωγής καλλιεργειών, το μερίδιο των εκπομπών από λιπάσματα είναι μικρότερο (μεταξύ 42% και 66% των συνολικών εκπομπών). Το αποτύπωμα των καλλιεργειών είναι υψηλότερο στη βιολογικής γεωργίας από την παραγωγή σε συμβατικούς και ολοκληρωμένους τύπους καλλιέργειας λόγω της χαμηλότερης απόδοσης και της υψηλής κατανάλωσης καυσίμου για την προετοιμασία του εδάφους σε βιολογικό τύπο παραγωγής. Ένα παράδειγμα αποτυπώματος σιταριού φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα (ανά τύπο καλλιέργειας).



Διάγραμμα 4. Το ανθρακικό αποτύπωμα του σιταριού για όλους τους τύπους καλλιέργειας (συμβατική, ολοκληρωμένη, βιολογική).

2.4 Αποτύπωμα άνθρακα ορισμένων καλλιεργειών

2.4.1 Ηλίανθος (*Helianthus sp.*)

Σύμφωνα με τη μελέτη των Yousefi et al., (2017), οι συνολικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου για την καλλιέργεια του ηλίανθου είναι $2042,091 \text{ kg CO}_{2\text{eq}} \text{ ha}^{-1}$, με την κατανάλωση ενέργειας να ευθύνεται για το μεγαλύτερο μέρος των εκπομπών (78,70%), ενώ έπονται η κατανάλωση καυσίμων και η εφαρμογή αζωτούχων λιπασμάτων. Συγκεκριμένα, για την παραγωγή ενός κιλού σπόρων ηλίανθου καταναλώνονται 11,34MJ ενέργειας, $3,41\text{m}^3$ νερό και εκλύονται $0,99\text{kg CO}_{2\text{eq}}$. Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνεται αναλυτικά συνεισφορά των παραπάνω παραμέτρων και πρακτικών στο αποτύπωμα άνθρακα του ηλίανθου.

Πίνακας 4. Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και αποτύπωμα άνθρακα καλλιέργειας ηλίανθου (Yousefi et al., 2017).

Εισροή	Ποσότητα ανά μονάδα έκτασης (ha)	Συνολικές εκπομπές CO ₂ (kg CO ₂ eq ha ⁻¹)	Ποσοστό AA (%)
Μηχανικός εξοπλισμός	946,143	67,176	3,29
Καύσιμα	90,54	249,89	12,24
Χημικά λιπάσματα	170,84	117,86	5,77
Ηλεκτρισμός	2643,37	1607,17	78,7
Συνολικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου		2042,09	
Αποτύπωμα άνθρακα		0,875	

2.4.2 Τομάτα (*Lycopersicon esculentum*)

Η καλλιέργεια της τομάτας, παρουσιάζει αυξημένες εισροές σε θρεπτικά, με τις εκπομπές να κυμαίνονται μεταξύ 0,39 και 1,97 kg CO₂eq ha⁻¹ (Page et al., 2012). Το αποτύπωμα άνθρακα για την καλλιέργεια αυτή διαφοροποιείται επίσης ανάλογα με το σύστημα καλλιέργειας (Ntinis et al., 2017).

2.4.3 Αραβόσιτος (*Zea mays*)

Ο αραβόσιτος καλλιεργείται στο 11% της παγκόσμιας καλλιεργούμενης έκτασης και αναμένεται να αυξηθεί περισσότερο τα επόμενα χρόνια (Zhang et al., 2018). Αυτό μπορεί να θεωρηθεί ανησυχητικό εάν συνδυαστεί με το ότι στην καλλιέργεια του καλαμποκιού εφαρμόζονται πολλαπλές γεωργικές εισροές (Qi et al., 2018).

Οι Zhang et al. (2018) υπολόγισαν το αποτύπωμα άνθρακα αρδευόμενης καλλιέργειας καλαμποκιού ίσο με 5,33 kg CO₂eq ha⁻¹, ενώ του μη αρδευόμενου βρέθηκε κατά 40% μικρότερο, με κύριο επιβαρυντικό παράγοντα την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και τη χρήση των λιπασμάτων. Όπως αναφέρθηκε και στις παραπάνω περιπτώσεις καλλιέργειας άλλων ειδών, και στην περίπτωση του αραβόσιτου, το αποτύπωμα άνθρακα διαφοροποιείται ανάλογα με το σύστημα καλλιέργειας (Clavreul et al., 2017).

Κεφάλαιο 3

Μεθοδολογία

3.1 Σκοπός, Στόχοι και Ερωτήματα της Έρευνας

Ο σκοπός της παρούσας διατριβής είναι (1) η συλλογή δεδομένων για τον υπολογισμό του αποτυπώματος άνθρακα δύο σημαντικών μεσογειακών καλλιεργειών και σύγκριση μεταξύ συμβατικής και βιολογικής γεωργίας, (2) ο προσδιορισμός των πρακτικών εκείνων που έχουν την μεγαλύτερη συνεισφορά σε αέρια θερμοκηπίου και (3) η πρόταση εναλλακτικών πρακτικών μειωμένων εκπομπών αερίων.

Τα ερευνητικά ερωτήματα που τίθενται στην παρούσα έρευνα είναι τα εξής:

1. Ποιο είναι το αποτύπωμα άνθρακα της ελιάς και του κριθαριού και σε ποιο βαθμό υπερτερεί η βιολογική γεωργία της συμβατικής;
2. Ποιες είναι οι γεωργικές πρακτικές που συνεισφέρουν περισσότερο στην αύξηση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα;
3. Ποιες είναι οι εναλλακτικές πρακτικές που έχουν μικρότερη συνεισφορά στις εκπομπές και δεν επηρεάζουν τις αποδόσεις των καλλιεργειών;

Η μελέτη του συγκεκριμένου θέματος είναι σημαντική καθώς υπάρχει έλλειμμα σε αντίστοιχη πληροφορία όσον αφορά στα μεσογειακά προϊόντα καθώς το θεωρητικό πλαίσιο των υπολογισμών πρέπει κάθε φορά να προσαρμόζεται στις ιδιαίτερες κλιματικές συνθήκες όπου καλλιεργούνται τα συγκεκριμένα προϊόντα, αλλά και να λαμβάνονται υπόψη πρακτικές χαρακτηριστικές και τυπικές των δεδομένων κλιματικών και γεωμορφολογικών συνθηκών. Επιπλέον η γνώση των πρακτικών που μπορούν να αντικατασταθούν ή να βελτιωθούν αναμένεται να έχει σημαντικά οφέλη, τόσο για τους παραγωγούς, σε σχέση με τις απαιτήσεις της ΚΑΠ, όσο και εθνικά καθώς η χώρα καλείται να καταθέτει ετησίως τις εκπομπές

αερίων θερμοκηπίου από όλους τους τομείς της οικονομίας της, για τις οποίες αξιολογείται ως προς το βαθμό επίτευξης των στόχων της ΕΕ για μείωση αυτών.

3.2 Μεθοδολογία προσέγγισης της Έρευνας

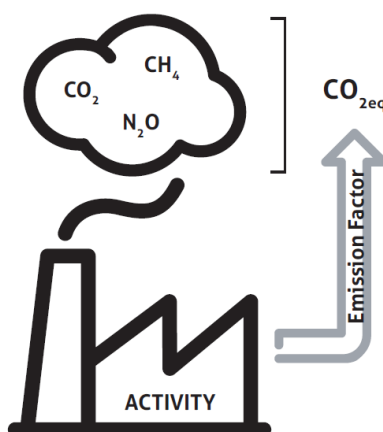
Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την προσέγγιση των ερευνητικών ζητημάτων της διατριβής περιλαμβάνει τα παρακάτω τέσσερα στάδια:

1. Ανασκόπηση βιβλιογραφίας σχετικά με τον υπολογισμό εκπομπών αερίων θερμοκηπίου από τον γεωργικό τομέα και των παραμέτρων που επιδρούν στο ανθρακικό αποτύπωμα των καλλιεργειών
2. Ανάπτυξη ερωτηματολογίων και συλλογή πληροφορίας για δύο τυπικές μεσογειακές καλλιέργειες. Για κάθε τύπο καλλιέργειας συλλέχθηκε πληροφορία από αντιπροσωπευτικό αριθμό παραγωγών συμβατικής και βιολογικής γεωργίας
3. Αξιολόγηση πληροφορίας, εφαρμογή εξισώσεων υπολογισμού εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και προσδιορισμός των πρακτικών εκείνων που συνεισφέρουν σε μεγαλύτερο βαθμό στο ανθρακικό αποτύπωμα των καλλιεργειών.
4. Ανάπτυξη προτάσεων βελτίωσης των εφαρμοζόμενων πρακτικών αλλά και εναλλακτικών με σκοπό τη μείωση του αποτυπώματος των καλλιεργειών

3.3. Μέθοδος υπολογισμού εκπομπών αερίων θερμοκηπίου

Η απελευθέρωση αερίων θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα εξαρτάται από τη δραστηριότητα και το προϊόν. Προκειμένου να υπολογισθούν οι εκπομπές ανά μονάδα δραστηριότητας ή ποσότητας, χρησιμοποιείται ένας παράγοντας που ονομάζεται συντελεστής εκπομπής (Emission Factor - EF).

Ο συντελεστής εκπομπής δηλαδή, επιτρέπει τη μετατροπή δεδομένων δραστηριότητας σε εκπομπές αερίων θερμοκηπίου (Σχήμα 5). Είναι ο μέσος ρυθμός εκπομπής μιας δεδομένης πηγής, σε σχέση με μονάδες δραστηριότητας ή διεργασίας/διαδικασιών (LIFE, 2016).



Σχήμα 5. Μετατροπή εκπομπών σε CO_{2eq} με εφαρμογή των Συντελεστών εκπομπής (LIFE, 2016).

Ισοδύναμο CO_{2eq}

Οι ανθρώπινες δραστηριότητες εκπέμπουν διαφορετικά είδη αερίων θερμοκηπίου. Το δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη (Gross Warming Potential-GWP) καθενός από τα αέρια αυτά προσδιορίζει την επίδρασή του στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και επιτρέπει τη μετατροπή 1 kg αερίου σε X kg ισοδύναμου CO₂, το οποίο και αναφέρεται ως CO_{2eq}. Με τον τρόπο αυτό, είναι δυνατόν να συγκριθούν οι εκπομπές διαφορετικών αερίων. Κατά τον υπολογισμό των αερίων θερμοκηπίου, γίνεται αρχικά ο υπολογισμός του κάθε αερίου ξεχωριστά χρησιμοποιώντας τον αντίστοιχο Συντελεστή Εκπομπής με βάση τη γενική σχέση:

$$E = A \times EF. \quad [1]$$

όπου E είναι οι εκπομπές, A η δραστηριότητα (π.χ. για την περίπτωση της γεωργίας μπορεί να είναι έκταση, πληθυσμός ζώων, χρήση λιπασμάτων, καύση βιομάζας) και EF είναι ο συντελεστής εκπομπής (π.χ. η εκπομπή ανά μονάδα επιφάνειας, ζώο, μονάδα λιπάσματος που εφαρμόζεται ή καμένη βιομάζα). Με τον τρόπο αυτό υπολογίζεται η εκπεμπόμενη ποσότητα κάθε αερίου. Στη συνέχεια κάθε αέριο μετατρέπεται σε CO_{2eq} και προκειμένου να προκύψει η συνολική εκπομπή αθροίζονται οι επιμέρους εκπομπές.

Η μετατροπή των εκπομπών κάθε αερίου σε CO_{2eq} γίνεται πολλαπλασιάζοντας την ποσότητα του εκπεμπόμενου αερίου (kg GHG) με το αντίστοιχο GWP (kg CO_{2eq} / kg GHG).

Όσον αφορά στη γεωργία (Mielcarek-Bocheńska and Rzeźnik, 2021), τα αέρια θερμοκηπίου τα οποία κυρίως παράγονται είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το υποξείδιο του αζώτου (N₂O) και το μεθάνιο (CH₄). Για τα τρία αέρια αυτά τα αντίστοιχα δυναμικά υπερθέρμανσης δίνονται στον παρακάτω πίνακα 5.

Πίνακας 5. Δυναμικά υπερθέρμανσης του πλανήτη (GWP) των τριών αερίων θερμοκηπίου της γεωργίας (National Inventory Report of Greece, 2021)

Αέριο	Δυναμικό Υπερθέρμανσης
CO ₂	1
CH ₄	25
N ₂ O	298

Για τη μοντελοποίηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία IPCC (2006) και οι αναθεωρήσεις του 2019, ενώ τα δεδομένα συλλέχθηκαν μόνον για την κατηγορία «καλλιεργήσιμες εκτάσεις που παραμένουν καλλιεργήσιμες εκτάσεις», (cropland remaining cropland) χωρίς να ληφθούν υπόψη η χρήση και η αλλαγή χρήσης γης.

3.3.1. Εκπομπές υποξειδίου του αζώτου (N₂O) από γεωργικά εδάφη

Οι εκπομπές N₂O διακρίνονται σε άμεσες και έμμεσες. Οι άμεσες πηγές εκπομπής περιλαμβάνουν εκείνες από τις οποίες το N₂O εκπέμπεται απευθείας στην ατμόσφαιρα από τα καλλιεργούμενα εδάφη ή/και τους βοσκότοπους. Οι έμμεσες εκπομπές προκύπτουν από τη μεταφορά αζώτου από τα γεωργικά συστήματα σε υπόγεια και επιφανειακά ύδατα μέσω αποστράγγισης και επιφανειακής απορροής ή εκπομπής του ως αμμωνία ή οξειδία του αζώτου και εναπόθεσή τους σε άλλη περιοχή, προκαλώντας παραγωγή N₂O (Van Der Hoek et al., 2007).

Άμεσες εκπομπές N₂O

Οι άμεσες εκπομπές N₂O από γεωργικά εδάφη οφείλονται σε:

- Συνθετικά αζωτούχα λιπάσματα
- Οργανικό άζωτο που εφαρμόζεται σαν λίπασμα(π.χ. ζωική κοπριά, κόμποστ, λυματολάσπη)
- Άζωτο από ούρα και κοπριά που εναποτίθεται σε βοσκότοπους και χώρους εκτροφής ζώων

- Άζωτο από φυτικά υπολείμματα (υπέργεια και υπόγεια), συμπεριλαμβανόμενων των καλλιεργειών που δεσμεύουν άζωτο και από τη χορτονομή κατά τη διάρκεια της ανανέωσης των περιοχών βόσκησης και εκτροφής ζώων.

