

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Πολυτεχνική Σχολή

Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας Πολεοδομίας & Περιφερειακής
Ανάπτυξης

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«Βιώσιμη Διαχείριση Περιβαλλοντικών Αλλαγών & Κυκλική
Οικονομία»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Διαχρονική εξέλιξη του ανθρακικού αποτυπώματος της
καλλιέργειας του κελυφωτού φιστικιού (*Pistacia Vera*)**

Κωσταρά Ευτυχία

Βόλος, 2023

Διαχρονική εξέλιξη του ανθρακικού αποτυπώματος της καλλιέργειας του κελυφωτού
φιστικιού (*Pistacia vera*)

Κωσταρά Ευτυχία

Τριμελής εξεταστική επιτροπή

Επιβλέπουσα: Χριστοπούλου Όλγα Καθηγήτρια. Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας,
Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης. Πολυτεχνική Σχολή. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Μέλος: Σφουγγάρης Αθανάσιος, Καθηγητής. Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Τμήμα
Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μέλος: Βλόντζος Γεώργιος, Καθηγητής. Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Τμήμα Γεωπονίας
Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το ανθρακικό αποτύπωμα εμφανίστηκε σαν έννοια τη δεκαετία του 1990, ενώ σαν όρος άρχισε να έχει ευρεία χρήση τη δεκαετία του 2000. Αποτελεί ένα εργαλείο για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής η οποία οφείλεται στις αυξημένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου λόγω ανθρώπινων δραστηριοτήτων.

Καθώς η γεωργία αποτελεί μια σημαντική πηγή αερίων του θερμοκηπίου, εμφανίζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον ο υπολογισμός του ανθρακικού αποτυπώματος διάφορων καλλιεργειών. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να γίνει καλύτερη διαχείριση στις εισροές της καλλιέργειας με απώτερο σκοπό τη μείωση του ανθρακικού αποτυπώματος και εν τέλη τη μείωση των εκπομπών των αερίων που συμβάλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Μια καλλιέργεια με ολοένα αυξανόμενη δυναμική για την Ελλάδα είναι το κελυφωτό φιστίκι (*Pistacia vera*). Στην περιοχή της Θεσσαλίας η συγκεκριμένη καλλιέργεια παρουσιάζει σημαντική αύξηση τα τελευταία χρόνια και μαζί με άλλες καλλιέργειες ξηρών καρπών μπορούν να αποτελέσουν μια σημαντική πηγή εισοδήματος.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο υπολογισμός του ανθρακικού αποτυπώματος του κελυφωτού φιστικιού (*Pistacia vera*) από την εγκατάσταση της καλλιέργειας μέχρι τα πρώτα χρόνια της παραγωγικής της φάσης, δώδεκα έτη μετά, έτσι ώστε η αποτίμηση του ανθρακικού αποτυπώματος να εκτείνεται σε διάρκεια.

Τελικός στόχος της ερευνητικής εργασίας είναι ο προσδιορισμός των σταδίων εκείνων που θα μπορούσαν να βελτιστοποιηθούν ως προς το ανθρακικό αποτύπωμα, αλλά και η πρόταση βασικών μέτρων προς τους ενδιαφερόμενους παραγωγούς για τη μείωση του ανθρακικού αποτυπώματος της καλλιέργειάς τους.

Λέξεις κλειδιά: Κλιματική αλλαγή, ανθρακικό αποτύπωμα, αέρια του θερμοκηπίου, *Pistacia vera*, μέτρα αντιμετώπισης

Abstract

Carbon footprint emerged as a concept in the 1990s, and as a term began to be widely used in the 2000s. It is a tool to address climate change caused by increased greenhouse gas emissions due to human activities.

As agriculture is a major source of greenhouse gases, it is of particular interest to calculate the carbon footprint of various crops. In this way, crop inputs can be better managed with the ultimate goal of reducing the carbon footprint and ultimately reducing the emissions of gases that contribute to the greenhouse effect. A crop with an increasing potential for Greece is the shelled pistachio (*Pistacia vera*). In the region of Thessaly, the cultivation of this particular crop has increased significantly in recent years and together with other nut trees can be an important source of income.

The objective of this thesis is to calculate the carbon footprint of the shelled pistachio (*Pistacia vera*) from the establishment of the crop to the first years of its productive phase, twelve years later, so that the carbon footprint assessment extends over time.

The final scope of this research is to identify those stages that could be optimized in terms of their carbon footprint, but also to propose basic mitigation measures to the producers who wish to reduce the carbon footprint of their crops.

Key words: Climate change, carbon footprint, greenhouse gases, *Pistacia vera*, mitigation measuers

Πίνακας περιεχομένων

Ευχαριστίες.....	7
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
2. ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ	9
2.1 Κλιματικό σύστημα.....	9
2.2 Κλιματική αλλαγή και φαινόμενο του θερμοκηπίου.....	9
2.3 Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στη Μεσόγειο.....	16
2.4 Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα	17
2.5 Γεωργία και κλιματική αλλαγή	18
3. ΑΝΘΡΑΚΙΚΟ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ	20
3.1 Η εμπορική σημασία του ανθρακικού αποτυπώματος	20
3.2 Ορισμός του ανθρακικού αποτυπώματος.....	21
3.3 Ανθρακικό αποτύπωμα και γεωργία.....	24
3.4 Το ανθρακικό αποτύπωμα της καλλιέργειας των ακρόδρυων.....	24
4. Η ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΗΣ ΦΙΣΤΙΚΙΑΣ.....	25
4.1 Ιστορία - Εξάπλωση – Καταγωγή της φιστικιάς	25
4.2 Βοτανική ταξινόμηση - χαρακτηριστικά.....	26
4.3 Παραγωγή φιστικιού παγκοσμίως και στην Ελλάδα.....	29
5. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	32
5.1 Κλίμα της περιοχής μελέτης.....	33
6. ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ.....	33
6.1 Το μοντέλο Cool Farm	33
6.2 Όρια συστήματος.....	39
7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	40
7.1 Αποτύπωμα άνθρακα για το έτος 2011	41
7.2 Αποτύπωμα άνθρακα για το έτος 2012	42
7.3 Αποτύπωμα άνθρακα για το έτος 2013	44
7.4 Αποτύπωμα άνθρακα για το έτος 2014	45
7.5 Αποτύπωμα άνθρακα για το έτος 2015	46
7.6 Αποτύπωμα άνθρακα για το έτος 2016	47
7.7 Αποτύπωμα άνθρακα για το έτος 2017	48
7.8 Αποτύπωμα άνθρακα για το έτος 2018	49

7.9	Αποτύπωμα άνθρακα για το έτος 2019	50
7.10	Αποτύπωμα άνθρακα για το έτος 2020	51
7.11	Αποτύπωμα άνθρακα για το έτος 2021	52
7.12	Αποτύπωμα άνθρακα για το έτος 2022	53
8.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	57
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1.....	59
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2.....	62
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	68

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1.	Δυναμικό Θέρμανσης του Πλανήτη (Global Warming Potential) των αερίων του Πρωτοκόλλου του Κιότο	23
Πίνακας 2.	Χώρες με τη μεγαλύτερη παραγωγή κελυφωτού φιστικιού.....	30
Πίνακας 3.	Παραγωγή, έκταση και αριθμός δέντρων στις Περιφέρειες για το έτος 2018.....	31
Πίνακας 4.	Παραγωγή κελυφωτού φιστικιού στη Θεσσαλία για το 2018	32
Πίνακας 5.	Συντελεστές του μοντέλου των Bouwmanetal (2002).....	35
Πίνακας 6.	Οι καρτέλες του CoolFarmTool που απαιτούν συμπλήρωση (Version 2.0 – excel)	36
Πίνακας 7.	Συντελεστές εκπομπών για τον υπολογισμό του ανθρακικού αποτυπώματος.....	37
Πίνακας 8.	Παραγωγή φιστικιών.....	40
Πίνακας 9.	Εισροές καλλιέργειας για το έτος 2011	41
Πίνακας 10.	Εισροές καλλιέργειας για το έτος 2012	43
Πίνακας 11.	Εισροές καλλιέργειας για το έτος 2013	44
Πίνακας 12.	Κατανομή εκπομπών ανά τομέα για το έτος 2013.....	45
Πίνακας 13.	Εισροές καλλιέργειας για το έτος 2015	46
Πίνακας 14.	Εισροές καλλιέργειας για το έτος 2016	47
Πίνακας 15.	Εισροές καλλιέργειας για το έτος 2017	48
Πίνακας 16.	Εισροές καλλιέργειας για το έτος 2018	49
Πίνακας 17.	Εισροές καλλιέργειας για το έτος 2019	50
Πίνακας 18.	Εισροές καλλιέργειας για το έτος 2020	51
Πίνακας 19.	Εισροές καλλιέργειας για το έτος 2021	52
Πίνακας 20.	Εισροές καλλιέργειας για το έτος 2022	53

Κατάλογος Γραφημάτων

Γράφημα 1.	Αύξηση του διοξειδίου του άνθρακα και άλλων αερίων του θερμοκηπίου (συνολικά) από την αρχή της βιομηχανικής επανάστασης (τέλη 19 ^{ου} αιώνα) μέχρι σήμερα (2021).	13
Γράφημα 2.	Οι μετρήσεις από τέσσερις διαφορετικούς σταθμούς μέτρησης των μέσων ημερήσιων εκπομπών CO ₂	14

Γράφημα 3. Παγκόσμια παραγωγή κελυφωτού φιστικιού	30
Γράφημα 4. Παραγωγή ανά έτος (kg)	41
Γράφημα 5. Κατανομή εκπομπών ανά εκτάριο για το έτος 2011	42
Γράφημα 6. Κατανομή εκπομπών ανά τομέα για το έτος 2012	43
Γράφημα 7. Κατανομή εκπομπών ανά τομέα για το έτος 2013	44
Γράφημα 8. Κατανομή εκπομπών ανά τομέα για το έτος 2014	45
Γράφημα 9. Κατανομή εκπομπών ανά τομέα ανά εκτάριο για το έτος 2015	47
Γράφημα 10. Κατανομή εκπομπών ανά τομέα ανά εκτάριο για το έτος 2016	48
Γράφημα 11. Κατανομή εκπομπών ανά τομέα ανά εκτάριο για το έτος 2017	49
Γράφημα 12. Κατανομή εκπομπών ανά τομέα ανά εκτάριο για το έτος 2018	50
Γράφημα 13. Κατανομή εκπομπών ανά τομέα ανά εκτάριο για το έτος 2019	51
Γράφημα 14. Κατανομή εκπομπών ανά τομέα ανά εκτάριο για το έτος 2020	52
Γράφημα 15. Κατανομή εκπομπών ανά τομέα ανά εκτάριο για το έτος 2021	53
Γράφημα 16. Κατανομή εκπομπών ανά τομέα ανά εκτάριο για το έτος 2022	54
Γράφημα 17. Κατανάλωση ενέργειας και νερού για όλα τα έτη αναφοράς	55

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου	10
Εικόνα 2. Γεωγραφική κατανομή της εκπομπής των αερίων του θερμοκηπίου βάση μοντέλου και της αύξησης της θερμοκρασίας βάση μετεωρολογικών δεδομένων (StoufferandManabe, 2017).....	15
Εικόνα 3. Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στην ΕΕ ανά τομέα (ΕΟΠ, 2019)	18
Εικόνα 4. Περιοχή μελέτης	33

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της συγγραφής της διπλωματικής μου εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους ανθρώπους που συνέβαλαν στην επίτευξη αυτού του στόχου:

Την επιβλέπουσα καθηγήτρια κυρία Όλγα Χριστοπούλου για τη βοήθεια και την καθοδήγησή της καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησής της.

Τον αγαπητό συνάδελφο Δρ. Ελευθέριο Ευαγγέλου για την αρχική ιδέα της εργασίας και την παροχή βοήθειας όποτε το ζητούσα, τον κύριο Νικόλαο Τσερλικάκη για την διάθεση των πρωταρχικών δεδομένων.

Τη φίλη μου κυρία Παρασκευή Γρυπάρη που μου έδινε την κατάλληλη ώθηση τις στιγμές που το άγχος να προλάβω τις προθεσμίες με κατέβαλε.

Τέλος, την οικογένειά μου, τους γονείς μου, τον σύζυγό μου και τα υπέροχα παιδιά μου για την υποστήριξη, την υπομονή και την κατανόηση που έδειξαν σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η κλιματική αλλαγή αποτελεί μια εν δυνάμει απειλή για τον πλανήτη, ενώ υπάρχουν αποδείξεις ότι ήδη συντελείται μια αλλαγή στα κλιματολογικά χαρακτηριστικά παγκοσμίως, αύξηση της στάθμης των θαλασσών, μείωση της βιοποικιλότητας κ.α.

Βασική αιτία της κλιματικής αλλαγής είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου, απαραίτητο για τη διατήρηση της ζωής επάνω στη Γη. Το πρόβλημα δημιουργείται από την αύξηση της συγκέντρωσης κάποιων αερίων που είναι υπεύθυνα για αυτό, όπως το διοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο, το οξείδιο του αζώτου και τα φθοριούχα αέρια. Τα παραπάνω αέρια έχουν την ιδιότητα να παγιδεύουν την θερμότητα του ήλιου και να εμποδίζουν τη διάχυσή τους στην ατμόσφαιρα, λειτουργώντας όπως το γυαλί σε ένα θερμοκήπιο. Η αυξημένη συγκέντρωση αυτών των αερίων σημαίνει και αύξηση της θερμοκρασίας. Σύμφωνα με τη Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος, η μέση παγκόσμια θερμοκρασία αναμένεται να αυξηθεί κατά 1.5°C μέσα στα επόμενα είκοσι έτη, ενώ σχεδόν με πλήρη βεβαιότητα (95%), αυτό οφείλεται σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως η καύση ορυκτών καυσίμων, οι αλλαγές στη χρήση γης και η εκτεταμένη γεωργία και κτηνοτροφία.

Ιδιαίτερα ο τομέας της γεωργίας και της κτηνοτροφίας έχουν τη μεγαλύτερη συμβολή στην εκπομπή των αερίων του θερμοκηπίου πίσω από τον τομέα της παραγωγής ενέργειας με ποσοστό 18% παγκοσμίως και 11-12% στην Ευρωπαϊκή Ένωση.

Καθώς η γεωργία συμβάλλει σημαντικά στην κλιματική αλλαγή είναι επιβεβλημένη η λήψη μέτρων αντιμετώπισής της.

Το ανθρακικό αποτύπωμα προέκυψε από την ανάγκη της προστασίας του περιβάλλοντος και την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Αποτελεί έναν περιβαλλοντικό δείκτη που χρησιμοποιείται για την ποσοτικό υπολογισμό των αερίων του θερμοκηπίου που απορρέουν από μια δραστηριότητα ενός ατόμου, μιας επιχείρησης ή μιας χώρας αποτιμώντας τον αντίκτυπο που έχουν οι ενέργειες αυτές στο περιβάλλον.

Στα πλαίσια αυτά, η παρούσα εργασία είναι μια προσπάθεια αποτίμησης του ανθρακικού αποτυπώματος της καλλιέργειας της φιστικιάς (*Pistacia vera*), ο εντοπισμός των δραστηριοτήτων που έχουν ως αποτέλεσμα αυξημένες εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου και η πρόταση βασικών μέτρων αντιμετώπισης του φαινομένου.

2. ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

2.1 Κλιματικό σύστημα

Το κλιματικό σύστημα του πλανήτη είναι μια διαρκής αλληλεπίδραση μεταξύ της ατμόσφαιρας, των ωκεανών, του εδάφους, της κρυόσφαιρας (χιόνι και πάγο) και της βιόσφαιρας. Το κλίμα καθορίζεται από τις μέσες τιμές της θερμοκρασίας, της βροχόπτωσης, της υγρασίας κ.α, για ένα χρονικό διάστημα τουλάχιστον 30 ετών, ενώ αποτελεί ένα δυναμικό σύστημα που μεταβάλλεται και θα συνεχίσει να μεταβάλλεται. Οι μεταβολές αυτές μπορεί να είναι εποχικές, από έτος σε έτος, από δεκαετία σε δεκαετία, αλλά ακόμη και σε μεγάλες κλίμακες χρόνου, π.χ. εποχές παγετώνων (Φωτιάδη, 2014). Στην πραγματικότητα, ακραία φαινόμενα υψηλών ή χαμηλών θερμοκρασιών, υψηλών ή χαμηλών κατακρημνισμάτων μπορεί να συμβούν ανά πάσα στιγμή χωρίς όμως να επηρεάζονται οι μέσες φυσιολογικές τιμές. Αντίθετα, στην κλιματική αλλαγή, έχουμε διακυμάνσεις που επιμένουν για μεγάλο χρονικό διάστημα και είναι στατιστικά σημαντικές, οι οποίες, όπως είναι φυσικό, επηρεάζουν και τις μέσες τιμές (Κατσαφάδος & Μαυροματίδης, 2015).

Είναι γεγονός πως στο παρελθόν ο πλανήτης έχει βιώσει αλλαγές στο κλίμα, όμως, σύμφωνα με τους παλαιοκλιματολόγους, όλα αυτά τα φαινόμενα μπορούν να συσχετιστούν με ποικίλες γεωλογικές διεργασίες, όπως η μεταβολή της ροής των ωκεάνιων ρευμάτων, η μετακίνηση τεκτονικών πλακών, η ηφαιστειακή δραστηριότητα κ.α. Φαίνεται όμως πως η παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας που παρατηρείται τις τελευταίες δεκαετίες δεν μπορεί να συσχετισθεί με ανάλογα φαινόμενα (Παπανικολάου Δ & Παπανικολάου Μ., 2011). Πράγματι, μια πρόσφατη μελέτη των Bona et al (2021), υποστηρίζει ότι υπάρχει μια συνεχής αύξηση της θερμοκρασίας τα τελευταία 12.000 χρόνια.

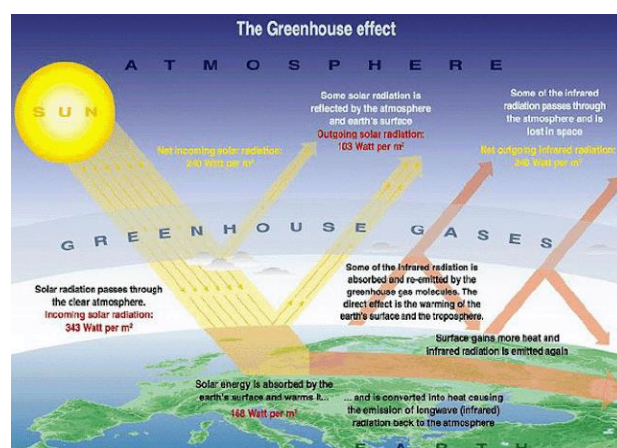
2.2 Κλιματική αλλαγή και φαινόμενο του θερμοκηπίου

Κλιματική αλλαγή, σύμφωνα με τον ορισμό που δίνεται στη Σύμβαση – Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για τις Κλιματική Αλλαγή (United Nations Framework Convention on Climate Change- UNFCCC), είναι μια σημαντική μεταβολή του κλίματος που οφείλεται άμεσα ή έμμεσα στην ανθρώπινη δραστηριότητα η οποία αλλάζει την σύνθεση της παγκόσμιας ατμόσφαιρας, είναι επιπλέον της φυσική μεταβολής του

κλίματος και παρατηρείται σε συγκρίσιμες χρονικές περιόδους (United Nations Framework Convention on Climate Change, United Nations, 1992).

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου έχει συνδεθεί με την αύξηση της θερμοκρασίας της γης. Πρόκειται για ένα φυσικό φαινόμενο το οποίο διατηρεί τη θερμοκρασία του πλανήτη σε επιθυμητά επίπεδα και επιτρέπει την ανάπτυξη ζωής επάνω σε αυτόν. Ο μηχανισμός του φαινομένου βασίζεται στην ιδιότητα που έχουν συγκεκριμένα αέρια της ατμόσφαιρας (διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο, οξείδια του αζώτου κ.α) να επιτρέπουν τη διέλευση της εισερχόμενης μικρής συχνότητας ακτινοβολίας του ήλιου και να απορροφούν την υπέρυθη (IR) ακτινοβολία που ανακλάται από τη γη επανεκπέμποντας ταυτόχρονα μέρος αυτής προς το έδαφος. Ως αποτέλεσμα, η ανακλώμενη ακτινοβολία παραμένει στον πλανήτη και δεν διαφεύγει προς το διάστημα. Τα αέρια αυτά λειτουργούν όπως το γυαλί των θερμοκηπίων το οποίο επιτρέπει την είσοδο του φωτός μέσα στο θερμοκήπιο και τη διατήρηση της θερμότητας μέσα σε αυτό. Εάν δεν υπήρχε αυτό το φαινόμενο, η θερμοκρασία στη γη θα ήταν περίπου στους -18°C , ενώ τώρα η μέση θερμοκρασία κυμαίνεται περίπου στους 15°C .

Στην Εικόνα 1 περιγράφεται η λειτουργία αυτού του σύνθετου φυσικού φαινομένου.