Η εξίσωση για τις συνολικές άμεσες εκπομπές N₂O είναι (IPCC, 2006):

$$N_2O_{Direct-N} = N_2O-N_{inputs} + N_2O-N_{OS} + N_2O-N_{PRP} \quad [2]$$

Where:

$$N_2O-N_{inputs} = \left[\left[(F_{SN} + F_{ON} + F_{CR} + F_{SOM}) \cdot EF_1 \right] + \left[(F_{SN} + F_{ON} + F_{CR} + F_{SOM})_{FR} \cdot EF_{1FR} \right] \right] \quad [3]$$

$$N_2O-N_{OS} = \left[\left(F_{OS,CG,Temp} \cdot EF_{2CG,Temp} \right) + \left(F_{OS,CG,Trop} \cdot EF_{2CG,Trop} \right) + \left(F_{OS,F,Temp,NR} \cdot EF_{2F,Temp,NR} \right) + \left(F_{OS,F,Temp,NP} \cdot EF_{2F,Temp,NP} \right) + \left(F_{OS,F,Trop} \cdot EF_{2F,Trop} \right) \right] \quad [4]$$

[5] όπου:

$$N_2O-N_{PRP} = \left[\left(F_{PRP,CP} \cdot EF_{3PRP,CP} \right) + \left(F_{PRP,SO} \cdot EF_{3PRP,SO} \right) \right]$$

- N₂O_{Direct} -N = ετήσιες άμεσες εκπομπές N₂O-N που παράγονται από καλλιεργούμενα εδάφη, kg N₂O-N yr⁻¹
- N₂O-N_{inputs} = ετήσιες άμεσες εκπομπές N₂O-N από εισροές N σε καλλιεργούμενα εδάφη, kg N₂O-N yr⁻¹
- N₂O-N_{OS} = ετήσιες άμεσες εκπομπές N₂O-N από καλλιεργούμενα οργανικά εδάφη, kg N₂O-N yr⁻¹
- N₂O-N_{PRP} = ετήσιες άμεσες εκπομπές N₂O-N από εισροές ούρων και κοπριάς σε εδάφη όπου βόσκουν ή/και εκτρέφονται ζώα, kg N₂O-N yr⁻¹
- F_{SN} = ετήσια ποσότητα συνθετικού αζωτούχου λιπάσματος που εφαρμόζεται στα εδάφη, kg N yr⁻¹
- F_{ON} = ετήσια ποσότητα ζωικής κοπριάς, κόμποστ, λυματολάσπης και άλλες προσθήκες οργανικού αζώτου που εφαρμόζονται στα εδάφη, kg N yr⁻¹.
- F_{CR} = ετήσια ποσότητα αζώτου από φυτικά υπολείμματα (υπέργεια και υπόγεια), συμπεριλαμβανομένων των καλλιεργειών που δεσμεύουν άζωτο, και από την ανανέωση των περιοχών βόσκησης και εκτροφής ζώων (kg N yr⁻¹ F_{PRP} είναι η ετήσια ποσότητα N των ούρων και κοπριάς που εναποτίθεται από τα ζώα που βόσκουν σε βοσκότοπους, λιβάδι και

περίβολο βοσκής, kg N yr^{-1} (οι δείκτες CPP και SO αναφέρονται σε βοοειδή, πουλερικά και χοίρους, πρόβατα και άλλα ζώα, αντίστοιχα).

- F_{SOM} = ετήσια απώλεια αζώτου ως αποτέλεσμα της απώλειας/καταστροφής της οργανικής ουσίας του εδάφους λόγω αλλαγών στη χρήση γης ή στη διαχείρισή της, kg N yr^{-1}
- F_{OS} = έκταση καλλιεργούμενων οργανικών εδαφών, ha (οι δείκτες CG, F, Temp, Trop, NR και NP αναφέρονται σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις και λιβάδια, δασικές εκτάσεις, εύκρατη, τροπική, πλούσια σε θρεπτικά στοιχεία, και φτωχή σε θρεπτικά στοιχεία, αντίστοιχα)
- F_{PRP} = ετήσια ποσότητα αζώτου ζωικής προέλευσης (ούρα και κοπριά ζώων), kg N yr^{-1} (οι δείκτες CPP και SO αναφέρονται σε βοοειδή, πουλερικά και χοίρους, πρόβατα και άλλα ζώα, αντίστοιχα)
- EF_1 = συντελεστής εκπομπής N_2O λόγω εισροών αζώτου, $\text{kg N}_2\text{O-N (kg N εισροή)}^{-1}$
- $EF_{1\text{FR}}$ = συντελεστής εκπομπής N_2O λόγω εισροών αζώτου σε καλλιέργεια ρυζιού υπό κατάκλιση, $\text{kg N}_2\text{O-N (kg N εισροή)}^{-1}$
- EF_2 = συντελεστής εκπομπής N_2O από οργανικά εδάφη, $\text{kg N}_2\text{O-N ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$
- $EF_{3\text{PRP}}$ = συντελεστής εκπομπής N_2O λόγω εισροών αζώτου ζωικής προέλευσης, $\text{kg N}_2\text{O-N (kg N εισροή)}^{-1}$.

Στην παρούσα διατριβή μελετήθηκαν καλλιέργειες ελιάς και κριθαριού σε αγροκτήματα στα οποία δεν συνυπήρχε κτηνοτροφία και δεν εφαρμόζεται πρακτική ενσωμάτωσης φυτικών υπολειμμάτων ή καλλιέργεια ψυχανθών. Συνεπώς οι όροι των εξισώσεων [3] – [5], οι οποίοι αναφέρονται στην καλλιέργεια ρυζιού, στη διαχείριση φυτικών υπολειμμάτων και στις εκπομπές από εισροές αζώτου ζωικής προέλευσης δεν ελήφθησαν υπόψη. Επίσης, καθώς στην Ελλάδα το ποσοστό των οργανικών εδαφών είναι ελάχιστο, ενώ δεν απαντώνται αυτά και στην περιοχή μελέτης, οι όροι που αναφέρονται σε αυτού του είδους τα εδάφη δεν ελήφθησαν επίσης υπόψη.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, η σχέση υπολογισμού των άμεσων εκπομπών N_2O προσαρμόστηκε ως εξής:

$$\text{N}_2\text{O}_{\text{Direct-N}} = \text{N}_2\text{O-N}_{\text{inputs}} = (F_{\text{SN}} + F_{\text{ON}}) \times EF_1. [6]$$

Οι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη για τον υπολογισμό των παραμέτρων της παραπάνω εξίσωσης είναι:

1. Η εκατοστιαία περιεκτικότητα του ανόργανου ή οργανικού λιπάσματος σε άζωτο(A) και η ετήσια ποσότητα του λιπάσματος (B) που προστέθηκε σε Kg N/y.
2. Για τον υπολογισμό του F_{SN} και του F_{ON} χρησιμοποιείται η εξίσωση:

$$F_{SN} = (A \times 0,01 \times B) [7]$$

3. Ο συντελεστής εκπομπής EF_1 θεωρείται ίσως με $0,01 \text{ kg N}_2\text{O-N}/(\text{kg N})$ (NIR Greece, 2021)
4. Η ετήσια ποσότητα του εκλυόμενου αζώτου ως N_2O υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{N}_2\text{O}_{\text{Direct-N}} = F_{SN} \times 0,01 \times (44/28) [8]$$

5. Για τον υπολογισμό του ισοδυνάμου CO_2 χρησιμοποιείται η σχέση

$$\text{CO}_{2\text{eq}} = \text{N}_2\text{O}_{\text{Direct}} \times 298 [9]$$

Έμμεσες εκπομπές N_2O

Οι έμμεσες εκπομπές N_2O από τα γεωργικά εδάφη προέρχονται από:

- ο τη μετατροπή του αζώτου που προέρχεται από συνθετικά και οργανικά λιπάσματα σε NO_x και NH_3 , ακολουθούμενη από ατμοσφαιρική εναπόθεση ως NO_x , HNO_3 και NH_4^+ σε εδάφη και επιφανειακά ύδατα και ακολούθως σε σχηματισμό N_2O .
- ο αποστράγγιση και απορροή του αζώτου που περιέχεται στα λιπάσματα που εφαρμόζονται (συνθετικά, ζωική κοπριά και λυματολάσπη).

Η μεθοδολογία για τον υπολογισμό των έμμεσων εκπομπών N_2O είναι η ακόλουθη.

Εκπομπές λόγω ατμοσφαιρικής μεταφοράς

Οι εκπομπές N_2O οι οποίες προκαλούνται από το άζωτο με τη μορφή NH_3 και NO_x που εναποτίθενται από την ατμόσφαιρα, υπολογίζονται από τη σχέση:

$$\text{N}_2\text{O}_{\text{ADT-N}} = [(F_{SN} \times \text{Frac}_{\text{GASF}}) + ((F_{ON} + F_{PRP}) \times \text{Frac}_{\text{GASM}})] \times EF_4. [10]$$

όπου:

- N_2O_{ADT-N} είναι η ετήσια ποσότητα αζώτου που εκλύεται ως N_2O ως αποτέλεσμα των ατμοσφαιρικών εναποθέσεων στα καλλιεργούμενα εδάφη, $kg N_2O-N yr^{-1}$
- $Frac_{GASF}$ είναι η αναλογία εκλυόμενου αζώτου ως NH_3 και NO_x από τα συνθετικά λιπάσματα, $kg N$ που εκλύθηκε $(kg N$ που εφαρμόστηκαν) $^{-1}$
- $Frac_{GASM}$ είναι η αναλογία εκλυόμενου αζώτου ως NH_3 και NO_x από την εφαρμογή οργανικών λιπασμάτων (F_{ON}) και απεκκρίσεις ζώων (F_{PRP}), $kg N$ που εκλύθηκε $(kg N$ που εφαρμόζεται ή εναποτίθεται) $^{-1}$
- EF_4 είναι ο συντελεστής εκπομπής N_2O για τη συγκεκριμένη διαδικασία έκλυσης αζώτου στα εδάφη και στις επιφάνειες των υδάτων

Σύμφωνα με τις ιδιαιτερότητες των προς μελέτη καλλιεργειών και εκτάσεων, η παραπάνω εξίσωση [6] προσαρμόζεται ως εξής:

$$N_2O_{ADT-N} = (F_{SN} \times Frac_{GASF}) \times EF_4. [11]$$

Οι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη για τον υπολογισμό των παραμέτρων της παραπάνω εξίσωσης είναι:

1. Η παράμετρος F_{SN} υπολογίζεται με τον ίδιο τρόπο όπως και για τις άμεσες εκπομπές
2. Για τον συντελεστή $Frac_{GASF}$ ανάλογα με τον τύπο αζωτούχου λιπάσματος χρησιμοποιούνται βιβλιογραφικά δεδομένα (Πίνακας 6)

Πίνακας 6. Τιμές του συντελεστή $Frac_{GASF}$ ανάλογα με τον τύπο αζωτούχου λιπάσματος (IPCC 2019, Πίνακας 11.3).

Είδος λιπάσματος	$Frac_{GASF}$
Ουρία	0,15
Αμμωνιακό (NH_4-N)	0,08
Νιτρικό (NO_3-N)	0,01
Αμμωνιακό-Νιτρικό	0,05

3.0 συντελεστής εκπομπής EF4 για ξηρά κλίματα θεωρείται ίσος με 0,005 (IPCC, 2019, Πίνακας 11.3)

4. Η ετήσια ποσότητα του εκλυόμενου αζώτου ως N₂O υπολογίζεται από τη σχέση:

$$N_2O_{ADT-N} = F_{SN} \times Frac_{GASF} \times 0,005 \times (44/28) \quad [12]$$

5. Για τον υπολογισμό του ισοδυνάμου CO₂ χρησιμοποιείται η σχέση

$$CO_{2eq} = N_2O_{ADT} \times 298 \quad [13]$$

Αποστράγγιση/Απορροή, N₂O (L)

Οι εκπομπές N₂O από την αποστράγγιση και την απορροή υπολογίζονται από τη σχέση:

$$N_2O_{L-N} = (F_{SN} + F_{ON} + F_{PRP} + F_{SOM}) \times Frac_{LEACH-H} \times EF_5 \quad [14]$$

όπου:

- N₂O_{L-N} είναι η ετήσια εκλυόμενη ποσότητα αζώτου ως N₂O που παράγεται από την αποστράγγιση και την απορροή του προστιθέμενου αζώτου σε καλλιεργούμενα εδάφη, kg N₂O-N yr⁻¹
- Frac_{LEACH-H} είναι η αναλογία του αζώτου που χάνεται λόγω αποστράγγισης και απορροής σε σχέση με τη συνολική ποσότητα αζώτου που προστέθηκε στην καλλιέργεια από όλες τις πηγές, kg N (kg Nπροσθήκης)⁻¹
- EF₅ είναι ο συντελεστής εκπομπής αζώτου που εκλύεται ως N₂O λόγω αποστράγγισης και απορροής, kg N₂O-N (kg N έκπλυση και απορροή)⁻¹.

Σύμφωνα με τις ιδιαιτερότητες των προς μελέτη καλλιεργειών και εκτάσεων, η παραπάνω εξίσωση [14] προσαρμόζεται ως εξής:

$$N_2O_{L-N} = F_{SN} \times Frac_{LEACH-H} \times EF_5. \quad [15]$$

Οι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη για τον υπολογισμό των παραμέτρων της παραπάνω εξίσωσης είναι:

1. Η παράμετρος F_{SN} υπολογίζεται με τον ίδιο τρόπο όπως και στις παραπάνω περιπτώσεις
2. Η τιμή του συντελεστή Frac_{LEACH-H} επιλέγεται από τον παρακάτω Πίνακα 7 ανάλογα με τις επικρατούσες κλιματικές συνθήκες και τον τύπο άρδευσης.

Πίνακας 7. Τιμές του συντελεστή $Frac_{LEACH-H}$ (IPCC 2019, Πίνακας 11.3).

Συνθήκες	$Frac_{LEACH-H}$
Ξηρό κλίμα, μη αρδευόμενη καλλιέργεια	0
Ξηρό κλίμα, αρδευόμενη καλλιέργεια (όλοι οι τύποι άρδευσης εκτός στάγδην)	0,24
Ξηρό κλίμα, στάγδην άρδευση	0
Υγρό κλίμα	0,24

3. Ο συντελεστής εκπομπής EF5 λαμβάνεται ίσος με 0,011 (IPCC, 2019, Πίνακας 11.3)

4. Η ετήσια ποσότητα του εκλυόμενου αζώτου ως N_2O υπολογίζεται από τη σχέση:

$$N_2O_{ADT-N} = F_{SN} \times Frac_{GASF} \times 0,011 \times (44/28) \quad [16]$$

5. Για τον υπολογισμό του ισοδυνάμου CO_2 χρησιμοποιείται η σχέση

$$CO_{2eq} = N_2O_{ADT-N} \times 298 \quad [17]$$

3.3.2 Εκπομπές CO_2 από τα καλλιεργούμενα εδάφη

Οι ανθρωπογενείς πηγές εκπομπής CO_2 στις καλλιεργούμενες εκτάσεις είναι:

(α) προσθήκη ανθρακικών αλάτων ή αλλιώς ασβέστωση των εδαφών. Η πρακτική αυτή ακολουθείται για την ελάττωση της οξύτητας (δηλ. αύξηση του pH) εδαφών με pH στην όξινη περιοχή και συνεπώς τη βελτίωση της ανάπτυξης των φυτών. Κατά τη διαδικασία ασβέστωσης χρησιμοποιούνται συνήθως ασβεστόλιθος ($CaCO_3$), ή δολομίτης ($CaMg(CO_3)_2$), τα οποία μετά την εφαρμογή τους στο έδαφος παράγουν διτανθρακικά ιόντα (HCO_3^-), τα οποία στη συνέχεια διασπώνται σε CO_2 και OH^- (Ramnarine et al., 2012).