Εικόνα 1. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου

Πηγή: IPPC, 1995

Από τη βιομηχανική επανάσταση όμως και μετά, παρατηρείται μια συνεχής αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου κυρίως λόγω της καύσης ορυκτών καυσίμων, των αλλαγών στις χρήσεις γης, της εκτεταμένης γεωργίας και κτηνοτροφίας κ.α., η οποία έχει οδηγήσει όχι μόνο σε αύξηση της θερμοκρασίας σε παγκόσμια κλίμακα, αλλά

και αλλαγές σε άλλες κλιματολογικές παραμέτρους όπως οι βροχοπτώσεις και η ένταση των αέριων μαζών (Trenberth, 2018). Ήδη από τον 19^ο αιώνα επιστήμονες όπως ο Jean-Baptiste Fourier, Eunice Foote και John Tyndall, άρχισαν να συσχετίζουν και να μελετούν το ρόλο των αερίων του θερμοκηπίου στην αύξηση της θερμοκρασίας, ενώ η πρώτη προσπάθεια να υπολογιστεί η επίδραση της αύξησης του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα στην αύξηση της θερμοκρασίας έγινε λίγο αργότερα, στα τέλη του 19^{ου} αιώνα από τον Σουηδό επιστήμονα Σβάντε Αρρένιους (1896) (Manabe, 2019; Thiser, 2021). Ο Αρρένιους έφτασε στο συμπέρασμα, μετά από πολύπλοκους υπολογισμούς, πως η μείωση του διοξειδίου του άνθρακα στο μισό, θα επέφερε μείωση της θερμοκρασίας κατά 4°-5°C, ενώ μια αντίστοιχη αύξηση θα έφερνε αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας κατά 5°-6°C. Ο ίδιος αναγνώρισε ως δυνητικά σημαντική πηγή του διοξειδίου του άνθρακα τη βιομηχανική δραστηριότητα της εποχής. Ωστόσο, οι υπολογισμοί του, που ήταν βασισμένοι στα δεδομένα της εποχής, έκαναν λόγο για μια διεργασία που θα διαρκούσε χιλιάδες χρόνια (Arrhenius, 1896).

Σήμερα, αν και η κλιματική αλλαγή οφείλεται τόσο σε ανθρωπογενείς αιτίες όσο και σε φυσικές διεργασίες, όπως αλλαγές στην ηλιακή ακτινοβολία και ηφαιστειακή δραστηριότητα (Khaine and Woo, 2015), ο ρόλος του ανθρώπου σε αυτή είναι πλέον σχεδόν βέβαιος, αφού η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC) αποδίδει την υπερθέρμανση του πλανήτη σε ανθρωπογενείς παράγοντες (βεβαιότητα κατά 95%) (IPCC, 2022). Επιπλέον, στην ίδια έκθεση αναφέρεται ότι σε σχέση με την αντίστοιχη έκθεση του 2014 οι επιπτώσεις είναι μεγαλύτερες και πιο σημαντικές, καθώς την επόμενη εικοσαετία η θερμοκρασία θα αυξηθεί κατά 1.5°C, ενώ σύμφωνα με το Παγκόσμιο Ινστιτούτο Πόρων (World Resources Institute) ήδη υπάρχει αύξηση κατά 1.1°C.

Η κλιματική αλλαγή αποτελεί μια από τις μεγαλύτερες προκλήσεις της ανθρωπότητας η οποία επιδρά, σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό, στην ανθρώπινη υγεία, στην οικονομία, τις κοινωνικές συνθήκες, το περιβάλλον κ.α. Φαίνεται όμως πως οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής δεν είναι ίδιες σε όλο τον κόσμο. Το βόρειο ημισφαίριο φαίνεται να θερμαίνεται με πιο γρήγορο ρυθμό από ότι το νότιο, ενώ την ίδια στιγμή οι περιοχές που έχουν πιο ψυχρό κλίμα καθίστανται πιο παραγωγικές. Από την άλλη, οι περιοχές με θερμό κλίμα λόγω της περαιτέρω αύξησης της θερμοκρασίας χάνουν την παραγωγικότητά τους (Krusell and Smith Jr, 2022).

Τα βασικά αέρια που συμβάλλουν στο ενισχυμένο από την ανθρώπινη δραστηριότητα φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι:

Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂). Η βασική πηγή διοξειδίου του άνθρακα είναι η καύση ορυκτών καυσίμων, οι αλλαγές στις χρήσεις γης (αποψίλωση των δασών) και η υποβάθμιση του εδάφους.

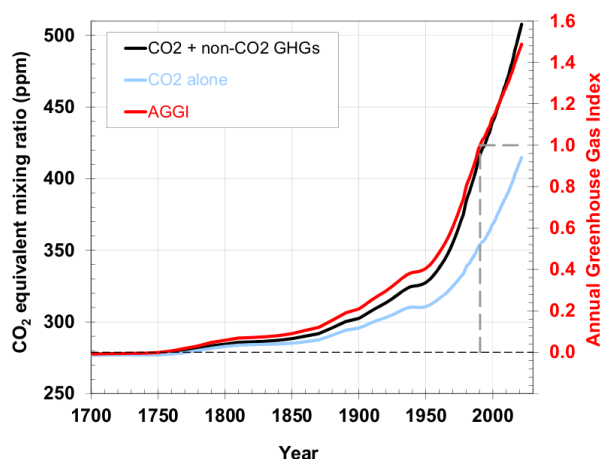
Μεθάνιο (CH₄). Κύριες πηγές μεθανίου είναι η γεωργία, κυρίως η εκτροφή βοοειδών και αιγοπροβάτων τα οποία εκλύουν μεγάλες ποσότητες μεθανίου κατά τη διαδικασία της πέψης, η διαχείριση αποβλήτων, η καύση βιομάζας, κ.α

Οξείδιο του αζώτου (N₂O). Προέρχεται κυρίως από τη χρήση αζωτούχων λιπασμάτων, αλλά και από τη καύση του άνθρακα, του πετρελαίου και του φυσικού αερίου.

Φθοριούχα αέρια (F-gases). Πρόκειται για αέρια που περιέχουν φθόριο, όπως οι υδροφθοράνθρακες (HFCs), οι υπερφθοράνθρακες (PFCs), το εξαφθοριούχο θείο (SF₆) κ.α (Κατσαφάδος και Μαυροματιδής, 2015), τα οποία προέρχονται από τη βιομηχανία, τη ψύξη και τη χρήση διάφορων καταναλωτικών προϊόντων, έχουν 23.000 φορές μεγαλύτερη επίδραση από το διοξείδιο του άνθρακα, αλλά εκλύονται σε μικρές ποσότητες. Η χρήση τους καταργείται σταδιακά, τουλάχιστον στην Ευρώπη, σύμφωνα με κανονισμό της ΕΕ (European Union, no date; EPA, no date).

Ωστόσο, το σημαντικότερο αέριο που συμβάλλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι το διοξείδιο του άνθρακα κυρίως λόγω της μεγάλης διάρκειας ζωής του. Σαν αέριο δεν μεταβάλλεται αλλά μετακινείται σε διάφορες μορφές μέσα στο σύστημα των ωκεανών, της ατμόσφαιρας και της γης με διάφορους τρόπους όπως η εξατμισοδιαπνοή, η φωτοσύνθεση, η απορρόφηση του διοξειδίου του άνθρακα από τους ωκεανούς κ.α. Η ποσότητα που δεν δεσμεύεται μπορεί να παραμείνει για χιλιάδες χρόνια στην ατμόσφαιρα. Το γεγονός αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση των ποσοτήτων του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα κατά 40% σε σχέση με τα προβιομηχανικά επίπεδα (Trenberth, 2018) (Γράφημα1).

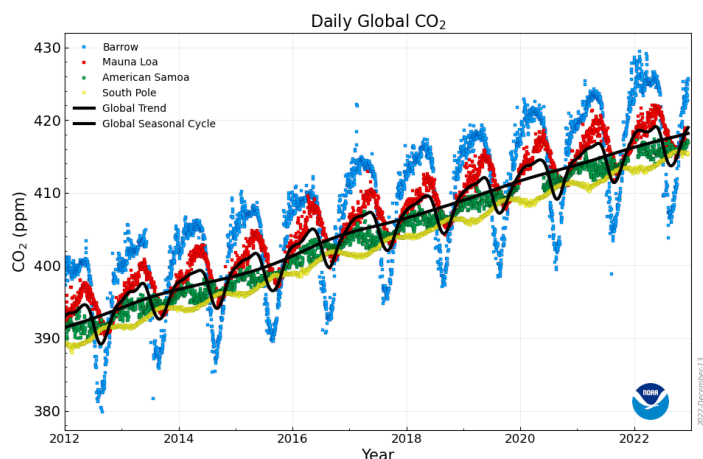
Η διάρκεια ζωής των άλλων αερίων του θερμοκηπίου κυμαίνεται για το μεθάνιο 11.8 χρόνια, 109 χρόνια για το υποξείδιο του αζώτου και από μερικές εβδομάδες μέχρι χιλιάδες χρόνια για τα φθοριούχα αέρια (EPA, ιστοσελίδα <https://www.epa.gov/climate-indicators/greenhouse-gases>)



Γράφημα 1. Αύξηση του διοξειδίου του άνθρακα και άλλων αερίων του θερμοκηπίου (συνολικά) από την αρχή της βιομηχανικής επανάστασης (τέλη 19^{ου} αιώνα) μέχρι σήμερα (2021).

Πηγή: NOAA

Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα διαφέρουν διαχρονικά από τόπο σε τόπο. Η Εικόνα 1 δείχνει τις ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα που εκπέμπονται από διαφορετικούς σταθμούς μέτρησης. Οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής (ΗΠΑ) έχουν συνεισφέρει το 25% των εκπομπών διαχρονικά, ενώ η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) το 22%. Ωστόσο υπάρχουν χώρες όπως η Βραζιλία και η Ινδία οι οποίες ιστορικά δεν έχουν συνεισφέρει στην συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα, αλλά την παρούσα χρονική περίοδο οι εκπομπές τους είναι σχετικά υψηλές. Η Κίνα επίσης ανήκει σε αυτήν την τελευταία κατηγορία και σήμερα εκπέμπει το 27% των παγκόσμιων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (Ritchie and Roser, 2020; Malhi et al, 2021). Οι περιοχές με τις υψηλότερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα για το έτος 2017 ήταν η Κίνα (53%), η Βόρειος Αμερική (18%) και η Ευρώπη (17%). Η συνεισφορά της ΕΕ και των ΗΠΑ έχει μειωθεί σημαντικά από το δεύτερο μισό του 20^{ου} αιώνα συνεισφέροντας μόλις το 1/3 των παγκόσμιων εκπομπών (Ritchie and Roser, 2020). Ο λόγος που η Ευρώπη έχει μειώσει τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου είναι κυρίως η αλλαγή του ενεργειακού της μείγματος το οποίο πλέον δε βασίζεται στο λιγνίτη και στο πετρέλαιο, αλλά στο φυσικό αέριο (Flammini et al, 2022).