(β) προσθήκη ουρίας ως αζωτούχο λίπασμα, κυρίως σε όξινα εδάφη ώστε να βοηθήσει και στην ελάττωση της οξύτητας.

Ο υπολογισμός των εκπομπών άνθρακα ως CO_2 λόγω ασβέστωσης δίνεται από τη σχέση:

$$CO_2\text{-}C_{emission} = (M_{Limestone} \times EF_{Limestone}) + (M_{Dolomite} \times EF_{Dolomite}) \quad [18]$$

όπου:

- $CO_2\text{-}C_{emission}$ είναι οι ετήσιες εκπομπές C ως CO_2 από την εφαρμογή ανθρακικών αλάτων, τόνοι Cyr^{-1}
- M είναι η ετήσια ποσότητα ασβεστόλιθου ή δολομίτη που προστίθεται στο έδαφος, τόνοι yr^{-1}
- EF είναι ο συντελεστής εκπομπής CO_2 , τόνοι C (τόνοι ασβεστόλιθου ή δολομίτη) $^{-1}$. Για τον υπολογισμό των εκπομπών στην περίπτωση αυτή, χρησιμοποιείται για τον Συντελεστή Εκπομπής του ασβεστόλιθου η τιμή $EF=0,12$ και για τον δολομίτη $EF=0,13$ (IPCC, 2006).

Οι εκπομπές CO_2 λόγω λίπανσης με ουρία $CO(NH_2)_2$ υπολογίζονται από τη σχέση:

$$CO_2\text{-}C_{emission} = M_{Urea} \times EF \quad [19]$$

όπου:

- $CO_2\text{-}C_{emission}$ είναι οι ετήσιες εκπομπές C ως CO_2 από την εφαρμογή ουρίας, τόνοι Cyr^{-1}
- M_{Urea} είναι η ετήσια ποσότητα ουρίας που εφαρμόζεται στο έδαφος, τόνοι ουρίας yr^{-1}
- EF είναι ο συντελεστής εκπομπής, τόνοι C (τόνος ουρίας) $^{-1}$. Για τον υπολογισμό των εκπομπών στην περίπτωση αυτή, χρησιμοποιείται για τον Συντελεστή Εκπομπής η τιμή $EF=0,20$, η οποία είναι ισοδύναμη με τον περιεχόμενο άνθρακα στην ουρία (20%).

3.3.3. Εκπομπές CH_4 από τη γεωργία

Οι εκπομπές CH_4 οφείλονται κυρίως στην:

- Εντερική ζύμωση ζώων
- Διαχείριση κοπριάς
- Καύση υπολειμμάτων

Από τις τρεις παραπάνω κατηγορίες θα μελετηθεί η καύση υπολειμμάτων καθώς στις υπό μελέτη καλλιέργειες δε συνυπάρχουν ζώα.

Η καύση γεωργικών υπολειμμάτων στον αγρό αποτελεί πηγή έκλυσης CH_4 , N_2O αλλά και CO και NO_x .

Για τον υπολογισμό των εκπομπών CH₄, και N₂O εφαρμόζεται η παρακάτω σχέση:

$$L_{\text{fire}} = M_{\beta} \times G_{\text{ef}} \quad [20]$$

όπου:

L_{fire} η ποσότητα του αερίου που εκλύεται

M_{β} η διαθέσιμη οργανική ύλη προς καύση, τόνοι

G_{ef} Συντελεστής Εκπομπής, ο οποίος για το CH₄ είναι 2,7g/kg ξηρής ουσίας που καίγεται και για το N₂O είναι 0,07 g/kg ξηρής ουσίας (IPCC, 2006, Κεφάλαιο 2, Πίνακας 2.5). Οι εκπομπές υπολογίζονται για κάθε αέριο ξεχωριστά και στη συνέχεια μετατρέπονται σε CO_{2eq} και προστίθενται:

$$\text{CO}_{2\text{eq}} \text{ (kg/y)} = L_{\text{CH}_4} \times 25 + (L_{\text{N}_2\text{O}} \times 298) \quad [21]$$

3.3.4. Εκπομπές από καύσιμα και χρήση ηλεκτρικής ενέργειας

Η χρήση καυσίμων προκαλεί την εκπομπή και των τριών αερίων του θερμοκηπίου, η δε ποσότητα που εκλύεται εξαρτάται από την ποσότητα του καυσίμου, τον τύπο του και την περιεκτικότητά του σε άνθρακα, τον τύπο του οχήματος, τα χαρακτηριστικά του δρόμου, κ.α. Ο υπολογισμός της ποσότητας του CO_{2eq} που απελευθερώνεται γίνεται με την παρακάτω εξίσωση σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές της IPCC:

$$\text{GHG}_{\text{εκπομπή}} \text{ (Kg)} = \text{EF (Kg/L)} \times \text{Καύσιμο που καταναλώθηκε (L)} \quad [22]$$

Ο συντελεστής εκπομπής είναι διαφορετικός για κάθε αέριο και κάθε τύπο καυσίμου, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 8. Συντελεστές εκπομπής CO₂, CH₄, N₂O για διάφορους τύπους καυσίμων (Πηγή: (1): National Inventory Report for Greece 2020; (2):UK 2019 Conversion factors).

Είδος καυσίμου	EF _{CO2} ¹	EF _{CH4} ²	EF _{N2O} ²
	Kg CO _{2eq} /L		
Βενζίνη	2,2176	0,00688	0,00631

Πετρέλαιο	2,6676	0,0003	0,03425
LPG	1,5144	0,00101	0,00099
Βιοαιθανόλη	0,00855		
Βιοντίζελ	0,03178		

Για τον υπολογισμό των εκπομπών κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από το εθνικό δίκτυο διανομής, χρησιμοποιείται η σχέση

$$\text{Εκπομπή (Kg CO}_{2\text{eq}}/\text{y}) = EF \times (\text{Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας συμβατικής παραγωγής} - \text{Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές}) \quad [23]$$

Ο συντελεστής εκπομπής είναι διαφορετικός για κάθε κράτος και διαφοροποιείται κάθε χρόνο σύμφωνα με τις συνθήκες παραγωγής, όπως για παράδειγμα το ποσοστό παραγωγής με χρήση λιγνίτη, την ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές που εισέρχεται στο δίκτυο, την κατάσταση του δικτύου, κ.α. Σημειώνεται ότι στην παραπάνω εξίσωση η μείωση των εκπομπών λόγω χρήσης ανανεώσιμων πηγών αναφέρεται στη χρήση τέτοιων πηγών από τον καταναλωτή και όχι από τον πάροχο ηλεκτρικής ενέργειας. Ο συντελεστής εκπομπής για την Ελλάδα για το έτος που διενεργήθηκε η μελέτη ήταν 0,5722 t CO_{2eq}/MWh (Koffi et al., 2017; Eurostat, 2019).

Η χρήση γης και η αλλαγή χρήσης γης δε λαμβάνονται υπόψη σε αυτή τη μελέτη.

Κεφάλαιο 4

Αποτελέσματα

Η μελέτη πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια των ετών 2020 – 2021 στη Θήβα και την ευρύτερη περιοχή αυτής. Η Θήβα βρίσκεται στον νομό Βοιωτίας και είναι η έδρα του Δήμου Θηβαίων. Είναι μια από τις αρχαιότερες πόλεις της Ελλάδας με μεγάλη ιστορική και μυθολογική σημασία. Στην ανατολική πλευρά της πόλης βρίσκεται το Δάσος του Μοσχοποδίου, στο οποίο φύεται πληθώρα βοτανικών ειδών. Στην πεδιάδα της Θήβας βρίσκεται η Λίμνη Υλίκη, η οποία αξιοποιείται και ως βοηθητική πηγή υδροληψίας της ΕΥΔΑΠ, καθώς και ένα μέρος της Λίμνης Παραλίμνη. Οι λίμνες αυτές έχουν ενταχθεί μαζί με τον Βοιωτικό Κηφισό ποταμό στο δίκτυο Natura 2000. Ο πληθυσμός της Θήβας ανέρχεται στους 22.883 κατοίκους (ΕΛΣΤΑΤ, 2011).



Σχήμα 6. Χάρτης της Ελλάδας με τον νομό Βοιωτίας. Στον νομό επισημαίνεται με πράσινο χρώμα η περιοχή όπου διεξήχθη η έρευνα.

Μεγάλο μέρος του πληθυσμού της περιοχής ασχολείται στον πρωτογενή τομέα παραγωγής, τη γεωργία και την κτηνοτροφία. Τα κυριότερα φυτικά είδη που καλλιεργούνται είναι σκληρό σιτάρι, ελιά, ξερό κρεμμύδι, γεώμηλα, αμπέλι και βαμβάκι. Η κτηνοτροφία (αιγοπρόβατα και βοοειδή) είναι ένας ακόμα σημαντικός οικονομικός και παραγωγικός τομέας της περιοχής.

Τα στοιχεία για την παρούσα μελέτη συλλέχθηκαν με τη μέθοδο των προσωπικών συνεντεύξεων των παραγωγών και τη συμπλήρωση ερωτηματολογίων (Παράρτημα Ι). Στην έρευνα συμμετείχαν είκοσι ένας παραγωγοί ελιάς (έντεκα με συμβατική καλλιέργεια και δέκα με βιολογική) και είκοσι τρεις παραγωγοί κριθαριού(δεκατρείς με συμβατική καλλιέργεια και δέκα με βιολογική).

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 9, το σύνολο των αγροτεμαχίων που συμπεριλήφθηκαν στην έρευνα είναι σαράντα τρία (43) και το σύνολο των στρεμμάτων είναι οκτακόσια πενήντα εννέα (859). Από αυτά, εξήντα ένα (61) στρέμματα αφορούν συμβατική καλλιέργεια ελιάς (ΕΣ), σαράντα οκτώ (48) ελιά βιολογική (ΕΒ), πεντακόσια σαράντα εννέα (549) κριθάρι συμβατικής καλλιέργειας (ΚΣ) και διακόσια ένα (201) κριθάρι βιολογικής καλλιέργειας (ΚΒ).

Πίνακας 9. Σύνολο παραγωγών που συμμετείχαν στην έρευνα και στρεμμάτων που συμπεριλήφθηκαν σ' αυτή.

Είδος καλλιέργειας	Παραγωγοί	Στρέμματα
Ελιά-Συμβατική	11	61
Ελιά-Βιολογική	10	48
Μερικό σύνολο	21	109
Κριθάρι-Συμβατικό	13	549
Κριθάρι-Βιολογικό	10	201
Μερικό σύνολο	23	750
ΣΥΝΟΛΟ	44	859

Η πληροφορία που συλλέχθηκε από τους παραγωγούς περιλαμβάνεται στους παρακάτω Πίνακες 10 και 11.

Όσον αφορά την καλλιέργεια της ελιάς (Πίνακας 10), πρόκειται για ξηρικούς αγρούς, ενώ , δεν εφαρμόζεται κοπριά, κόμποστ, ουρία ή ασβεστόλιθος. Δεν γίνεται κομποστοποίηση οργανικών υπολειμμάτων της καλλιέργειας, δε χρησιμοποιείται ηλεκτρικό ρεύμα ή κάποιος τύπος ανανεώσιμης ενέργειας.

Πίνακας 10. Καλλιεργητικές πρακτικές και ετήσιες καταναλώσεις της καλλιεργητικής περιόδου 2020-2021 για τους συμβατικούς (ΕΣ) και τους βιολογικούς ελαιώνες(ΕΒ) και συνολική απόδοση.

ΑΓΡΟΣ	Έκταση στρέμματα	Λιπάσματα ποσότητα N, kg	Καύση κλαδιών kg	Είδος καυσίμου	Ποσότητα καυσίμων, L	Συνολική απόδοση (kg ελαιόκαρπου)
ΕΣ1	7	3kg/στρ 20-6-12	-	Πετρέλαιο Βενζίνη	60	2.100
					10	
ΕΣ2	9	4kg/στρ 20-6-10	400	Πετρέλαιο Βενζίνη	70	2.970
					15	
ΕΣ3	9	3kg/στρ 19-5-15	-	Πετρέλαιο Βενζίνη	55	2.268
					15	
ΕΣ4	2	3kg/στρ 20-6-12	110	Πετρέλαιο	20	440
ΕΣ5	4	4kg/στρ 19-5-15	-	Πετρέλαιο Βενζίνη	30	1.232
					5	
ΕΣ6	7	3kg/στρ 20-6-12	-	Πετρέλαιο Βενζίνη	50	1.820
					10	
ΕΣ7	5	2kg/στρ 20-6-10	150	Πετρέλαιο	40	1.140
ΕΣ8	8	2kg/στρ 19-5-15	-	Πετρέλαιο Βενζίνη	60	2.352
					10	
ΕΣ9	1	2kg/στρ 20-6-10	60	Πετρέλαιο	10	180
ΕΣ10	7	2kg/στρ 20-6-12, και 2kg/στρ 21-0-0	-	Πετρέλαιο Βενζίνη	65	2.000
					10	
ΕΣ11	2	3kg/στρ 20-6-12	80	Πετρέλαιο Βενζίνη	20	420
					5	
ΕΒ1	6	-	-	Πετρέλαιο Βενζίνη	35	1.024
					8	
ΕΒ2	3	-	-	Πετρέλαιο	20	560
ΕΒ3	7	-	250	Πετρέλαιο Βενζίνη	38	1.274
					10	
ΕΒ4	5	-	-	Πετρέλαιο Βενζίνη	30	975
					5	
ΕΒ5	2	-	-	Πετρέλαιο	15	375
ΕΒ6	3	-	-	Πετρέλαιο	20	504
ΕΒ7	9	-	280	Πετρέλαιο Βενζίνη	50	1.170
					10	
ΕΒ8	5	-	-	Πετρέλαιο Βενζίνη	30	750
					5	
ΕΒ9	2	-	-	Πετρέλαιο	20	300
ΕΒ10	6	-	200	Πετρέλαιο Βενζίνη	35	660
					5	

Όσον αφορά την καλλιέργεια κριθαριού (Πίνακας 11), πρόκειται για αγρούς στους οποίους εφαρμόζεται ουρία, υπάρχει κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας δικτύου για όσους αρδεύονται, ενώ, δεν εφαρμόζεται κοπριά, κόμποστ, ή ασβεστόλιθος. Δεν γίνεται κομποστοποίηση οργανικών υπολειμμάτων της καλλιέργειας ούτε καύση.

Πίνακας 10. Καλλιεργητικές πρακτικές και ετήσιες καταναλώσεις της καλλιεργητικής περιόδου 2020-2021 για τους συμβατικούς (ΚΣ) και τους βιολογικούς αγρούς (ΚΒ) καλλιέργειας κριθαριού και συνολική απόδοση.