Γράφημα 2. . Οι

μετρήσεις από τέσσερις διαφορετικούς σταθμούς μέτρησης των μέσων ημερήσιων εκπομπών CO₂.

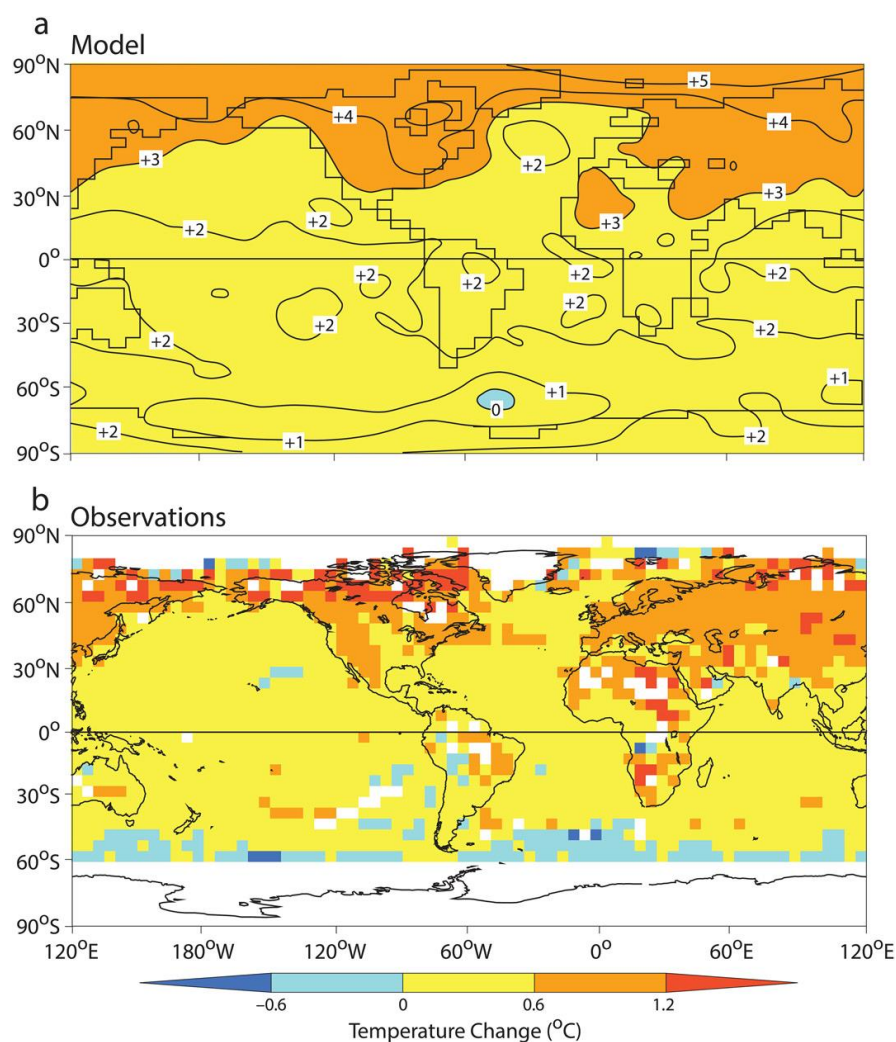
Με **μπλε** χρώμα ο σταθμός στο Barrow στην Αλάσκα, με **κόκκινο** ο σταθμός στο Mauna Loa στη Χαβάη, με **πράσινο** απεικονίζεται ο σταθμός στην Αμερικανική Σαμόα και με **κίτρινο** ο σταθμός μέτρησης στην Ανταρκτική. Οι μαύρες γραμμές αναφέρονται στο μέσο όρο των μετρήσεων.

Πηγή: https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/gl_trend.html

Η μελέτη των Stouffer και Manabe (2017), έδειξε μια συσχέτιση μεταξύ των μοντέλων προσομοίωσης και των πραγματικών δεδομένων όσον αφορά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και την αύξηση της θερμοκρασίας (Εικόνα 2).

Το 2020 σημειώθηκε μια προσωρινή μείωση της εκπομπής των αερίων του θερμοκηπίου περίπου κατά 7% παγκοσμίως, κυρίως λόγω της πανδημίας Covid-19 και τη διακοπή των οικονομικών δραστηριοτήτων (Dessler, 2021). Στην ΕΕ των 27 η μείωση για το πρώτο εξάμηνο του ίδιου έτους ξεπέρασε το 11% (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2020). Το 2021 οι εκπομπές αυξήθηκαν ενώ και το πρώτο τρίμηνο του 2022 σημειώθηκε αύξηση των εκπομπών σε όλες σχεδόν τις χώρες της ΕΕ, πλην της Ολλανδίας και της Φινλανδίας που διατήρησαν τις πτωτικές τους τάσεις (Eurostat, 2022).

Η μέση παγκόσμια θερμοκρασία παρουσίασε αύξηση όντας η έκτη υψηλότερη από την αρχή της καταμέτρησης το 1880 και μετά και κατά περίπου 1°C υψηλότερη από την προβιομηχανική περίοδο (NOAA, 2021), ενώ ακραία καιρικά φαινόμενα



Εικόνα 2. Γεωγραφική κατανομή της εκπομπής των αερίων του θερμοκηπίου βάση μοντέλου και της αύξησης της θερμοκρασίας βάση μετεωρολογικών δεδομένων (Stouffer and Manabe, 2017).

αυξήθηκαν όχι μόνο σε συχνότητα αλλά και σε ένταση. Το 2022 ήταν και αυτή μια χρονιά με ακραία φαινόμενα όπως οι καύσωνες με ακραίες θερμοκρασίες σε αρκετές περιοχές του πλανήτη στο βόρειο ημισφαίριο (Ινδία, Πακιστάν, Ισπανία, Πορτογαλία, Ιταλία, Γαλλία, Ηνωμένο Βασίλειο, Γερμανία κ.α), ενώ στο νότιο ημισφαίριο οι βροχοπτώσεις σημείωσαν ύψη ρεκόρ (π.χ Αυστραλία). Ενδεικτικός ήταν και ο καιρός που επικράτησε στην Ευρώπη κατά τη διάρκεια των γιορτών των Χριστουγέννων με αυξημένη θερμοκρασία και απουσία χιονοκάλυψης, γεγονός που αν και έχει ξανασυμβεί, δεν είχε τόσο διάρκεια.

Δυσοίωνες προβλέψεις, χωρίς να αποτελούν το χειρότερο σενάριο, κάνουν λόγο για αύξηση της θερμοκρασίας μεταξύ της τάξης των 2.1°C και 3.9°C παρά τις τριαντακονταετείς προσπάθειες για μείωση των εκπομπών των αερίων του

θερμοκηπίου και τις όποιες μειώσεις που έχουν σημειωθεί τα τελευταία χρόνια (Kemp et al, 2022).

2.3 Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στη Μεσόγειο

Η γεωγραφική θέση της Μεσογείου ανάμεσα σε δύο ηπείρους τη φέρνει αντιμέτωπη και με το χαρακτηριστικό κλίμα στις αντίστοιχες περιοχές· από τη μια είναι το ξηρό και ζεστό κλίμα της Αφρικής και από την άλλη το υγρό και ψυχρό κλίμα της Ευρώπης. Το γεγονός αυτό την καθιστά ιδιαίτερα ευάλωτη στις αλλαγές των κλιματικών συστημάτων (Mariotti et al, 2015; Zittis et al, 2019).

Πράγματι, η λεκάνη της Μεσογείου έχει αναγνωριστεί ως μια περιοχή όπου οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής θα είναι πιο έντονες αφού ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας, ιδιαίτερα μετά τη δεκαετία του 1980, έχει επιταχυνθεί πάνω από τον παγκόσμιο μέσο όρο (Zittis et al, 2019; Zittis et al, 2022), αν και γενικά το κλίμα της Μεσογείου χαρακτηρίζεται από υψηλές θερμοκρασίες και χαμηλές κατακρημνίσεις. Οι προσομοιώσεις των διάφορων μοντέλων όμως συμφωνούν στην πρόβλεψη για το κλίμα της περιοχής όπου εκτός από τη μεταβολή των μέσων κλιματολογικών συνθηκών θα υπάρχουν με μεγάλη συχνότητα και δριμύτητα ακραίοι καύσωνες και παρατεταμένες ξηρασίες, ενώ άλλες περιοχές, κυρίως τα βόρεια τμήματα, θα βιώνουν σημαντικές κι επικίνδυνες βροχοπτώσεις (Mariotti et al, 2015; Zittis et al, 2019; Zittis et al, 2022).

Ήδη η μέση θερμοκρασία κοντά στο έδαφος (near surface temperature) έχει αυξηθεί σε σχέση με την προβιομηχανική εποχή κατά περίπου 1.5°C (Georgoulas et al, 2022).

Οι σημαντικές αυτές αλλαγές στο κλίμα και στο περιβάλλον της περιοχής εκτός από την αναστάτωση στα οικοσυστήματα, τη βιοποικιλότητα, την αγροτική παραγωγή και τις δασικές πυρκαγιές, μπορεί να επηρεάσει και διάφορους άλλους τομείς των κοινωνικο-οικονομικών δραστηριοτήτων όπως για παράδειγμα, η παραγωγή και διαχείριση της ενέργειας, η διαχείριση των αποθεμάτων νερού, η υγεία του πληθυσμού κ.α (Zittis et al, 2022). Οι πιο φτωχές περιοχές, όπως η Ανατολική Μεσόγειος και η Βόρειος Αφρική είναι πιθανό να βιώσουν και κοινωνικές αναταραχές λόγω των ακραίων θερμοκρασιών και της έλλειψης νερού (Waha et al, 2017).

2.4 Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα

Η Ελλάδα, σαν τμήμα της Μεσογείου, θεωρείται πως είναι ανάμεσα στις πιο ευάλωτες χώρες της Ευρώπης και ανάμεσα στις 18 στον κόσμο, όσον αφορά την αύξηση της θερμοκρασίας, τη μείωση των κατακρημνίσεων σε περιοχές που ήδη πλήττονται από έλλειψη νερού και την αύξηση της επιφάνειας της θάλασσας (Bank of Greece, 2011; Demertzis and Iliadis, 2018).