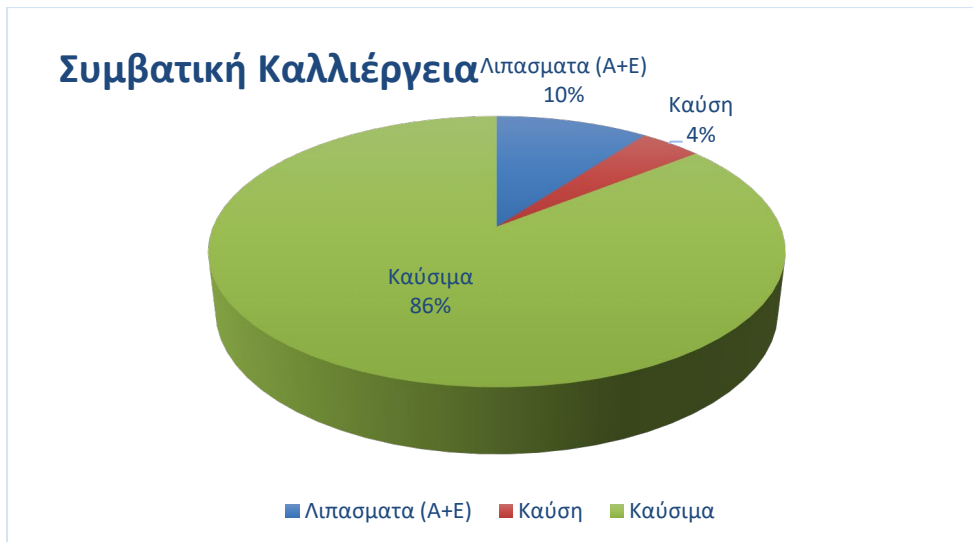
Αγρός	Εκταση στρ.	Τύπος άρδευσης	Λιπάσματα Kg/στρ	Ουρία 46-0-0 kg	Είδος καυσίμου	Ποσότητα Καυσίμων L	Ηλεκτρική Ενέργεια, δικτύου KWh	Συνολική απόδοση (kg κριθαριού)
ΚΣ1	60	Ξηρικό	25 (βασικό 16-20-0), και 15 (επιφανειακό 34-0-0)	20	Πετρέλαιο	940	-	34.800
ΚΣ2	40	Ξηρικό	25 (βασικό 16-20-0), και 20 (επιφανειακό 34-0-0)	-	Πετρέλαιο	1000	-	18.000
ΚΣ3	30	Ξηρικό	20 (βασικό 16-20-0)	20	Πετρέλαιο	1200	-	6.600
ΚΣ4	20	Καταιο-νισμός	25 (βασικό 16-20-0), και 15 (επιφανειακό 34-0-0)	20	Πετρέλαιο	340	855	10.000
ΚΣ5	32	Καταιο-νισμός	25 (βασικό 16-20-0), και 20 (επιφανειακό 34-0-0) και 20 (επιφανειακό 21-0-0)	-	Πετρέλαιο	490	1590	16.320
ΚΣ6	70	Καταιο-νισμός	20 (βασικό 20-23-0) και 20 (επιφανειακό 40-0-0)	-	Πετρέλαιο	1060	2900	35.000
ΚΣ7	6	Ξηρικό	40 (βασικό 16-20-0) και 40 (επιφανειακό 26-0-0)	-	Πετρέλαιο	100	-	3.120
ΚΣ8	10	Ξηρικό	40 (βασικό 16-20-0) και 40 (επιφανειακό 26-0-0)	-	Πετρέλαιο	150	-	5.500
ΚΣ9	16	Ξηρικό	25 (βασικό 16-20-0), και 15 (επιφανειακό 34-0-0)	-	Πετρέλαιο	260	-	5.600
ΚΣ10	50	Ξηρικό	25 (βασικό 16-20-0)	17	Πετρέλαιο	740	-	26.500
ΚΣ11	60	Καταιο-νισμός	20 (βασικό 15-10-15) και 20 (επιφανειακό 15-15-15)	-	Πετρέλαιο	820	2160	30.000
ΚΣ12	85	Καταιο-νισμός	15 (βασικό 20-10-0) και 15 (επιφανειακό 34-0-0)	15	Πετρέλαιο	1180	3020	45.050
ΚΣ13	70	Καταιο-νισμός	25 (βασικό 16-20-0) και 15 (επιφανειακό 34-0-0)	20	Πετρέλαιο	1100	2970	35.000
ΚΒ1	25	Ξηρικό	-	-	Πετρέλαιο	350	-	6.250
ΚΒ2	10	Ξηρικό	-	-	Πετρέλαιο	140	-	4.500
ΚΒ3	60	Καταιο-νισμός	1 (βιολογικό 14-0-0)	-	Πετρέλαιο	960	1400	18.000
ΚΒ4	30	Ξηρικό	-	-	Πετρέλαιο	410	-	6.600
ΚΒ5	12	Καταιο-νισμός	-	-	Πετρέλαιο	180	513	2.400
ΚΒ6	17	Ξηρικό	-	-	Πετρέλαιο	240	-	4.760
ΚΒ7	7	Ξηρικό	-	-	Πετρέλαιο	110	-	2.100
ΚΒ8	12	Ξηρικό	-	-	Πετρέλαιο	170	-	2.880
ΚΒ9	10	Ξηρικό	-	-	Πετρέλαιο	150	-	2.500
ΚΒ10	18	Ξηρικό	-	-	Πετρέλαιο	270	-	3.600

Στον Πίνακα 12 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τους υπολογισμούς και την μετατροπή των εκπομπών, σύμφωνα με τις εξισώσεις και τους συντελεστές που αναφέρθηκαν παραπάνω, σε ισοδύναμο CO₂ (CO_{2eq}) στους ελαιώνες.

Πίνακας 12. Εκπομπές CO_{2eq} ανά κατηγορία και συνολικά για τους ελαιώνες.

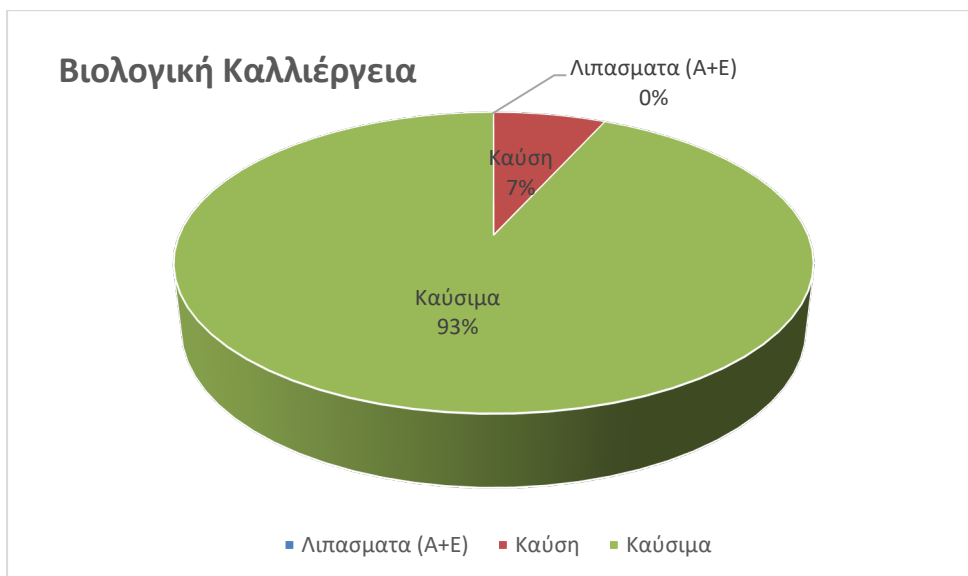
Αγρός	Άμεσες εκπομπές N ₂ O		Έμμεσες εκπομπές, N ₂ O		Πετρέλαιο	Βενζίνη	Σύνολο
	Λιπάσματα	Καύση υπολειμμάτων	Κατακρημνίσεις	Αποστράγγιση και απορροή			
CO _{2eq} ,kg/y							
ΕΣ1	19,67	0	0,098	0	162,1	22,3	204,2
ΕΣ2	33,72	35,3	0,168	0	189,2	33,5	291,9
ΕΣ3	24,02	0	0,120	0	148,6	33,5	206,2
ΕΣ4	5,62	9,7	0,028	0	54,0	0	69,4
ΕΣ5	14,24	0	0,071	0	81,0	11,2	106,5
ΕΣ6	19,67	0	0,098	0	135,1	22,3	177,2
ΕΣ7	9,37	13,2	0,046	0	108,1	0	130,8
ΕΣ8	14,24	0	0,071	0	162,1	22,3	198,7
ΕΣ9	1,87	5,30	0,009	0	27,0	0	34,2
ΕΣ10	26,88	0	0,134	0	175,6	22,3	224,9
ΕΣ11	5,62	7,07	0,0281	0	54,0	11,2	77,9
ΕΒ1	0	0	0	0	94,6	17,8	112,4
ΕΒ2	0	0	0	0	54,0	0	54,0
ΕΒ3	0	22,1	0	0	102,7	22,3	147,1
ΕΒ4	0	0	0	0	81,1	11,2	92,2
ΕΒ5	0	0	0	0	40,5	0	40,5
ΕΒ6	0	0	0	0	54,0	0	54,0
ΕΒ7	0	24,7	0	0	135,1	22,3	182,2
ΕΒ8	0	0	0	0	81,1	11,2	92,2
ΕΒ9	0	0	0	0	54,0	0	54,0
ΕΒ10	0	17,7	0	0	94,6	11,2	123,4

Στο Διάγραμμα 5 παρουσιάζεται το ποσοστό που αντιστοιχεί σε κάθε πηγή εκπομπής, επί των συνολικών εκπομπών όλων των αγρών συμβατικής καλλιέργειας ελιάς. Η συνεισφορά των καυσίμων ανέρχεται στο 86% επί του συνόλου, ενώ στην εφαρμογή αζωτούχων λιπασμάτων αντιστοιχεί το 10% των εκπομπών (άμεσων και έμμεσων). Το υπόλοιπο 4% οφείλεται στην καύση υπολειμμάτων.



Διάγραμμα 5. Ποσοστό συμμετοχής κάθε πηγής εκπομπών επί του συνόλου των εκπομπών όλων των συμβατικών ελαιώνων.

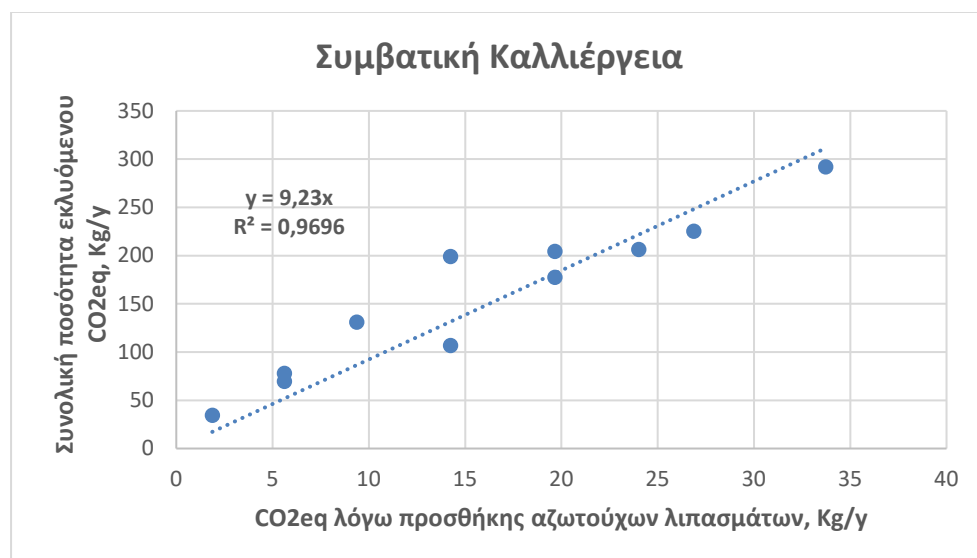
Στους βιολογικούς ελαιώνες (Διάγραμμα 6), το ποσοστό συμμετοχής των καυσίμων στις συνολικές εκπομπές ανέρχεται σε 93%, ενώ στην καύση το υπόλοιπο 7%.



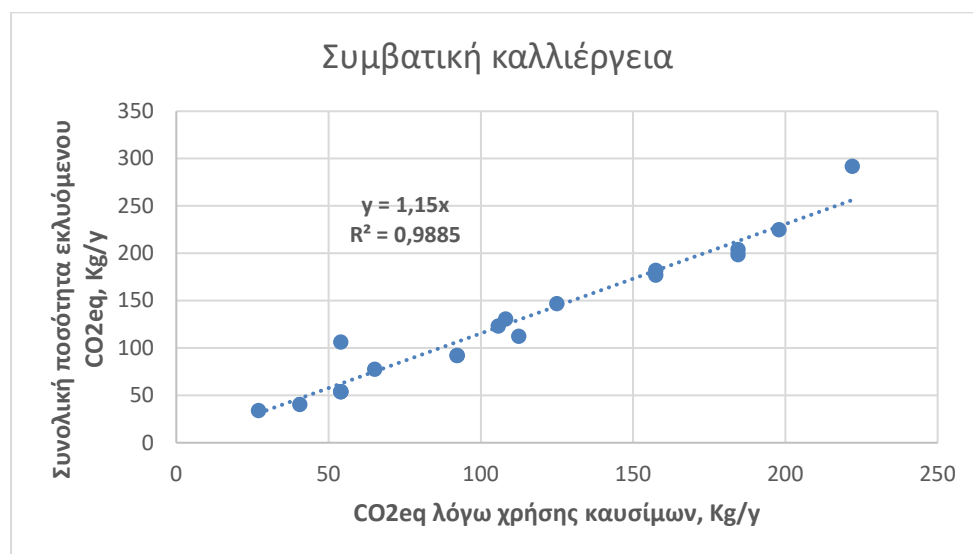
Διάγραμμα 6. Ποσοστό συμμετοχής κάθε πηγής εκπομπών επί του συνόλου των εκπομπών όλων των βιολογικών ελαιώνων.

Παρά το γεγονός όμως ότι το μεγαλύτερο ποσοστό εκπομπών και για τους δύο τύπους καλλιεργειών αποδίδεται στη χρήση καυσίμων, εν τούτοις η επίδραση των λιπασμάτων είναι σχεδόν οκταπλάσια της επίδρασης των καυσίμων, όπως παρατηρείται στα διαγράμματα 7 και 8, στα οποία παρουσιάζεται η επίδραση της

εφαρμογής λιπασμάτων και χρήσης καυσίμων στο σύνολο των εκπομπών, αντίστοιχα.



Διάγραμμα 7. Συνολικές εκπομπές ως συνάρτηση των εκπομπών λόγω εφαρμογής λιπασμάτων σε συμβατικούς ελαιώνες.



Διάγραμμα 8. Συνολικές εκπομπές ως συνάρτηση των εκπομπών λόγω χρήσης καυσίμων σε συμβατικούς ελαιώνες.