Για τον Ελλαδικό χώρο δεν αναμένεται μεταβολή στις μέσες τιμές και μέσες επικρατούσες συνθήκες, αλλά μια αλλαγή ως προς την συχνότητα και δριμύτητα των φαινομένων. Η γενική τάση είναι μια αύξηση της θερμοκρασίας κατά μέσο όρο 1.2°C κυρίως στην ηπειρωτική Ελλάδα η οποία θα είναι πιο έντονη κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Ταυτόχρονα αναμένεται μια σημαντική μείωση των κατακρημνήσεων κατά περίπου 3% η οποία θα είναι και αυτή πιο έντονη κυρίως κατά τους θερινούς μήνες. Αντίθετα κατά τους φθινοπωρινούς μήνες προβλέπεται μια αύξηση αυτών των τιμών. Επίσης, οι θερμές ημέρες αναμένεται να αυξηθούν κατά 5.5–7.4 ημέρες ανά έτος με ταυτόχρονη αύξηση των τροπικών νυχτών κατά 14.7 νύχτες ανά έτος. Ωστόσο, οι ημέρες παγετού φέρεται να μειώνονται περίπου κατά 11 ημέρες ανά έτος ενώ οι ημέρες ξηρασίας αναμένεται να αυξηθούν κατά 2–3% (Giannakopoulos et al, 2011; Georgoulas et al, 2022).

Ωστόσο, λόγω του ιδιαίτερου και πολύπλοκου γεωμορφολογικού ανάγλυφου της χώρας, οι αλλαγές που αναφέρονται παραπάνω παρουσιάζουν αρκετές τοπικές διακυμάνσεις. Για παράδειγμα η περιοχή της Θεσσαλίας και ειδικότερη η ευρύτερη περιοχή της Λάρισας όπου και βρίσκεται η περιοχή μελέτης, φαίνεται να είναι από τις περιοχές που επηρεάζεται περισσότερο σε όλους τους τομείς. Πιο συγκεκριμένα, προβλέπεται πως στις προσεχείς δεκαετίες και μέχρι το 2100, θα υπάρξει αύξηση των ημερών ξηρασίας κατά περίπου 15 ημέρες, αύξηση των θερμών ημερών (θερμοκρασία $>35^{\circ}\text{C}$) κατά 20 ημέρες, μείωση κατά 10 ημέρες στις νύχτες όπου σημειώνεται παγετός, αύξηση της διάρκειας της καλλιεργητικής περιόδου κατά 15 ημέρες και μείωση των χειμερινών κατακρημνήσεων. Ταυτόχρονα αναμένεται μια αύξηση των φθινοπωρινών κατακρημνήσεων που, σε ορισμένες περιπτώσεις, μπορεί να φτάσει μέχρι το 20% (Giannakopoulos et al, 2011; Demertzis and Iliadis, 2018).

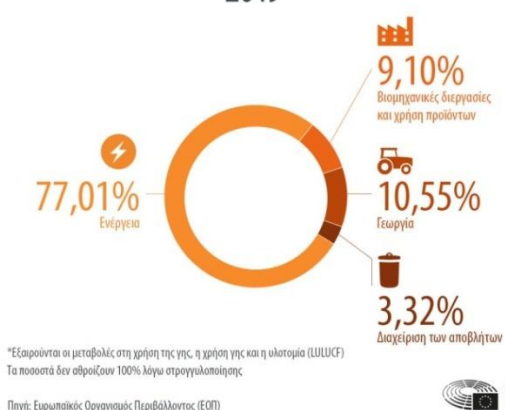
2.5 Γεωργία και κλιματική αλλαγή

Η γεωργία είναι ένας από τους σημαντικότερους τομείς που συμβάλλουν στην παραγωγή αερίων του θερμοκηπίου, αλλά και αυτός που επηρεάζεται περισσότερο αφού η γεωργική παραγωγή βασίζεται στις κλιματολογικές συνθήκες.

Σε παγκόσμιο επίπεδο, είναι ο δεύτερος τομέας με τα μεγαλύτερα επίπεδα εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου με 18.4%, πίσω από τον τομέα της ενέργειας που κατέχει τη μερίδα του λέοντος με 73.2%. Αν αναλύσουμε ξεχωριστά το κάθε αέριο του θερμοκηπίου, βλέπουμε πως η γεωργία κατέχει την πρώτη θέση στην παραγωγή μεθανίου προερχόμενο κυρίως από την κτηνοτροφία και την καλλιέργεια ρυζιού και την πρώτη θέση με πολύ μεγάλη διαφορά από το δεύτερο, στην παραγωγή οξειδίου του αζώτου το οποίο προέρχεται από την εφαρμογή αζωτούχων λιπασμάτων (Ritchie and Roser, 2020).

Όσον αφορά την Ευρωπαϊκή Ένωση, η συμβολή της γεωργίας στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κυμαίνεται κατά μέσο όρο μεταξύ 10 και 11% (Εικόνα 3) με τιμές που έφτασαν το 12% το 2016 (van Doorslaer et al, no year) και πλησίασαν το 10.3% το 2018 (Mielcarek-Bochenska and Rzeznik, 2021). Βάσει εθνικών προβλέψεων αναμένεται μια μικρή μείωση των εκπομπών κατά 2% σε σχέση με το 2015, αν και αυτό διαφέρει από μέλος σε μέλος (European Environment Agency, 2021). Για παράδειγμα, η Ελλάδα αν και μείωσε τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου πάνω από 10% για το διάστημα 2005-2019, η πρόβλεψη για το μέλλον είναι να υπάρξει αύξηση εάν δεν ληφθούν άλλα μέτρα πέραν αυτών που ήδη υπάρχουν (EEA, 2021).

Εκπομπές ρύπων στην ΕΕ ανά τομέα* το 2019



Εικόνα 3. Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στην ΕΕ ανά τομέα (ΕΟΠ, 2019)

Εκτός του ότι η γεωργία είναι μια σημαντική πηγή αερίων του θερμοκηπίου, είναι και ο οικονομικός τομέας που, τουλάχιστον στην Ελλάδα μαζί με τον τουρισμό, είναι πολύ πιθανόν να γνωρίσουν μεγάλη πίεση από τις αλλαγές στο κλίμα (Giannakopoulos et al, 2011).

Όπως έχει αναφερθεί η παραγωγή της γεωργίας εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από το κλίμα της κάθε περιοχής. Επομένως, αλλαγές της θερμοκρασίας ή των κατακρημνίσεων επηρεάζουν το μέγεθος και την ποιότητα αυτής. Εντούτοις, δεν επηρεάζονται όλες οι καλλιέργειες με τον ίδιο τρόπο ενώ επιπλέον υπάρχουν και έντονες τοπικές διαφοροποιήσεις. Υπάρχουν περιοχές που θα ευνοηθούν από την κλιματική αλλαγή (πιθανόν η αύξηση της θερμοκρασίας στις ψυχρές περιοχές να επιμηκύνει την καλλιεργητική περίοδο), ενώ άλλες θα βρεθούν σε δυσμενή θέση (στις θερμές περιοχές του πλανήτη πιθανόν να υπάρξει μείωση της παραγωγής).

Για παράδειγμα, είναι πιθανό να μειωθεί η παραγωγή σιταριού, καλαμποκιού και ρυζιού στην Κίνα (Zhang et al, 2017), αλλά την ίδια στιγμή, λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας και την ταυτόχρονη αύξησης των ημερών χωρίς παγετό, είναι δυνατόν να επεκταθεί η καλλιέργεια του σιταριού και του καλαμποκιού στα βορειότερα και υψηλότερα τμήματα της Βαλκανικής χερσονήσου (Mavromatis et al, 2022). Προς το παρόν όμως, δεν υπάρχουν αρκετές μελέτες που να εξετάζουν το φαινόμενο της μετατόπισης των καλλιεργειών και τις επιπτώσεις του σε άλλες περιοχές εκτός από την Ευρώπη και τη Β. Αμερική. Σύμφωνα όμως με τη Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος, ακόμη και η μετατόπιση των καλλιεργειών προς τη Β. Ευρώπη δεν είναι ικανή να αντισταθμίσει την απώλεια της παραγωγής που προβλέπεται για τις περισσότερες χώρες της Ε.Ε. Παγκοσμίως προβλέπεται να μειωθεί η παραγωγή καλαμποκιού και σιτηρών κατά 3.8% και 5.5% αντίστοιχα (Lobell et al , 2011). Ήδη υπάρχει μείωση της παγκόσμιας παραγωγής στις δέκα μεγαλύτερες καλλιέργειες όπως το καλαμπόκι, το ρύζι, το σιτάρι, το κριθάρι, η σόγια κ.α (Ray et al, 2019), γεγονός που συμφωνεί και με τα διάφορα μοντέλα πρόβλεψης της παγκόσμιας παραγωγικότητας (Mahli et al, 2021). Η Αφρική φαίνεται να είναι η πιο ευάλωτη περιοχή καθώς υπολογίζεται πως θα χάσει πάνω από το 50% της παραγωγής της μέχρι το 2050, απώλειες που θα φτάσουν περίπου το 90% μέχρι το 2100 (Li et al, 2009).

Αναφορικά με την περιοχή της Μεσογείου φαίνεται πως η ταυτόχρονη αύξηση της θερμοκρασίας και η μείωση κατακρημνίσεων θα έχει αρνητικές συνέπειες στην καλλιέργεια και παραγωγή χαρακτηριστικών ειδών της Μεσογειακής λεκάνης όπως

οι ελιές, τα αμπέλια, το σιτάρι, το κριθάρι, το καλαμπόκι, τα όσπρια κ.α (Zittis et al, 2021).

Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στη γεωργία συνοψίζονται στη μείωση του διαθέσιμου νερού, στην απώλεια γόνιμου εδάφους (μέσω κυρίως των πλημμυρικών φαινομένων, της διάβρωσης και της ερημοποίησης), στις αλλαγές στη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου και στην τρωτότητα των καλλιεργειών σε παθογόνους οργανισμούς (Baul and McDonald, 2015; Arora, 2019; Malhi et al, 2021).

3. ΑΝΘΡΑΚΙΚΟ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ

Το ανθρακικό αποτύπωμα είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Αποτελεί υποσύνολο του οικολογικού αποτυπώματος μαζί με διάφορα άλλους δείκτες εκ των οποίων οι πιο κοινοί είναι το αποτύπωμα νερού, το αποτύπωμα αζώτου και το ενεργειακό αποτύπωμα (Karwacka et al, 2020). Λόγω όμως της βαρύνουσας σημασίας της αλλαγής του κλίματος, το ανθρακικό αποτύπωμα εξελίχθηκε σε έναν ανεξάρτητο και σημαντικό δείκτη της επίδρασης των αερίων του θερμοκηπίου στην κλιματική αλλαγή (Scrucca et al, 2021). Γνωρίζοντας το ανθρακικό αποτύπωμα διάφορων διαδικασιών και προϊόντων, μπορούν να προσδιοριστούν εκείνα τα προϊόντα και οι διαδικασίες με μεγάλο ανθρακικό αποτύπωμα έτσι ώστε να βελτιωθούν τα σημεία που είναι υπεύθυνα για την έκλυση μεγάλων ποσοτήτων αερίων του θερμοκηπίου, χωρίς να υποβαθμιστεί η ποιότητα και η αποδοτικότητα. Επίσης σε μια αγορά που εμφανίζει ολοένα και αυξημένο ενδιαφέρον για οικολογικά προϊόντα, οι καταναλωτές έχουν τη δυνατότητα να κάνουν τις επιλογές τους βάσει των περιβαλλοντικών και οικολογικών τους ευαισθησιών.

3.1 Η εμπορική σημασία του ανθρακικού αποτυπώματος

Το ανθρακικό αποτύπωμα αποτελεί ένα δείκτη της ανθρώπινης επίδρασης στην κλιματική αλλαγή. Σήμερα που οι καταναλωτές εμφανίζονται πιο ευαισθητοποιημένοι στα περιβαλλοντικά ζητήματα και υπάρχει αυξημένο ενδιαφέρον για προϊόντα και υπηρεσίες φιλικές προς το περιβάλλον, οι επιχειρήσεις μπορούν να

χρησιμοποιήσουν το ανθρακικό αποτύπωμα για να επικοινωνήσουν την περιβαλλοντική τους ευθύνη αλλά και να αποκτήσουν προβάδισμα έναντι ανταγωνιστών τους. Υπάρχει μια μερίδα καταναλωτών που είναι πρόθυμη να πληρώσει παραπάνω χρήματα για τα τρόφιμα που φέρουν σήμανση του ανθρακικού αποτυπώματος με τον ίδιο τρόπο που είναι πρόθυμοι να ξοδέψουν περισσότερα χρήματα για βιολογικά προϊόντα (Rödiger and Hamm, 2015; Rondoni and Grasso, 2021), αν και το ιδανικό θα ήταν τα προϊόντα φιλικά προς το περιβάλλον να συνοδεύονται και από χαμηλές τιμές (Canavari and Coderoni, 2020).

Αν και υπάρχει αυτή η τάση, το υπάρχον σύστημα αναγραφής σε ετικέτα είναι περίπλοκο. Το γεγονός της ανεπαρκούς σήμανσης έχει σαν αποτέλεσμα οι καταναλωτές να κάνουν λιγότερο βιώσιμες επιλογές (Rondoni and Grasso, 2021).

3.2 Ορισμός του ανθρακικού αποτυπώματος

Η έννοια του ανθρακικού αποτυπώματος εμφανίστηκε τη δεκαετία του 1990 σαν ένα εργαλείο μέτρησης των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, ενώ σαν όρος άρχισε να χρησιμοποιείται ευρέως από το 2000 (Ercin and Hoekstra, 2012). Η προέλευσή του είναι η έννοια του οικολογικού αποτυπώματος όπως προτάθηκε από τους Wackernagel και Rees (1998). Σύμφωνα με τους παραπάνω, το οικολογικό αποτύπωμα αναφέρεται στην έκταση της παραγωγικής γης που χρειάζεται για να υποστηριχθεί ένας δεδομένος αριθμός ατόμων ή μια οικονομία.

Ο όρος περιλαμβάνει την έκταση που χρειάζεται για τη διατροφή του, την απόρριψη των απορριμμάτων του κ.α, ενώ η μονάδα μέτρησης είναι το εκτάριο. Οι Wiedmann και Minx (2008) έπειτα από μια βιβλιογραφική έρευνα πρότειναν σαν ορισμό του ανθρακικού αποτυπώματος ως «μέτρηση της συνολικής ποσότητας εκπομπών αποκλειστικά του διοξειδίου του άνθρακα η οποία προκαλείται άμεσα και έμμεσα από μια δραστηριότητα ή συσσωρεύεται κατά τα στάδια ζωής ενός προϊόντος». Αυτές οι δραστηριότητες μπορεί να είναι από μεμονωμένα άτομα, επιχειρήσεις, χώρες, από τον ιδιωτικό ή τον δημόσιο τομέα, ενώ τα προϊόντα μπορεί να αφορούν αγαθά και υπηρεσίες και η μονάδα μέτρησής του είναι ο τόνος (Wiedmann and Minx 2008). Ο ορισμός αυτός αφορά μόνο το διοξείδιο του άνθρακα και δεν υπολογίζει τις εκπομπές από τα υπόλοιπα αέρια του θερμοκηπίου.

Οι Pandey, Agrawal και Pandey έδωσαν τον δικό τους ορισμό για το ανθρακικό αποτύπωμα ως «η ποσότητα των αερίων του θερμοκηπίου εκφραζόμενο ως

ισοδύναμο διοξείδιο του άνθρακα (CO₂-eq) η οποία εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα από ένα μεμονωμένο άτομο, οργανισμό, διαδικασία, προϊόν ή εκδήλωση».

Το ανθρακικό αποτύπωμα ενός προϊόντος μπορεί να αφορά όλες τις εκπομπές από την εξαγωγή των πρώτων υλών, την επεξεργασία, την κατασκευή, την διανομή στους καταναλωτές, τη χρήση του μέχρι και την τελική του απόρριψη (Ecometrica, 2008).

Τα αέρια που προσμετρούνται είναι έξι, σύμφωνα και με το Πρωτόκολλο του Κιότο:

- διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)
- μεθάνιο (CH₄)
- πρωτοξείδιο του αζώτου (N₂O)
- υδροφθοράνθρακες (HFC)
- υπερφθοριωμένοι υδρογονάνθρακες (PFC)
- εξαφθοριούχο θείο (SF₆)

(eur-lex.europa.eu)

Η μονάδα μέτρησης, όπως αναφέρθηκε, είναι το ισοδύναμο διοξείδιο του άνθρακα (CO₂-e) το οποίο υπολογίζεται αν πολλαπλασιάσουμε το κάθε αέριο ξεχωριστά με το Δυναμικό Θέρμανσης του Πλανήτη.

Το Δυναμικό Θέρμανσης του Πλανήτη (Global Warming Potential-GWP) εκφράζει το ποσοστό της ατμόσφαιρας που απορροφάται από ένα αέριο του θερμοκηπίου σε συγκεκριμένο χρόνο, για παράδειγμα 100 χρόνια, σε σχέση με το διοξείδιο του άνθρακα (Πίνακας 1), (Κατσαφάδος και Μαυροματίδης, 2021).

Πίνακας 1. Δυναμικό Θέρμανσης του Πλανήτη (Global Warming Potential) των αερίων του Πρωτοκόλλου του Κιότο

Greenhouse Gas	Global Warming Potential
Carbon dioxide (CO ₂)	1
Methane (CH ₄)	25
Nitrous oxide (N ₂ O)	298
Hydrofluorocarbons (HFCs)	124 – 14,800
Perfluorocarbons (PFCs)	7,500 – 12,200
Sulphur hexafluoride (SF ₆)	22,800

Πηγή:

Ecometrica, 2008

Πρόκειται για μια μονάδα μέτρησης η οποία είναι ευρέως γνωστή και κοινώς αποδεκτή τόσο από τους ερευνητές, όσο και από τους διάφορους φορείς που είναι υπεύθυνοι για τη χάραξη πολιτικών για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.

Ακόμη και σήμερα ωστόσο, αν και είναι ο πιο διαδεδομένος δείκτης μέτρησης της επίπτωσης μιας δραστηριότητας στην ατμόσφαιρα και επομένως στην κλιματική αλλαγή, υπάρχουν πολλοί ορισμοί και διαφορετικές μέθοδοι αποτίμησής του ανάλογα με τον ερευνητή και τις αντιλήψεις του (Matušík and Koči, 2021; Shi and Yin, 2021), οι οποίοι όμως συμφωνούν με τη βασική ιδέα πως το ανθρακικό αποτύπωμα είναι ένας τρόπος συσχέτισης της ανθρώπινης δραστηριότητας, των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και την επίπτωση αυτών στο παγκόσμιο κλίμα (Wiedmann and Minx, 2008; Wright et al, 2011; Matušík and Koči, 2021).

Υπάρχουν κυρίως δυο τρόποι προσέγγισης στην αποτίμηση του ανθρακικού αποτυπώματος. Ο ένας αφορά μια ανάλυση των διαδικασιών από κάτω προς τα επάνω (bottom-up), ο άλλος αφορά μια ανάλυση περιβαλλοντικών εισροών-εκροών (inputs-outputs). Η κάθε προσέγγιση έχει τα θετικά και τα αρνητικά της στοιχεία, ωστόσο η πρώτη μέθοδος αφορά διαδικασίες παραγωγής και ανάπτυξης, όπου είναι πιο εύκολο να προσδιοριστούν τα διάφορα στάδια της κάθε διαδικασίας, ενώ η δεύτερη αφορά κυρίως συστήματα οργανισμών ή χωρών (Harkiolakis, 2013).

3.3 Ανθρακικό αποτύπωμα και γεωργία

Η γεωργία και γενικότερα ο αγροδιατροφικός τομέας είναι οι πηγές που συμβάλλουν περισσότερο στο ανθρακικό αποτύπωμα ακολουθούμενος από τις μεταφορές, την κατανάλωση, την παραγωγή ενέργειας, τη διαχείριση των απορριμμάτων κ.α (Crippa et al, 2021). Μάλιστα οι Renner et al (2020) υποστηρίζουν πως η γεωργία ευθύνεται για το 50% του ανθρακικού αποτυπώματος, ενώ κάποιες από τις ενέργειες που συνεισφέρουν στο ανθρακικό αποτύπωμα είναι η κατανάλωση ενέργειας στον αγρό και η μεταφορά των αγροτικών προϊόντων στα σημεία πώλησης ή μεταποίησης (Tubiello et al, 2021).

Γενικά όπως φαίνεται, τα κτηνοτροφικά προϊόντα έχουν μεγαλύτερο ανθρακικό αποτύπωμα από τα γεωργικά προϊόντα με την εκτροφή βοοειδών να κατέχει την πρώτη θέση (Xu and Lan, 2016), ενώ όσον αφορά τη γεωργική παραγωγή, οι δενδρώδεις καλλιέργειες έχουν μεγαλύτερο ανθρακικό αποτύπωμα από την καλλιέργεια λαχανικών καθώς η απαιτήσκει τους σε λιπάσματα, φυτοφάρμακα και ενέργεια είναι μεγάλες σε σχέση με την παραγόμενη ποσότητα (Martin-Gorriz et al, 2020). Ωστόσο, στη μελέτη των ανωτέρω ερευνητών αναφέρεται πως αν υπολογίσουμε τη δέσμευση του άνθρακα από τις δενδρώδεις καλλιέργειες, τότε το ανθρακικό αποτύπωμα είναι κατά πολύ μειωμένο.