Η εμπειρική σχέση για τους συμβατικούς ελαιώνες όπως προκύπτει από τα διαγράμματα 7 και 8 είναι:

$$\text{CO}_{2\text{eq}}/\text{y ολικό} = 9,23 \times \text{CO}_{2\text{eq}}/\text{y λόγω λιπασμάτων}, R^2 = 0,9696$$

$$\text{CO}_{2\text{eq}}/\text{y ολικό} = 1,15 \times \text{CO}_{2\text{eq}}/\text{y λόγω καυσίμων}, R^2 = 0,9885$$

Ο λόγος των κλίσεων των δύο αυτών συναρτήσεων είναι $9,23/1,15 = 8,03$, δηλαδή για κάθε μονάδα των δύο αυτών υλικών, η επίδραση των λιπασμάτων είναι κατά

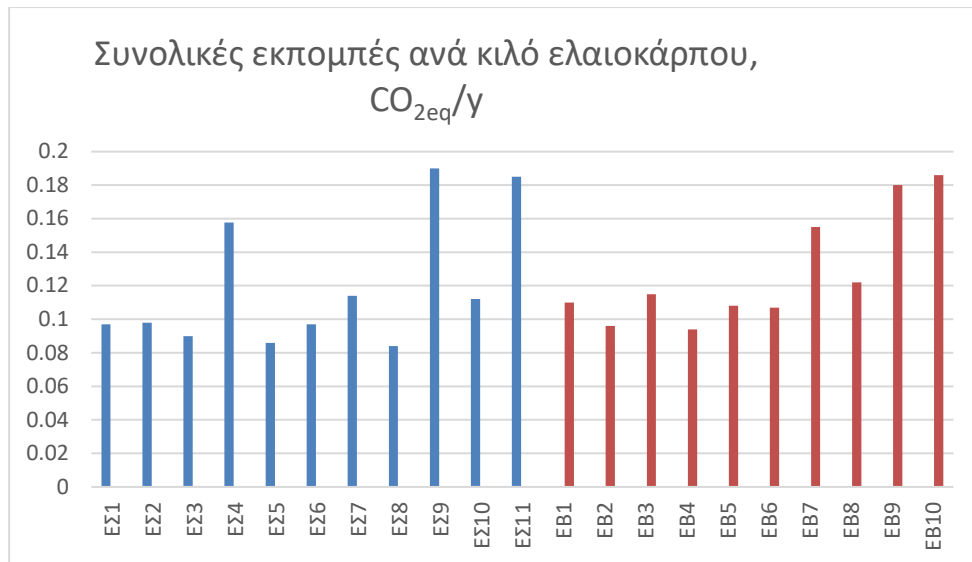
8,02 φορές σημαντικότερη. Το συμπέρασμα αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η χρήση λιπασμάτων ευθύνεται για την εκπομπή N₂O με δυναμικό υπερθέρμανσης 298, ενώ τα καύσιμα απελευθερώνουν κυρίως CO₂ με δυναμικό υπερθέρμανσης 1 (Πίνακας 5).

Στον Πίνακα 13 παρουσιάζονται οι συνολικές εκπομπές, οι συνολικές εκπομπές ανά στρέμμα και ανά kg παραγωγής για κάθε αγρό συμβατικής και βιολογικής καλλιέργειας ελιάς.

Πίνακας 13. Συνολικές εκπομπές, συνολικές εκπομπές ανά στρέμμα και ανά kg παραγωγής για κάθε αγρό συμβατικής και βιολογικής καλλιέργειας ελιάς.

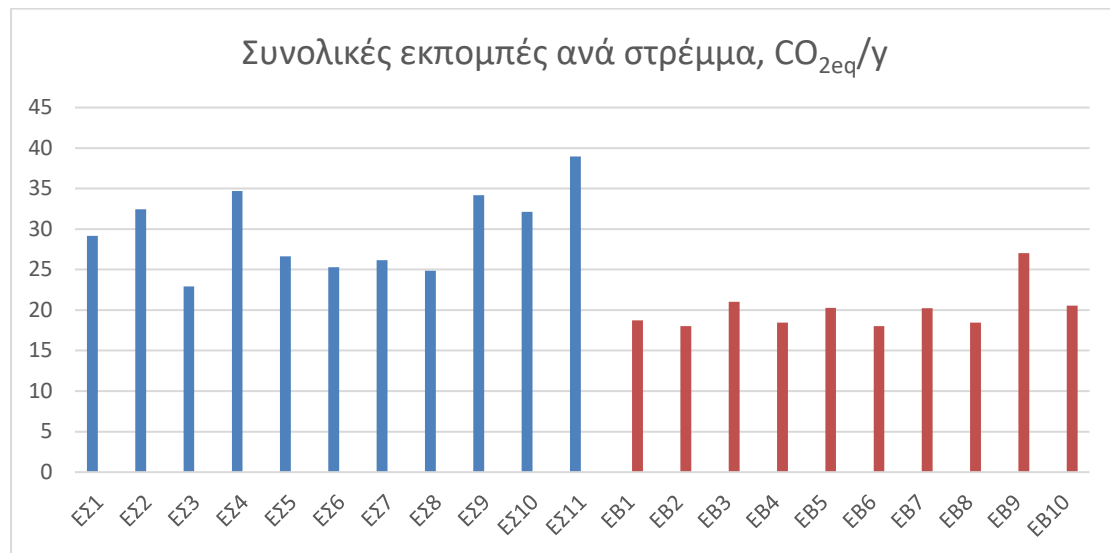
Αγρός	Συνολικές εκπομπές	Συνολικές εκπομπές ανά στρέμμα	Συνολικές εκπομπές ανά kg παραγωγής
	CO _{2eq} /y		
ΕΣ1	204,2	29,2	0,097
ΕΣ2	291,9	32,4	0,098
ΕΣ3	206,2	22,9	0,090
ΕΣ4	69,4	34,7	0,158
ΕΣ5	106,5	26,6	0,086
ΕΣ6	177,2	25,3	0,097
ΕΣ7	130,8	26,2	0,114
ΕΣ8	198,7	24,8	0,084
ΕΣ9	34,2	34,2	0,190
ΕΣ10	224,9	32,2	0,112
ΕΣ11	77,9	38,9	0,185
ΕΒ1	112,4	18,7	0,110
ΕΒ2	54,0	18,0	0,096
ΕΒ3	147,1	21,0	0,115
ΕΒ4	92,2	18,4	0,094
ΕΒ5	40,5	20,3	0,108
ΕΒ6	54,0	18,0	0,107
ΕΒ7	182,2	20,2	0,155
ΕΒ8	92,2	18,4	0,122
ΕΒ9	54,0	27,0	0,180
ΕΒ10	123,4	20,6	0,186

Στην απεικόνιση των συνολικών εκπομπών και των δύο τύπων καλλιέργειας, συμβατικής και βιολογικής, στο Διάγραμμα 9, δεν παρατηρείται σημαντική διαφοροποίηση ως προς τις συνολικές εκπομπές ανά κιλό παραγωγής ανάμεσα στα δύο συστήματα καλλιέργειας ελιάς. Για τους αγρούς ΕΣ4, ΕΣ9, ΕΣ11, ΕΒ7, ΕΒ9 και ΕΒ10 παρατηρούνται οι υψηλότερες εκπομπές και οφείλονται στον μικρή έκταση καλλιέργειας και στη χαμηλή απόδοση.



Διάγραμμα 9. Συνολικές εκπομπές ανά κιλό ελαιοκάρπου σε συμβατική και βιολογική καλλιέργεια ελιάς.

Αντίθετα, το Διάγραμμα 10, στο οποίο παριστάνονται οι συνολικές εκπομπές ανά καλλιεργούμενο στρέμμα, καταδεικνύει ότι η βιολογική καλλιέργεια υπερτερεί σημαντικά της συμβατικής.



Διάγραμμα 10. Συνολικές εκπομπές ανά καλλιεργούμενο στρέμμα σε συμβατική και βιολογική καλλιέργεια ελιάς.

Στον Πίνακα 14 παρουσιάζονται οι στατιστικές παράμετροι των δύο συστημάτων καλλιέργειας, οι οποίες οδηγούν στο γενικό συμπέρασμα ότι δεν υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ συμβατικής και βιολογικής καλλιέργειας όσον αφορά τις ετήσιες εκπομπές CO_{2eq} ανά κιλό ελαιοκάρπου, οι οποίες είναι 0,12

kg/y και τυπική απόκλιση 0,04 kg/y για τη συμβατική καλλιέργεια και 0,13 kg/y και τυπική απόκλιση 0,03 kg/y για τη βιολογική.

Όσον αφορά στις εκπομπές ανά καλλιεργούμενο στρέμμα, για τη συμβατική καλλιέργεια είναι 29,8 kg/y με τυπική απόκλιση 5,06kg/y, ενώ για τη βιολογική 20,1kg/y με τυπική απόκλιση 2,69kg/y.

Πίνακας 14. Στατιστικές παράμετροι για την συμβατική και βιολογική καλλιέργεια ελιάς.

Παράμετρος	Ανά κιλό ελαιοκάρπου		Ανά στρέμμα	
	CO _{2eq} Kg/y			
	Συμβατική	Βιολογική	Συμβατική	Βιολογική
Μέση τιμή	0,12	0,13	29,8	20,1
Μέγιστη τιμή	0,19	0,19	38,9	27,0
Ελάχιστη τιμή	0,08	0,09	22,9	18,0
Διάμεσος τιμή	0,10	0,11	29,2	19,5
Τυπική απόκλιση	0,04	0,03	5,06	2,69

Τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής είναι σε συμφωνία με δεδομένα άλλων ερευνητικών εργασιών για την καλλιέργεια της ελιάς στη Μεσόγειο κα ιδιαίτερα στην Ελλάδα. Οι Taxidis et al., (2015) υπολόγισαν τις ετήσιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου από βιολογική και συμβατική καλλιέργεια ελιάς στην Ελλάδα μεταξύ 0,10 και 0,22 CO_{2eq} Kg/Kg καρπού, με τη μικρότερη τιμή να αντιστοιχεί σε αγρούς όπου χρησιμοποιούνται ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

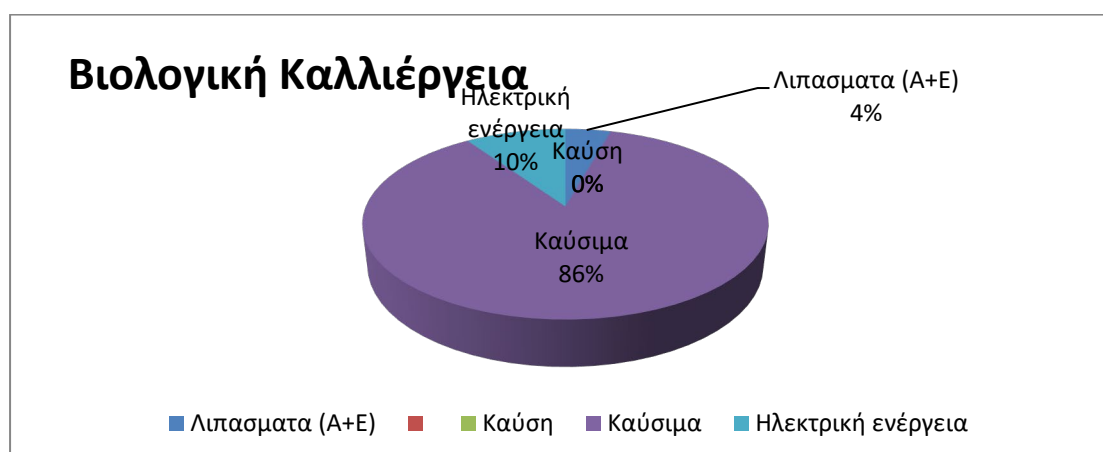
Όπως στην περίπτωση της ελιάς, έτσι και σε αυτή του κριθαριού έγιναν οι αντίστοιχοι υπολογισμοί. Στον πίνακα 15 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τους υπολογισμούς και την μετατροπή των εκπομπών, σύμφωνα με τις εξισώσεις και τους συντελεστές που αναφέρθηκαν παραπάνω, σε ισοδύναμο CO₂ (CO_{2eq}) στους αγρούς καλλιέργειας κριθαριού.

Πίνακας 15. Υπολογισμός και μετατροπή εκπομπών σε CO_{2eq} για τους αγρούς καλλιέργειας κριθαριού.

Αγρός	Άμεσες εκπομπές, N ₂ O		Έμμεσες εκπομπές, N ₂ O		Πετρέλαιο	Ηλεκτρικό Ρεύμα	Σύνολο
	Λιπάσματα	Ουρία	Κατακρημνίσεις	Αποστράγγιση και απορροή			
CO _{2eq} , kg/y							
ΚΣ1	2.556	880	235	0	2.540	0	6.212
ΚΣ2	2.023	0	35,6	0	2.702	0	4.761
ΚΣ3	450	440	99,2	0	3.242	0	4.231
ΚΣ4	852	293	78,4	452	919	400	2.996
ΚΣ5	2.248	0	31,6	593	1.324	744	4.941
ΚΣ6	3.934	0	72,1	1.038	2.864	1.358	9.266
ΚΣ7	472	0	8,20	0	270	0	750
ΚΣ8	787	0	13,7	0	405	0	1.208
ΚΣ9	682	0	148	0	702	0	1.533
ΚΣ10	1.124	623	143	0	1.999	0	3.889
ΚΣ11	1.686	0	25,29	445	2.216	1.012	5.383
ΚΣ12	3.224	935	263	1.986	3.188	1.414,266	11.010
ΚΣ13	2.983	1.027	274	1.584	2.972	1.391	10.231
ΚΒ1	0	0	0	0	946	0	946
ΚΒ2	0	0	0	0	378	0	378
ΚΒ3	393	0	0,197	10,38	2.594	656	3.654
ΚΒ4	0	0	0	0	1.108	0	1.108
ΚΒ5	0	0	0	0	486	240	727
ΚΒ6	0	0	0	0	648	0	648
ΚΒ7	0	0	0	0	297	0	297
ΚΒ8	0	0	0	0	459	0	459
ΚΒ9	0	0	0	0	405	0	405
ΚΒ10	0	0	0	0	729	0	729

Στο Διάγραμμα 11 παρουσιάζονται αναλυτικά τα ποσοστά που αντιστοιχούν σε όλες τις πηγές εκπομπών που λήφθηκαν υπόψη στους αγρούς βιολογικής καλλιέργειας κριθαριού.

Ειδικότερα, παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό αντιστοιχεί στα καύσιμα (86%), ακολουθεί η ηλεκτρική ενέργεια (10%) και τέλος τα λιπάσματα (4% - άμεσες και έμμεσες εκπομπές). Το ποσοστό της καύσης είναι μηδέν.

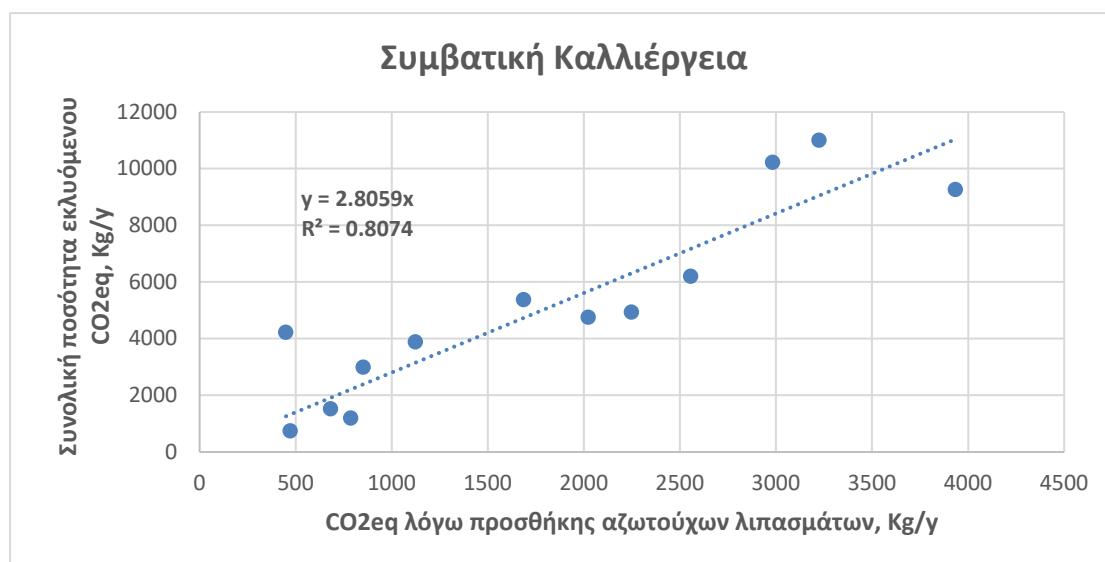


Διάγραμμα 11. Ποσοστά εκπομπών λιπασμάτων, καύσης, ηλεκτρικής ενέργειας και καυσίμων στην βιολογική καλλιέργεια κριθαριού.

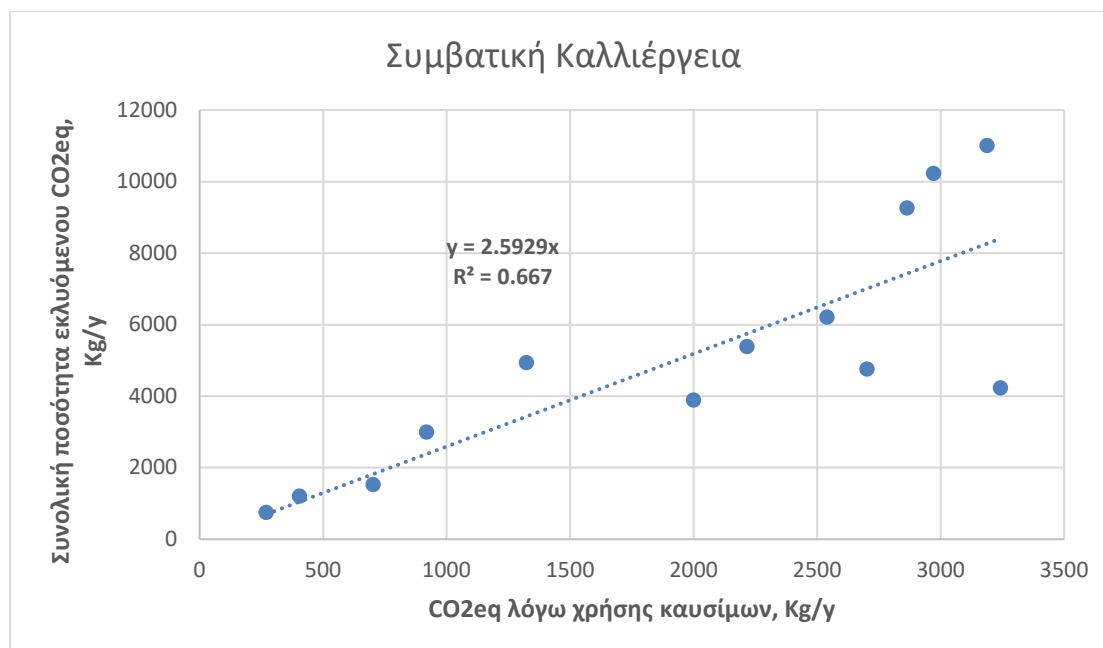
Τα αντίστοιχα ποσοστά για την συμβατική καλλιέργεια κριθαριού είναι 54% για τα λιπάσματα (άμεσες και έμμεσες εκπομπές), 37% για τα καύσιμα και 9% για την ηλεκτρική ενέργεια. Οι εκπομπές λόγω της καύσης και σε αυτή την περίπτωση είναι μηδενικές. Επομένως, στην συμβατική καλλιέργεια κριθαριού το μεγαλύτερο ποσοστό των εκπομπών οφείλεται στην λίπανση (Διάγραμμα 12).



Διάγραμμα 12. Ποσοστά εκπομπών λιπασμάτων, καύσης, ηλεκτρικής ενέργειας και καυσίμων στην συμβατική καλλιέργεια κριθαριού.



Διάγραμμα 13. Συνολικές εκπομπές ως συνάρτηση των εκπομπών λόγω εφαρμογής λιπασμάτων σε συμβατικές καλλιέργειες κριθαριού.



Διάγραμμα 14. Συνολικές εκπομπές ως συνάρτηση των εκπομπών λόγω χρήσης καυσίμων σε συμβατικές καλλιέργειες κριθαριού.

Η εμπειρική σχέση για τις συμβατικές καλλιέργειες κριθαριού όπως προκύπτει από τα διαγράμματα 13 και 14 είναι:

$$CO_{2eq}/y \text{ ολικό} = 2,805 \times CO_{2eq}/y \text{ λόγω λιπασμάτων}, R^2 = 0,807$$

$$CO_{2eq}/y \text{ ολικό} = 2,592 \times CO_{2eq}/y \text{ λόγω καυσίμων}, R^2 = 0,667$$

Ο λόγος των κλίσεων των δύο αυτών συναρτήσεων είναι $2,805/2,592 = 1,08$, δηλαδή για κάθε μονάδα των δύο αυτών υλικών, η επίδραση των λιπασμάτων είναι κατά 1,08 φορές σημαντικότερη.

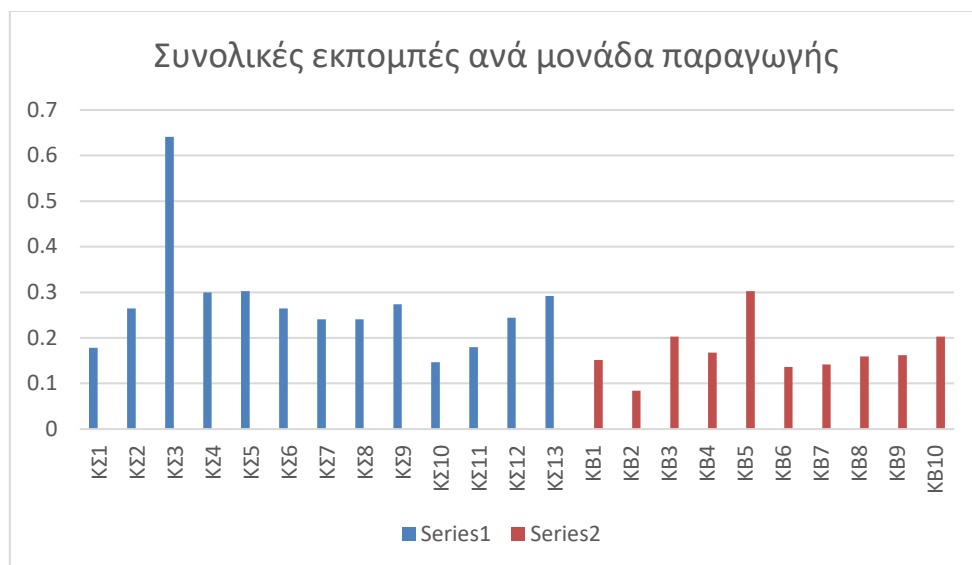
Στον Πίνακα 16 παρουσιάζονται οι συνολικές εκπομπές, οι συνολικές εκπομπές ανά στρέμμα και ανά kg παραγωγής για κάθε αγρό συμβατικής και βιολογικής καλλιέργειας κριθαριού.

Πίνακας 16. Συνολικές εκπομπές, συνολικές εκπομπές ανά στρέμμα και ανά kg παραγωγής για κάθε αγρό συμβατικής και βιολογικής καλλιέργειας κριθαριού.

Αγρός	Συνολικές εκπομπές	Συνολικές εκπομπές ανά στρέμμα	Συνολικές εκπομπές ανά kg παραγωγής
ΚΣ1	6.212	104	0,178
ΚΣ2	4.761	119	0,264
ΚΣ3	4.231	141	0,641
ΚΣ4	2.996	149	0,299
ΚΣ5	4.941	154	0,303
ΚΣ6	9.266	132	0,265
ΚΣ7	750	125	0,240
ΚΣ8	1.206	120	0,241

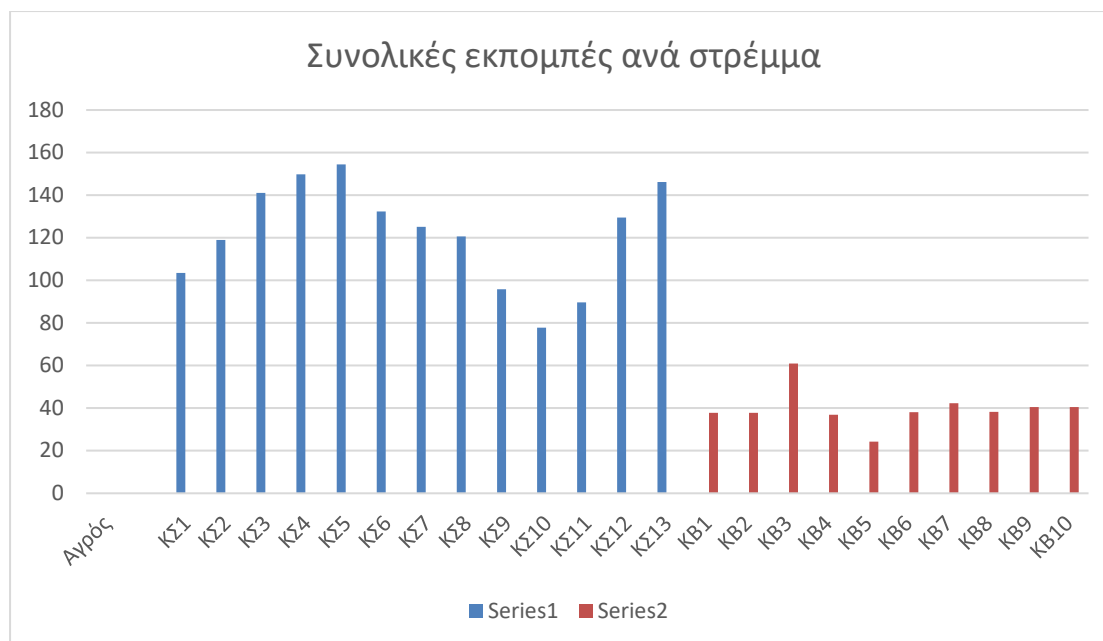
ΚΣ9	1.533	95,8	0,274
ΚΣ10	3.889	77,8	0,147
ΚΣ11	5.383	89,7	0,179
ΚΣ12	11.011	129	0,244
ΚΣ13	10.231	146	0,292
ΚΒ1	946	37,8	0,151
ΚΒ2	378	37,8	0,084
ΚΒ3	3.654	60,9	0,203
ΚΒ4	1.108	36,9	0,168
ΚΒ5	727	24,2	0,303
ΚΒ6	648	38,2	0,136
ΚΒ7	297	42,3	0,142
ΚΒ8	459	38,3	0,159
ΚΒ9	405	40,5	0,162
ΚΒ10	729	40,5	0,203

Στην απεικόνιση των συνολικών εκπομπών και των δύο τύπων καλλιέργειας, συμβατικής και βιολογικής, στο Διάγραμμα 15, παρατηρείται διαφοροποίηση ως προς τις συνολικές εκπομπές ανά κιλό παραγωγής ανάμεσα στα δύο συστήματα καλλιέργειας κριθαριού.



Διάγραμμα 15. Συνολικές εκπομπές ανά κιλό κριθαριού σε συμβατική και βιολογική καλλιέργεια κριθαριού.

Στο Διάγραμμα 16, στο οποίο παριστάνονται οι συνολικές εκπομπές ανά καλλιεργούμενο στρέμμα, καταδεικνύει ότι η βιολογική καλλιέργεια υπερτερεί σημαντικά της συμβατικής.



Διάγραμμα 16. Συνολικές εκπομπές ανά καλλιεργούμενο στρέμμα σε συμβατική και βιολογική καλλιέργεια κριθαριού.

Στον Πίνακα 17 παρουσιάζονται οι στατιστικές παράμετροι των δύο συστημάτων καλλιέργειας, οι οποίες οδηγούν στο γενικό συμπέρασμα ότι υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ συμβατικής και βιολογικής καλλιέργειας.

Όσον αφορά τις ετήσιες εκπομπές CO_{2eq} ανά κιλό κριθαριού είναι 0,28 kg/y και τυπική απόκλιση 0,13 kg/y για τη συμβατική καλλιέργεια και 0,17 kg/y και τυπική απόκλιση 0,06 kg/y για τη βιολογική.

Όσον αφορά στις εκπομπές ανά καλλιεργούμενο στρέμμα, για τη συμβατική καλλιέργεια είναι 119,01 kg/γμε τυπική απόκλιση 24,98 kg/y, ενώ για τη βιολογική 39,75 kg/γμε τυπική απόκλιση 8,92 kg/y.

Πίνακας 17. Στατιστικές παράμετροι για την συμβατική και βιολογική καλλιέργεια κριθαριού.

Παράμετρος	Ανά κιλό κριθαριού		Ανά στρέμμα	
	CO _{2eq} Kg/y			
	Συμβατική	Βιολογική	Συμβατική	Βιολογική
Μέση τιμή	0,28	0,17	119,01	39,75
Μέγιστη τιμή	0,64	0,30	154,41	60,89
Ελάχιστη τιμή	0,15	0,08	77,79	24,22

Διάμεσος τιμή	0,26	0,16	120,57	38,24
Τυπική απόκλιση	0,13	0,06	24,98	8,92

Κεφάλαιο 5

Συμπεράσματα

Το κυριότερο συμπέρασμα της παρούσης διατριβής είναι η μεγάλη επίδραση της χρήσης καυσίμων και αζωτούχων λιπασμάτων στις συνολικές εκπομπές της περιοχής μελέτης.