3.4 Το ανθρακικό αποτύπωμα της καλλιέργειας των ακρόδρυων

Αν και οι ξηροί καρποί αποτελούν μια σημαντική καλλιέργεια με ιδιαίτερη δυναμική των οποίων η κατανάλωση συνεχώς αυξάνεται, δεν υπάρχουν αρκετές μελέτες υπολογισμού του ανθρακικού τους αποτυπώματος. Ωστόσο, γενικά, οι πολυετείς καλλιέργειες, όπως το κελυφωτό φιστίκι, έχουν την τάση να δεσμεύουν υψηλές ποσότητες άνθρακα λόγω του μεγάλου κύκλου ζωής τους και της αυξημένης παραγωγής βιομάζας (Kroodsma and Field, 2006).

Η μελέτη των Volpe et al (2015), υπολόγισε το ανθρακικό αποτύπωμα του αμυγδάλου, του φουντουκιού και του κελυφωτού φιστικιού σε 1.92 kg CO₂eq/kg, 0.52 kg CO₂eq/kg και 1.74 kg CO₂eq/kg αντίστοιχα για κάθε κιλό ωμού προϊόντος. Η βιβλιογραφική μελέτη επίσης, των Borsato et al (2018) αναφέρει το ανθρακικό αποτύπωμα του κελυφωτού φιστικιού σε 0,53 kg CO₂eq/kg, ενώ η μελέτη των Marvinney et al (2014), βασισμένη σε διάφορες πηγές και με χρονικό βάθος 61 έτη,

υπολόγισε το μέσο ανθρακικό αποτύπωμα για την φιστικιά, μεταξύ άλλων ακρόδρυων όπως η αμυγδαλιά και η καρυδιά, σε 3480 kg CO₂eq ανά εκτάριο και σε 3,83 kg CO₂eq ανά κιλό προϊόντος. Το ανθρακικό αποτύπωμα για την αμυγδαλιά υπολογίστηκε σε 4260 kg CO₂eq και σε 4050 kg CO₂eq για την καρυδιά. Για ένα κιλό προϊόντος, το ανθρακικό αποτύπωμα υπολογίστηκε σε 1,76 kg CO₂eq /kg και σε 0,95 kg CO₂eq /kg αντίστοιχα.

Στον Ελλαδικό χώρο οι μελέτες για τον υπολογισμό του ανθρακικού αποτυπώματος του κελυφωτού φιστικιού είναι ελάχιστες. Μια εξ αυτών αναφέρει για το φιστίκι Αιγίνης πως το Δυναμικό Υπερθέρμανσης του Πλανήτη (GWP), είναι 2119 kg CO₂eq για την παραγωγή ενός τόνου καρπού ή 2.11 kg CO₂eq /kg (Bartzas et al, 2017).

Εντούτοις, θα πρέπει να δίνεται μεγάλη προσοχή στην σύγκριση μεταξύ μετρήσεων γιατί διάφορες παράμετροι όπως λόγου χάρη η τοποθεσία, τα όρια του συστήματος, οι εισροές και εκροές του συστήματος, η χρήση της ενέργειας, αλλά ακόμη και η μέθοδος υπολογισμού του ανθρακικού αποτυπώματος, μπορεί να διαφέρουν σημαντικά δίνοντας και αντίστοιχα αποτελέσματα (Xu and Lan, 2016; Bartzas et al, 2017).

4. Η ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΗΣ ΦΙΣΤΙΚΙΑΣ

4.1 Ιστορία - Εξάπλωση – Καταγωγή της φιστικιάς

Η καλλιέργεια της φιστικιάς γίνεται εδώ και πολλά χρόνια σε περιοχές της νότιας και κεντρικής Ασίας, σε περιοχές της Ανατολικής Μεσογείου στη Βόρειο Αφρική και στη Μέση Ανατολή (Hormaza et al, 1994). Σύμφωνα με τον Chitzanidi (2010), η φιστικιά (*Pistacia vera*), προέρχεται από την Κεντρική Ασία αφού υπάρχει αυτοφυής σε μια μεγάλη έκταση που ξεκινάει από το Ιράν, το Αφγανιστάν και φτάνει μέχρι τη δυτική όχθη της λίμνης Ισσίκ-Κουλ στο ανατολικό Κιργιστάν, έχοντας διασχίσει το Τουρκμενιστάν, Ουζμπεκιστάν και Τατζικιστάν. Στην Ελλάδα και σε άλλες χώρες της Μεσογείου μεταφέρθηκε κατά την εποχή της ρωμαϊκής αυτοκρατορίας, χωρίς να είναι γνωστό το πότε ακριβώς άρχισε να καλλιεργείται στον ελλαδικό χώρο. Ο Θεόφραστος θεωρείται πως περιγράφει για πρώτη φορά ένα φυτό που μοιάζει με τον άγριο τερέμινθο με καρπούς όμοιους με τα αμύγδαλα, αλλά πιο μικρούς και πιο νόστιμους, χωρίς όμως να το ονομάζει.

Ο Γεννάδιος (1914) αναφέρει πως σύμφωνα με τον Παπαδόπουλο (1815) η φιστικιά ήταν οπωρικό της Ασίας που προέρχεται από το Χαλέπι, ενώ και αργότερα ο Παλαιολόγος (1835) αναφέρεται στο φιστίκι σαν ένα είδος που δεν καλλιεργείται στην Ελλάδα. Επίσης, αναφέρει πως η φιστικιά καλλιεργούνταν στη Ζάκυνθο ενώ σκόρπια δέντρα υπήρχαν στον Πύργο Ηλείας και ίσως και σε άλλα μέρη της Ελλάδας. Η πρώτη οργανωμένη φυτεία φιστικιάς έγινε το 1860 από το βιομήχανο της σοκολάτας Δ. Παπαδόπουλου ο οποίος εγκατέστησε ένα φιστικεώνα στο Ψυχικό Αττικής. Λίγα χρόνια αργότερα έγινε και η πρώτη συντονισμένη προσπάθεια για τη διάδοση της φιστικιάς από τον διευθυντή του τότε Γεωργικού Σταθμού Αττικοβοιωτίας, Θ. Ορφανίδη, ο οποίος έφερε δέντρα από την Συρία με σκοπό τον πολλαπλασιασμό τους. Το εγχείρημά του όμως δεν στέφθηκε από μεγάλη επιτυχία μιας και ελάχιστοι καλλιεργητές ήταν αυτοί που επέλεγαν τη νέα καλλιέργεια, κυρίως στην Αίγινα και γύρω από την Αθήνα. Το 1896 ο Ν. Περόγλου εγκατέστησε την πρώτη φυτεία φιστικιάς στην Αίγινα και από εκεί εξαπλώθηκε σε όλο το μέχρι τότε φτωχό νησί. Η μεγάλη ώθηση ωστόσο στην καλλιέργεια της φιστικιάς δόθηκε μετά το 1922 όταν λόγω των προσφύγων από τη Μικρά Ασία, άρχισε η μεγάλη κατανάλωση του καρπού, τόση που για να καλυφθεί η εγχώρια ζήτηση άρχισε να γίνεται πολλαπλασιασμός σε πολλά ιδιωτικά ή δημόσια φυτώρια, ενώ παράλληλα άρχισε και το μπόλιασμα άγριων τερεμινθιών που υπήρχαν άφθονοι στη χώρα (Χατζηνικολάου Α., 1949).

Από το 1950 η καλλιέργεια της φιστικιάς άρχισε να επεκτείνεται και στις περιοχές της Βοιωτίας, της Κορινθίας, της Εύβοιας και της Φθιώτιδας, ενώ από το 1968 εμφανίστηκαν καλλιέργειες φιστικιάς και στη Θεσσαλία και σε άλλα μέρη της Ελλάδας.

Ο καρπός της φιστικιάς είναι πολύ εύγεστος και έχει μεγάλη θρεπτική αξία καθώς είναι μια σημαντική πηγή μονοακόρεστων λιπαρών οξέων, είναι πλούσιος σε πρωτεΐνες, ανόργανα άλατα, φυτικές ίνες βιταμίνες, μέταλλα και ιχνοστοιχεία (Kashaninejad et al, 2006).

4.2 Βοτανική ταξινόμηση - χαρακτηριστικά

Η φιστικιά είναι δέντρο καρποφόρο που ανήκει στα ακρόδρυα. Σε αυτή την ομάδα ανήκουν καρποφόρα δέντρα, χωρίς βοτανική συγγένεια, τα οποία παράγουν καρπούς με σκληρό κέλυφος (τους λεγόμενους ξηρούς καρπούς) μέσα στο οποίο περικλείεται

το σπέρμα, η «ψίχα» που αποτελεί το εδώδιμο μέρος. Για τη χώρα μας ενδιαφέρον έχουν η αμυγδαλιά, η καρυδιά, η καστανιά, η φιστικιά και η φουντουκιά (Σφακιωτάκης Ε., 1998). Η φιστικιά ανήκει στην τάξη των τερεβινθωδών (terebinthinae) στο γένος *Pistacia* μέλος της οικογένειας των Ανακαρδιωδών (Anacardiaceae). Ο Zohary (1952) αναφέρει τουλάχιστον 11 είδη, ενώ σύμφωνα με τον Χατζηνικολάου (1949) τα κυριότερα από αυτά είναι:

1. *P. lentiscus* Linn, είναι ο γνωστός στα δάση και αυτοφυής στην Ελλάδα σκίνος, σχίνος ή λεντίσκος. Ποικιλία του σκίνου είναι και τα μαστιχόδεντρα της Χίου.
2. *P. terebinthus* L. Η αρχαία τέρμινθος ή τερέβινθος η οποία σήμερα απαντάται με διάφορες ονομασίες στην Αττική (Κοκορέτσι), στο Πήλιο (Τσιτσιρεβιά), στις Κυκλάδες (Κεροβλιά) κ.α σαν θάμνος στα βουνά. Τα φύλλα αυτού του είδους, τα τσιτσιράβλα, γίνονται τουρσί και αποτελούν εξαιρετικό μεζέ.
3. *P. palestina* L., το συναντάμε κυρίως στην Κρήτη και στη Χίο.
4. *P. atlanticades* P. Αυτό το είδος ευδοκιμεί σε θερμά και ξηρά μέρη κυρίως στις χώρες της Βόρειας Αφρικής. Στην Ελλάδα συναντάμε ένα υποείδος αυτού το *P. mutica* (Γεωργιάδου, 2009).
5. *P. vera* L. Είναι το σπουδαιότερο είδος και το μόνο του οποίου ο καρπός είναι αρκετά μεγάλος και κατάλληλος για κατανάλωση.

Είναι φυλλοβόλο δέντρο με πλούσια διακλάδωση και βραδεία ανάπτυξη που μπορεί όμως να φτάσει τα 5 με 8 μέτρα ύψος. Από το Νοέμβριο αρχίζουν τα φύλλα να πέφτουν και βρίσκεται σε ληθαργική κατάσταση μέχρι τις αρχές Μαρτίου τα αρσενικά και τα τέλη Μαρτίου τα θηλυκά δέντρα. Είναι επίσης δέντρο δίοικο πράγμα που σημαίνει πως τα θηλυκά και τα αρσενικά άνθη βρίσκονται σε διαφορετικά δέντρα και για αυτό το λόγο για τον σχηματισμό των καρπών, είναι απαραίτητη η παρουσία θηλυκών και αρσενικών δέντρων στον ίδιο οπωρώνα.