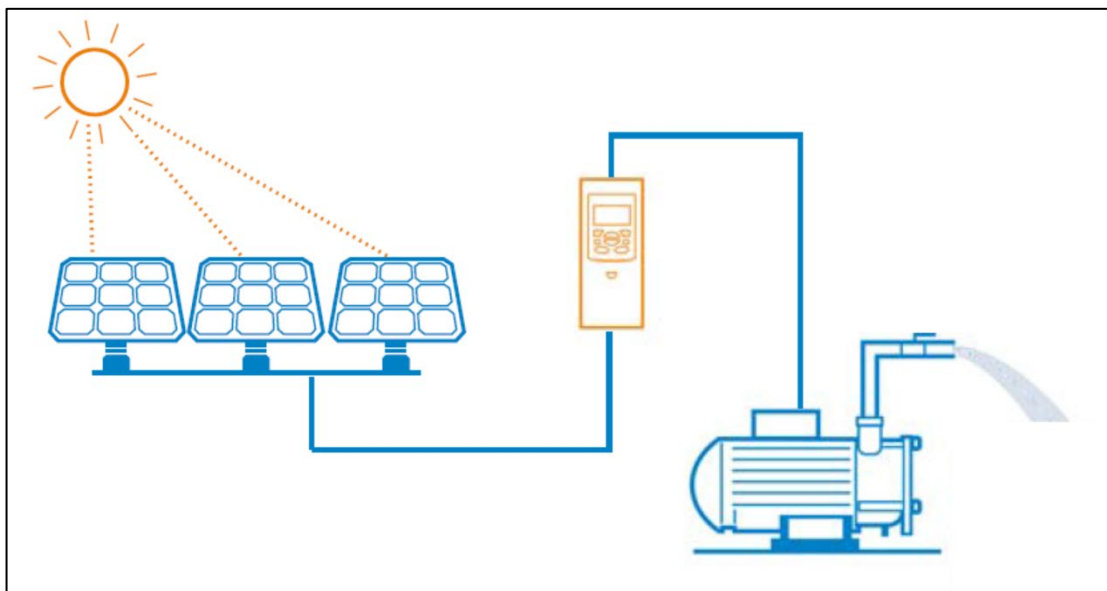
Οι Έλληνες παραγωγοί οι οποίοι συμμετείχαν στην έρευνα αυτή αντιπροσωπεύουν τον μέσο Έλληνα παραγωγό, με κύρια χαρακτηριστικά τη μειωμένη πρόσβαση στην καινοτομία, στις γνώσεις και στις εξελίξεις της τεχνολογίας. Οι περισσότεροι εξ' αυτών συνεχίζουν να ασκούν την παραδοσιακή γεωργία ακόμα και στην περίπτωση που έχουν επιλέξει να καλλιεργούν με βάση τις αρχές της βιολογικής γεωργίας. Σημαντικές αλλαγές και νεωτερισμοί, όπως χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, χρήση βιοκαυσίμων, κομποστοποίηση και επαναχρησιμοποίηση οργανικής ουσίας και θρεπτικών στον αγρό τους, γεωργία ακριβείας, χρήση τεχνολογίας παρακολούθησης και αξιολόγησης της ποιότητας του εδάφους ώστε να λαμβάνονται έγκαιρα τα κατάλληλα μέτρα προστασίας και βελτίωσής τους, δεν εφαρμόζονται από το μεγαλύτερο ποσοστό των παραγωγών.

5.1 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Η χρήση ηλεκτρικής ισχύος στον αγρό γίνεται κυρίως για τη λειτουργία του αρδευτικού συστήματος. Όπως καταγράφηκε και στους πειραματικούς αγρούς της διατριβής αυτής, όσοι αγροί ήταν αρδευόμενοι, είχαν και κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος.

Χρήση ηλεκτρικής ενέργειας απαιτεί επίσης και η λειτουργία των μηχανημάτων που χρησιμοποιούνται στη γεωργία ακριβείας, για λίπανση και άρδευση.

Η εγκατάσταση ηλιακού πάνελ για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και άντληση νερού από πηγάδια, γεωτρήσεις κλπ ή και μεταφορά νερού από το δίκτυο είναι πρακτική η οποία κερδίζει συνεχώς έδαφος.



Σχήμα 6. Σχηματική παράσταση χρήσης φωτοβολταϊκού για την άρδευση.

Στην περίπτωση της καλλιέργειας κριθαριού και επί του συνόλου των εκπομπών όλων των αγρών ανά είδος πρακτικής, συμβατική και βιολογική, το όφελος στη μείωση των εκπομπών θα ήταν 9% και 10% αντίστοιχα (Διαγράμματα 11 και 12).

5.2 Χρήση οργανικών λιπασμάτων

Η εφαρμογή οργανικών λιπασμάτων προσφέρει σημαντικά οφέλη, όπως στην αύξηση της οργανικής ουσίας του εδάφους και συνεπώς της γονιμότητάς του, την βελτίωση της δομής του εδάφους και τον αερισμό του, κ.α.

Παρ' όλα αυτά, ειδικά στην εντατική γεωργία, δεν είναι εφικτή η πλήρης αντικατάσταση των ανόργανων λιπασμάτων με οργανικά. Αυτό οφείλεται κυρίως στη μικρότερη περιεκτικότητα των οργανικών λιπασμάτων σε άζωτο (μέσος όρος περίπου 3%) και στη μορφή του αζώτου σε αυτά. Το άζωτο στα οργανικά λιπάσματα βρίσκεται σε ποσοστό μεγαλύτερο του 95% σε οργανική μορφή. Αυτό απαιτεί περισσότερο χρόνο ώστε το άζωτο να ανοργανοποιηθεί μέσω μικροβιακών δραστηριοτήτων, σε NO_3 και NH_4 , μορφές άμεσα διαθέσιμες στα φυτά. Η ετήσια όμως τροφοδοσία του εδάφους με οργανικά πρόσθετα μπορεί να διατηρήσει κανονική ροή παραγωγής ανόργανων μορφών αζώτου. Ένα

επιπλέον πλεονέκτημα αυτής της αργής παραγωγής των ανόργανων μορφών αζώτου είναι η μειωμένη απώλεια αυτών με τις βροχές ή την άρδευση, καθώς αυτά είναι ευδιάλυτα στο νερό. Αυτό είναι και το μεγάλο πρόβλημα των ανόργανων-χημικών λιπασμάτων, ότι δηλαδή τροφοδοτούν το έδαφος με άμεσα διαθέσιμο ανόργανο άζωτο, η απώλεια του οποίου όμως είναι εύκολη.

Η συνήθης πρακτική των γεωργών που χρησιμοποιούν οργανικά πρόσθετα είναι να αντικαθιστούν τη μισή ή το 1/3 της απαιτούμενης ποσότητα αζώτου με άζωτο από οργανικά πρόσθετα.

Σε αυτήν την περίπτωση, για τους ελαιώνες της μελέτης αυτής, το όφελος θα ήταν και περιβαλλοντικό και οικονομικό, καθώς το κόστος των οργανικών πρόσθετων είναι πολύ χαμηλότερο (για παράδειγμα ένα κιλό κόμποστ στοιχίζει περίπου 0,1 ευρώ).

Εκτός όμως από τη μείωση των εκπομπών και του κόστους παραγωγής, η πρακτική της ενσωμάτωσης οργανική ουσίας στο έδαφος συνδράμει τα μέγιστα στην αποθήκευση και αποτροπή διαφυγής του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Στην περίπτωση αυτή, το όφελος υπολογίζεται ως «Εκπομπές που αποφεύγονται λόγω δέσμευσης άνθρακα στο έδαφος» (Avoided emissions by carbon sequestration in soils) και υπολογίζονται από τη σχέση :

$$AE = M \times SCS \times (44/12). \quad [24]$$

Όπου:

AE οι εκπομπές που αποφεύγονται σε Kg CO_{2eq}/y

M η μάζα του οργανικού υλικού που διασπείρεται στο έδαφος σε κιλά

SCS το δυναμικό αποθήκευσης άνθρακα στο έδαφος σε tn C/tn οργανικού υλικού.

Η τιμή που χρησιμοποιείται για τον συντελεστή αυτόν είναι 0,24 tn C/tn οργανικού υλικού (USEPA, 2019).

Αν για παράδειγμα στον αγρό ΚΣ3 (Πίνακας 10), αντί της εφαρμογής 20 κιλών/στρέμμα συνθετικού λιπάσματος 16-20-0, αντικατασταθεί η μισή ποσότητα με κόμποστ, τότε το όφελος από την αποθήκευση άνθρακα στο έδαφος θα είναι 264 Kg CO_{2eq}/y στο σύνολο των 4.231Kg CO_{2eq}/y των εκπομπών του αγρού αυτού (Πίνακας 15), ποσότητα που αντιστοιχεί στο 6,2% των συνολικών εκπομπών.

5.3 Κομποστοποίηση και επαναχρησιμοποίηση στον αγρό

Η κομποστοποίηση είναι αποδεδειγμένα μέθοδος διαχείρισης οργανικών αποβλήτων, η οποία προσφέρει σημαντικά οφέλη, τόσο στην προστασία του περιβάλλοντος από την ανεξέλεγκτη αλλά και την ελεγχόμενη διάθεση των αποβλήτων. Σημαντικά βραχυπρόθεσμα οφέλη, περιβαλλοντικά και οικονομικά, προκύπτουν επίσης από την ανακύκλωση θρεπτικών συστατικών και οργανικής ουσίας στον αγρό, αλλά και μακροπρόθεσμα με τη σταδιακή βελτίωση της ποιότητας και γονιμότητας του εδάφους με αποτέλεσμα μεγαλύτερες αποδόσεις με μικρότερα κόστη.

Οι ελαιοκαλλιεργητές οι οποίοι συμμετείχαν στην παρούσα μελέτη δεν διαχειρίζονται τα υπολείμματα και τα κλαδεύματα της καλλιέργειας με άλλον τρόπο, παρά μόνον με καύση.

Σε ένα υποθετικό σενάριο για τους αγρούς ΕΣ4, ΕΣ9, ΕΣ11, ΕΒ3, ΕΒ7 και ΕΒ10, στους οποίους τα κλαδεύματα δεν καίγονται, αλλά κομποστοποιούνται με άλλα υλικά όπως κοπριά, η οποία είναι πλούσια σε άζωτο, οι εκπομπές μειώνονται σημαντικά, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι κατά την κομποστοποίηση εκλύονται αέρια θερμοκηπίου και συγκεκριμένα CH₄ και N₂O. Η εκπομπή CO₂ δεν υπολογίζεται στην περίπτωση της κομποστοποίησης καθώς πρόκειται για διαδικασία που περιλαμβάνει βιομάζα.

Η σχέση για τον υπολογισμό των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου κατά την κομποστοποίηση είναι (IPCC, 2006):

$$CO_{2eq}, kg/y = (M \times EF_{CH_4} \times 0,001 \times 25) + (M \times EF_{N_2O} \times 0,001 \times 298). \quad [25]$$

Όπου:

M η μάζα σε κιλά των υλικών που κομποστοποιούνται

EF_{CH₄} ο συντελεστής εκπομπής για το μεθάνιο, ο οποίος είναι ίσος με 4g /Kg υλικών (IPCC, 2006)

EF_{N₂O} ο συντελεστής εκπομπής για το υποξείδιο του αζώτου, ο οποίος είναι ίσος με 0,24g /Kg υλικών (IPCC, 2006).

Πίνακας 18. Συνολικές εκπομπές για αγρούς στις περιπτώσεις που διαχειρίζονται τα κλαδεύματα με καύση και κομποστοποίηση.

Αγρός	Στρέμματα/ απόδοση	Ποσότητα κλαδιών kg	Ποσότητα Κοπριάς, Kg (N=3,0%)	Συνολική ποσότητα Kg	ΚΑΥΣΗ		ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗ- ΔΙΑΣΠΟΡΑ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	
					Συνολικές εκπομπές ανά στρέμμα, CO ₂ eq,kg/y	Συνολικές εκπομπές ανά Kgκαρπού, CO ₂ eq,kg/y	Συνολικές εκπομπές ανά στρέμμα, CO ₂ eq,kg/y	Συνολικές εκπομπές ανά στρέμμα, CO ₂ eq,kg/y
ΕΣ4	2/440	110	145	255	34,7	0,158	-60,5	-0,275
ΕΣ9	1/180	60	80	140	34,2	0,190	-70,3	-0,390
ΕΣ11	2/420	80	107	187	38,9	0,185	-30,9	-0,147
ΕΒ3	7/1.274	250	333	583	21,0	0,115	-41,2	-0,226
ΕΒ7	9/1.170	280	373	653	20,2	0,155	-33,9	-0,261
ΕΒ10	6/660	200	267	467	20,6	0,186	-18,1	-0,247

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται το σημαντικό όφελος μιας απλής πρακτικής, αυτή της κομποστοποίησης και επαναχρησιμοποίησης στο έδαφος του κόμποστ, καθώς έχουμε συνολική μείωση των εκπομπών και επιπλέον όφελος από την προσθήκη άνθρακα στο έδαφος, φτάνοντας τελικά σε αρνητικά πρόσημα εκπομπών, δηλαδή σε καθαρό όφελος αποθήκευσης άνθρακα στο έδαφος.

Γίνεται συνεπώς σαφές ότι υιοθέτηση μικρών αλλαγών, όπως αυτή της κομποστοποίησης, της χρήσης ΑΠΕ αντί για ηλεκτρική ισχύ του δικτύου και υποκατάσταση μέρους των χημικών λιπασμάτων, όχι μόνον μειώνουν τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, αλλά έχουν καθαρό όφελος συγκράτησης του άνθρακα στα εδάφη.

Βιβλιογραφία

Adger, W.N., S. Agrawala, M.M.Q. Mirza, C. Conde, K. O'Brien, J. Pulhin, R. Pulwarty, B. Smit and K. Takahashi (2007). Assessment of adaptation practices, options, constraints and capacity. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 717-743.

Al-Mansour, Fouad & Ježič, Viktor. (2014). Carbon footprint of conventional and organic crops production on family farms in Slovenia. Available at: https://www.researchgate.net/publication/268159548_carbon_footprint_of_conventional_and_organic_crops_production_on_family_farms_in_slovenia/citation/download [15/11/2020].

Bruinsma, J. (2009). *The resource outlook to 2050: By how much do land, water use and crop yields need to increase by 2050?* 33 pp. Expert Meeting on How to Feed the World in 2050. Rome, FAO and ESDD. Available at: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/012/ak542e/ak542e06.pdf> [15/11/2020].

Burnley, M., Doust, J., Jones, A. (2010). Effects Of Prior Warm-up Regime On Severe Intensity Cycling Performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37.10.1097/00005768-200505001-00436.

Burton, I., Lim, B. (2005) Achieving Adequate Adaptation in Agriculture. *Climate Change*, 70: 191-200.

Chan, K.Y., Heenan, D.P., and So, H.B. (2003). Sequestration of carbon and changes in soil quality under conservation tillage on light-textured soils in Australia: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 43(4): 325-344.

Clavreul, J., Butnar, I., Rubio, V., King, H. (2017). Intra- and inter-year variability of agricultural carbon footprints - A case study on field-grown tomatoes. *Journal of Cleaner Production*, 158: 156-164.

Davis, S., Ken, C., Matthews, D. (2010). Future CO₂ Emissions and Climate Change from Existing Energy Infrastructure, *Science*, 329(5997): 1330-1333.

Delgado, C., M. Rosegrant, H. Steinfeld, S. Ehui, C. Courbois (1999). *Livestock to 2020: The Next Food Revolution. Food, Agriculture, and Environment*. Discussion Paper No.28, International Food Policy Research Institute, Washington D.C.

Denman, K., Brasseur, G., Chidthaisong, A. Ciais, P., Cox, P., Dickinson, R., Haugustaine, D., Heinze, C., Holland, E., Jacob, D., Lohmann, U., Ramachandran, S., Dias, P., Wofsy, S., Zhang, X. (2007). Couplings between changes in the climate system and biogeochemistry. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/224942928 Couplings Between Changes in the Climate System and Biogeochemistry](https://www.researchgate.net/publication/224942928_Couplings_Between_Changes_in_the_Climate_System_and_Biogeochemistry) [15/11/2020].

Dondini, M., Hastings, A., Jones, G., Jones, M., Smith, P. (2010). The potential of *Miscanthus* to sequester carbon in soils: comparing field measurements in Carlow, Ireland to model predictions, Available at: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1757-1707.2010.01033.x> [10/11/2020].

Downing, T. E., A. Patwardhan, et al. (2005). Vulnerability assessment for climate adaptation. *Adaptation Policy Frameworks for Climate Change: Developing Strategies, Policies and Measures*. B. Lim, E. Spanger-Siegfried, I. Burton, E. Malone and S. Huq. Cambridge, Cambridge University Press. Technical Paper 3.

Ekins, P. (2007). Sectoral sustainability and sustainability assessment methodologies: a review of methodology in light of collaboration with the UK oil and gas sector. *Journal of Environmental Planning and Management*. 50 (1): 87-111.

EUROSTAT,(2019)

<https://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/10820684/8-06052020-BP-EN.pdf/e1dd6cf1-09b5-d7ee-b769-ffe63e94561e>.

FAO (2006). *Livestock's long shadow – Environmental issues and options*, by H. Steinfeld, P. J. Gerber, T. Wassenaar, V. Castel, M. Rosales & C. de Haan. Rome.

FAOSTAT (2020). Analytical Brief 18: Emissions due to agriculture-Global, regional and country trends 2000-2018 (<https://www.fao.org/3/cb3808en/cb3808en.pdf>)

Huang, J., Minnis, P., Yan, H., Yi, Y., Chen, B., Zhang, L., Ayers, K. (2010), Dust aerosol effect on semi-arid climate over Northwest China detected from A-Train satellite measurements, *Atmos. Chem. Phys.*, 10(14): 6863–6872.

IEA (2007), IEA Database on CO2 Emissions from Fuel Combustion, 1971–2005.

IPCC (2007). Intergovernmental panel on climate change, WMO, UNEP. Climate change. The physical science basis, Summary for policymakers. IPCCWGI Fourth Assessment Report. SPM2feb07; 2007.

IPCC (2019).Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use.

Koffi, B., Cerutti, A., Duerr, M., Iancu, A., Kona, A., Janssens-Maenhout, G. (2017).CoM Default Emission Factors for the Member States of the European Union - Version 2017, European Commission, Joint Research Centre (JRC) [Dataset].

Koning, N., Ittersum, M. K. (2009). Will the world have enough to eat? *Current Opinion in Environmental Sustainability*. 1: 77-82.

LIFE 2016, Clim'Foot https://www.climfoot-project.eu/en/what-emission-factor#_ftn1

Mielcarek-Bocheńska, P.; Rzeźnik, W. Greenhouse Gas Emissions from Agriculture in EU Countries - State and Perspectives. *Atmosphere* 2021, 12, 1396. <https://doi.org/10.3390/atmos12111396>

Mohajan, H.K. (2011), Greenhouse Gas Emissions Increase Global Warming, *International Journal of Economic and Political Integration*, 1(2): 21–34.

Mohajan, H.K. (2013), *Global Greenhouse Gas Emissions and Climate Change*, Lambert Academic Publishing, Germany.

Mohajan, H.K. (2015a), Sustainable Development Policy of Global Economy, *American Journal of Environmental Protection*, 3(1): 12–29.

Mohajan, H.K. (2015b), Planetary Boundaries Must not be Crossed for the Survival of Humanity, *Journal of Environmental Treatment Techniques*, 3(4): 184–200.

National Inventory Report of Greece, 2021 <https://unfccc.int/documents/272918>

Ntinas, G.K., Neumair, M., Tsadilas, C.D., Meyer, J.(2017). Carbon footprint and cumulative energy demand of greenhouse and open-field tomato cultivation systems under Southern and Central European climatic conditions. *Journal of Cleaner Production*, 142: 3617-3626.

Shove, E. (2010). Social Theory and Climate Change: Questions Often, Sometimes and Not Yet Asked. *Theory Culture & Society*. 27: 277-288.

O'Mara, F. (2011). The significance of livestock as a contributor to global greenhouse gas emissions today and in the near future. *Fuel and Energy Abstracts*. 166: 7-15.

Page, G., Ridoutt, B., Bellotti, B. (2012). Carbon and water footprint tradeoffs in fresh tomato production. *Journal of Cleaner Production*, 32: 219-226.

Parry, M.L., Rosenzweig, C., Iglesias, A., Livermore, M., Fischer, G. (2004). Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios. *Glob. Environ. Change A*, 14: 53-67.

Pelletier, N., Rasmussen, R., Pirog, R. (2010). Comparative life cycle impacts of three beef production strategies in the Upper Midwestern United States. *Agricultural Systems*. 103: 380-389.

Pretty, J.N., Ball, A. (2001). Agricultural Influences on Carbon Emissions and Sequestration: A review of Evidence and the Emerging Trading Options. Centre for Environment and Society Occasional Paper 2001-03. University of Essex, UK.

Qi, J.Y., Yang, S.T., Xue, J.F., Liu, C.X., Du, T.Q., Hao, J.P., Cui, F.Z. (2018). Response of carbon footprint of spring maize production to cultivation patterns in the Loess Plateau, China. *Journal of Cleaner Production*, 187: 525-536.

Ramnarine, R., Wagner-Riddle, C., Dunfield, K. E., Voroney, R. P. 2012. Contributions of carbonates to soil CO₂ emissions. *Can. J. Soil Sci.*, 92, 599-607

Rosegrant MR, Ringler C, Sulser TB, Ewing M, Palazzo A, Zhu T, Nelson GC, Koo J, Robertson R, Msangi S, Batka M (2009). Agriculture and Food Security under Global Change: Prospects for 2025/2050. Background note for supporting the development of CGIAR Strategy and Results Framework. International Food Policy Res. Institute: Washington, D.C.

Scott, H., Matthews, C., Weber, C., Hendrickson, T. (2008), Estimating Carbon Footprints with Input: Output Models, *International Input: Output Meeting on Managing the Environment*, 9 (11): 1-10.

Smit, B. and O. Pilifosova (2001) Adaptation to climate change in the context of sustainable development and equity (Chapter 18). In: McCarthy, J.J., O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken, and K.S. White (eds.) (2001) *Climate Change 2001: impacts, adaptation and vulnerability. Contributions of Working Group II*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Smith, P., D. Martino, Z. Cai, D. Gwary, H.H. Janzen, P. Kumar, B. McCarl, S. Ogle, F. O'Mara, C. Rice, R.J. Scholes, O. Sirotenko, M. Howden, T. McAllister, G. Pan, V. Romanenkov, U. Schneider, S. Towprayoon, M. Wattenbach, and J.U. Smith (2007) Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society, B*, 363.

Soussana, Jean-Francois & Klumpp, Katja & Ehrhardt, Fiona. (2014). *The role of grassland in mitigating climate change*. Organizing Committee of the 25th General Meeting of the European Grassland Federation IBERS.75-87.

Stern, N. (2007), *Stern Review: The Economics of Climate Change*, HM Treasury.

Taxidis, E.T., Menexes, G., Mamolos, A.P., Tsatsarelis, C.A., Anagnostopoulos, C.D., Kalburtj, K.I. (2015) Comparing organic and conventional olive groves relative to energy use and greenhouse gas emissions associated with the cultivation of two varieties. *Applied Energy*, 149, 117-124.

Van Der Hoek, K.W., Van Schijnde, I.M.W., Kuikman, P.J. 2007. Direct and indirect nitrous oxide emissions from agricultural soils, 1990 – 2003, https://www.researchgate.net/publication/27453512_Direct_and_indirect_nitrous_oxide_emissions_from_agricultural_soils_1990

Veysset, P., Lherm, M., Bébin, D. (2010). Energy consumption, greenhouse gas emissions and economic performance in French Charolaissuckler cattle farms: Model-based analysis and forecasts. *AgrSyst*, 103:41–50..

West, C.T., Vásquez-Léon, M. and Finan, T.J. (2010), 12.3 Testing Farmers' perceptions of Climate Variability: A Case Study From The Sulphur Springs Valley, AZ.

Wiedmann, T., Minx, T. (2008).A Definition of “Carbon Footprint”, In: C. C. Pertsova, Ecological Economics Research Trends: Chapter 1, pp. 1-11, Nova Science Publishers, Hauppauge NY, USA.

UK, Greenhouse gas reporting: conversion factors 2019. <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2019>

Wright L., Kemp. S., Williams I. (2011), ‘Carbon footprinting’: towards a universally accepted definition, *Carbon Management Journal*, 2: 61-72.

Yousefi, M., Khoramivafa, M., Mahdavi, A. (2017). Water footprint and carbon footprint of the energy consumption in Sunflower agroecosystems. *Environmental Science and Pollution Research*. 24. 10.1007/s11356-017-9582-4.

Zhang, W., He, X., Zhang, Z., Gong, S., Zhang, Q., Zhang, W., Liu, D., Zou, C., Chen, X. (2018). Carbon footprint assessment for irrigated and rainfed maize (*Zea mays* L.) production on the Loess Plateau of China. *Biosystems Engineering*, 167: 75 -86.

Παράρτημα

Ερωτηματολόγιο

ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΠΑΡΑΓΩΓΩΝ

Όνοματεπώνυμο ιδιοκτήτη	
Περιοχή	
Έκταση	
Συντεταγμένες	
Υψόμετρο	
Είδος καλλιέργειας	
Ηλικία καλλιέργειας	
Προηγούμενη καλλιέργεια ή άλλη χρήση γης	
Έτη προηγούμενης καλλιέργειας ή χρήσης	
ΛΙΠΑΝΣΗ	
Είδη λιπασμάτων	
Ποσότητα λιπασμάτων που χρησιμοποιείται ετησίως	
Εφαρμογή (περίοδοι, τρόπος)	
Χλωρή λίπανση	
Χρήση κόμποστ ή κοπριάς (περίοδοι, τρόπος, προέλευση)	
ΑΡΔΕΥΣΗ	
Προέλευση νερού άρδευση	
Ποσότητα νερού ετησίως	
Συχνότητα άρδευσης	
Μέθοδος άρδευσης	
ΦΥΤΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ	
Είδη φυτοπροστατευτικών	
Περίοδοι εφαρμογής	
Ποσότητα ετησίως	
Μέθοδος εφαρμογής	
ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΕΣ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ - ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ	
Περίοδος συγκομιδής	
Τρόπος συγκομιδής (μηχανικά, χειρωνακτικά)	
Απόδοση ανά στρέμμα	
Τρόπος και είδος άροσης (μηχανήματα, βαθιά άροση, διάρκεια σε ώρες, κλπ)	

Χορτοκοπή (τρόπος, περίοδος, διαχείριση υπολειμμάτων, διάρκεια σε ώρες)	
Κλάδευμα (περίοδος, τρόπος, διαχείριση κλαδευμάτων, διάρκεια σε μέρες ή ώρες)	
Καύση υπολειμμάτων στο χωράφι (περίοδος, ποσότητα υπολειμμάτων προς καύση, διάρκεια σε ώρες ή μέρες)	
Σπορά (μηχανικά, χειρωνακτικά, περίοδος έτους, διάρκεια σε ώρες/μέρες)	
Διαχείριση ζιζανίων	
Κομποστοποίηση υπολειμμάτων	
ΥΠΑΡΞΗ ΖΩΩΝ ΣΤΟ ΚΤΗΜΑ	
Είδη ζώων και αριθμός	
Περίοδος παρουσίας των ζώων στο κτήμα	
Διαχείριση κοπριάς	
Διατροφή ζώων (τροφή, βόσκηση)	
Περίοδος βόσκησης	
Τα ζώα έχουν πρόσβαση σε όλα το κτήμα	
Αριθμός ζώων κατά τα προηγούμενα 5 έτη	
Αριθμός ζώων κατά τα επόμενα 5 έτη	
Διαχείριση υπολειμμάτων σφαγής	
Διαχείριση γεννήσεων	
ΠΡΟΣΒΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΚΤΑΣΗ	
Αριθμός ατόμων που έχουν πρόσβαση στο κτήμα	
Κάθε πότε εισέρχονται στο κτήμα και για ποιο λόγο	
Χρόνος παραμονής τους στο κτήμα	
Χρήση αυτοκινήτου ή άλλων μέσων κατά την είσοδό τους στο κτήμα	
Τυχαία πρόσβαση από άλλα άτομα ή επισκέπτες ετησίως	
ΧΡΗΣΗ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ	
Αριθμός και είδος μηχανημάτων που εισέρχονται στο κτήμα-Για ποιο λόγο εισέρχονται	
Είδος καυσίμου	

Ετήσια κατανάλωση καυσίμου για κάθε ένα από αυτά (συνολική εάν ο παραγωγός δε γνωρίζει)	
Το καύσιμο αντιστοιχεί σε εργασίες μόνο σε αυτό το κτήμα ή και σε άλλα	
Πόσες φορές την εβδομάδα/μήνα/έτος εισέρχονται τα μηχανήματα στο κτήμα	
Ώρες λειτουργίας μετά την είσοδό τους στο κτήμα	
Τα οχήματα ακολουθούν συγκεκριμένη διαδρομή ή κινούνται σε τυχαίες κατευθύνσεις	
Χώρος φύλαξης των μηχανημάτων	
ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ ΠΟΥ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΟΥΝ ΣΤΟ ΚΤΗΜΑ	
Ετήσια κατανάλωση βενζίνης	
Ετήσια κατανάλωση πετρελαίου	
Ετήσια κατανάλωση βιοαερίου	
Ετήσια κατανάλωση ενέργειας σε KWh	
Υπαρξη ψυκτικών θαλάμων στο κτήμα-Κατανάλωση FREON	
ΓΕΙΤΟΝΙΚΑ ΚΤΗΜΑΤΑ-ΟΙΚΙΕΣ	
Υπαρξη κτημάτων περιμετρικά του κτήματος που μπορεί να επηρεάζουν τις εκπομπές θερμοκηπίου	
Υπαρξη οικιών που μπορεί να επηρεάζουν τις εκπομπές θερμοκηπίου	