Τα άνθη της φιστικιάς σχηματίζονται στα πλάγια βλαστών του προηγούμενου έτους και σχηματίζουν ταξιανθίες σύνθετου βότρυος με μικρά άνθη με τα αρσενικά δέντρα να ανθίζουν 10-20 ημέρες νωρίτερα από το θηλυκά (πρωτανδρία). Τα θηλυκά άνθη δε φέρουν πέταλα και νεκτάρια και επομένως δεν ελκύουν μέλισσες. Για το λόγο

αυτό η επικονίαση γίνεται με τον αέρα. Τα δε φυλλάρια έχουν τα μεν αρσενικά σχήμα ωοειδές ή λογχοειδές τα δε θηλυκά σχεδόν στρογγυλά (Χατζηνικολάου, 1951). Ο καρπός είναι τύπου δρύπης και αποτελείται από ένα φλοιώδες εξωκάρπιο, ένα σαρκώδες μεσοκάρπιο και ένα σκληρό ξηλώδες ενδοκάρπιο (κέλυφος) το οποίο περιέχει το σπέρμα (ψίχα) που αποτελεί και το βρώσιμο μέρος του καρπού. Όταν ωριμάσει ο καρπός αλλάζει το χρώμα του φλοιού (εξωκάρπιο) και πέφτει αφήνοντας εμφανές το ενδοκάρπιο που με την σειρά του σχίζεται και αυτό, μια ιδιαιτερότητα που συναντάται μόνο στο *P. vera*. Το σκίσιμο της ραφής του ενδοκαρπίου είναι χαρακτηριστικό καλής ποιότητας και ανεβάζει την αξία του τελικού προϊόντος. Η ανάπτυξη των καρπών γίνεται σε τρεις περιόδους (Ρούσσος, 2019):

1^ο στάδιο. Σε αυτό το στάδιο αναπτύσσεται το κέλυφος και ταυτόχρονα αναπτύσσεται και η βλάστηση του δέντρου.

2^ο στάδιο. Στο δεύτερο στάδιο γίνεται η σκλήρυνση του καρπού (από τέλος Μαΐου μέχρι τέλος Ιουνίου).

3^ο στάδιο. Το τρίτο στάδιο (Ιούνιος-Αύγουστος) είναι αυτό με τις μεγαλύτερες απαιτήσεις σε νερό και θρεπτικές ουσίες καθώς τότε σχηματίζεται το σπέρμα σε αντίξοες καιρικά συνθήκες όπου επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες και αυξημένη ηλιοφάνεια.

Ωστόσο η φιστικιά είναι δέντρο που εναλλάσσει χρονιές με πλούσια καρποφορία με χρονιές με φτωχή καρποφορία ή ακόμα και ακαρπία, ένα φαινόμενο που ονομάζεται παρениαυτοφορία (Αναγνωστόπουλος, 1934).

Το ριζικό σύστημα της φιστικιάς είναι αρκετά εκτεταμένο και μπορεί να φτάσει σε μεγάλο βάθος. Το γεγονός αυτό καθιστά την φιστικιά ανθεκτική στην ξηρασία αν και κατά την περίοδο του γεμίσματος του καρπού (από Ιούνιο μέχρι Αύγουστο) η επαρκής άρδευση δίνει μεγαλύτερη παραγωγή (ΥΠΑΑΤ, χωρίς ημερομηνία).

Είναι δέντρο που αντέχει στο κρύο και ευδοκιμεί σε περιοχές με ζεστά και ξηρά, παρατεταμένα καλοκαίρια. Όσον αφορά το έδαφος, αν και προσαρμόζεται σε μια ποικιλία εδαφών, προτιμά εδάφη βαθιά, με καλή αποστράγγιση, καλά αεριζόμενα με υψηλή περιεκτικότητα σε ανθρακικό ασβέστιο.

Η αποτελεσματική λίπανση της φιστικιάς πρέπει να γίνεται μετά από εδαφολογική αλλά κυρίως φυλλοδιαγνωστική ανάλυση καθώς ένας γενικό μοντέλο λίπανσης δεν είναι δυνατό να υπάρξει λόγω της έντονης παρениαυτοφορίας του δέντρου (ΥΠΑΑΤ,

χωρίς ημερομηνία). Ωστόσο, τις χρονιές της μειωμένης καρποφορίας η εισροή λιπασμάτων θα είναι πολύ μειωμένη σε σχέση με τις άλλες χρονιές όπου χρειάζεται μεγάλη ποσότητα N, P και K τόσο την άνοιξη όταν αναπτύσσεται το φυτό και σχηματίζεται το περικάρπιο, όσο και το καλοκαίρι όταν αναπτύσσεται το σπέρμα.

Όσον αφορά τις ασθένειες, σύμφωνα με τις οδηγίες ολοκληρωμένης φυτοπροστασίας του ΥΠΑΑΤ χωρίζονται σε εδαφογενείς ασθένειες όπως η βερτισιλλίωση (*Verticillium dahlia*), η οποία αντιμετωπίζεται προληπτικά υιοθετώντας συγκεκριμένες καλλιεργητικές πρακτικές, η φυτοφθόρα ή κομμώση (*Phytophthora nicotianae*, *P. citrophthora*, *P. citrocola*) μια από τις σοβαρότερες μυκητολογικές ασθένειες της φιστικιάς, η οποία αντιμετωπίζεται και αυτή προληπτικά με τις κατάλληλες καλλιεργητικές πρακτικές, η σηψιρριζία (*Armillariasp.*) μια αρκετά δύσκολη στην καταπολέμησή της ασθένεια καθώς ο παθογόνος οργανισμός βρίσκεται σε μεγάλο βάθος, σε ασθένειες που οφείλονται σε μύκητες ξύλου όπως η ευτυπίωση (*Eutypalata*), η οποία όμως εξελίσσεται αργά και τουλάχιστον μέχρι σήμερα δεν αποτελεί σημαντικό κίνδυνο για τη φιστικιά, τη σήψη ξύλου (*Phelinus rimosus*), που προσβάλλει μόνο δένδρα μεγάλης ηλικίας, τον υλέζινο ή σκολύτη της φιστικιάς (*Acrantus vestitus*) και άλλα ξυλοφάγα έντομα τα οποία όμως γενικά δεν αποτελούν σημαντικούς εχθρούς της καλλιέργειας.

Επίσης υπάρχουν και παθογόνα που προσβάλλουν τα φύλλα και τους καρπούς, όπως οι μύκητες που προκαλούν σεπτοριώσεις (κηλιδώσεις φύλλων), σκωρίαση, ο σκόρος της φιστικιάς, οι ψύλλες, ο ιδιόκερος ή τζίτζικάκι της φιστικιάς, το καμαροσπόριο (θεωρείται η σοβαρότερη ασθένεια της φιστικιάς γιατί η ζημιά που προκαλείται είναι μεγάλη) κ.α.

Τα παραπάνω καταπολεμούνται με την εφαρμογή κατάλληλων εγκεκριμένων σκευασμάτων.

4.3 Παραγωγή φιστικιού παγκοσμίως και στην Ελλάδα

Η παγκόσμια παραγωγή φιστικιού εμφανίζει αυξομειώσεις όπως φαίνεται στο σχετικό Γράφημα (Γράφημα 3), ενώ ο παρακάτω πίνακας (Πίνακας 2) μας δείχνει τις χώρες με τη μεγαλύτερη παραγωγή.



Γράφημα 3. Παγκόσμια παραγωγή κελυφωτού φιστικιού
Πηγή: FAOSTAT

Η φιστική καλλιεργείται κυρίως στο Ιράν, τις ΗΠΑ, την Τουρκία, την Συρία, ενώ η Ελλάδα είναι έκτη σε παγκόσμια παραγωγή με αυξητικές τάσεις.

Πίνακας 2. Χώρες με τη μεγαλύτερη παραγωγή κελυφωτού φιστικιού

ΧΩΡΑ	Έτος			
	2015	2016	2017	2018
Ιράν	430000	574987	648934	143695
Τουρκία	144000	170000	78000	240000
ΗΠΑ	122470	406646	272290	447700
Κίνα	83533	78588	80118	80747
Συρία	52499	49753	51048	61631
Ελλάδα	9745	11265	11836	15144*

Πηγή: FAOSTAT, *ΕΛΣΤΑΤ

Πράγματι, γενικά στη χώρα μας τα τελευταία χρόνια η καλλιέργεια των ξηρών καρπών παρουσιάζει μια ιδιαίτερη δυναμική, με την Ελλάδα να έχει σημαντική θέση στην παγκόσμια παραγωγή όχι μόνο του φιστικιού, αλλά και του αμυγδάλου, των καρυδιών κ.α.

Για το έτος 2018 σύμφωνα με στοιχεία από την Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία, η παραγωγή ανήλθε στους 15.144 tn. Στον Πίνακα 3 αναφέρονται οι εκτάσεις, ο

αριθμός των δέντρων και η συνολική παραγωγή ανά διοικητική περιφέρεια για το ίδιο έτος.

Πίνακας 3. Παραγωγή, έκταση και αριθμός δέντρων στις Περιφέρειες για το έτος 2018

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	ΕΚΤΑΣΗ (στρ)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΝΤΡΩΝ	ΠΑΡΑΓΩΓΗ (tn)
ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	506.969	505.764	6.481
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	310.234	310.121	4.644
ΑΤΤΙΚΗΣ	200.281	198.731	3.198
ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	65.439	65.424	429
ΚΡΗΤΗΣ	3.527	2.892	96
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ	7.741	7.481	92
ΝΟΤΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	13.856	9.773	85
ΗΠΕΙΡΟΥ	3.004	2.304	75
ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	2.467	50	27
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	654	650	10
ΑΝ. ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ & ΘΡΑΚΗΣ	589	566	4
ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	295	255	3
ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ	-	-	-
ΣΥΝΟΛΟ	1.115.056	1.104.011	15.144

Πηγή ΕΛΣΤΑΤ, 2018

Αναλυτική παρουσίαση της παραγωγής στη Θεσσαλία που ήταν η δεύτερη πανελλαδικά περιγράφεται στον Πίνακα 4.

Πίνακας 4. Παραγωγή κελυφωτού φιστικιού στη Θεσσαλία για το 2018

4.4	Εκταση (στρ)	Αριθμοσδεντρων	Παραγωγή (tn)
Ν. Λαρίσης	228.880	228.837	2.513
Ν. Μαγνησίας	77.489	77.469	2.080
Ν. Καρδίτσης	2.700	2.650	32
Ν. Τρικάλων	1.165	1.165	20

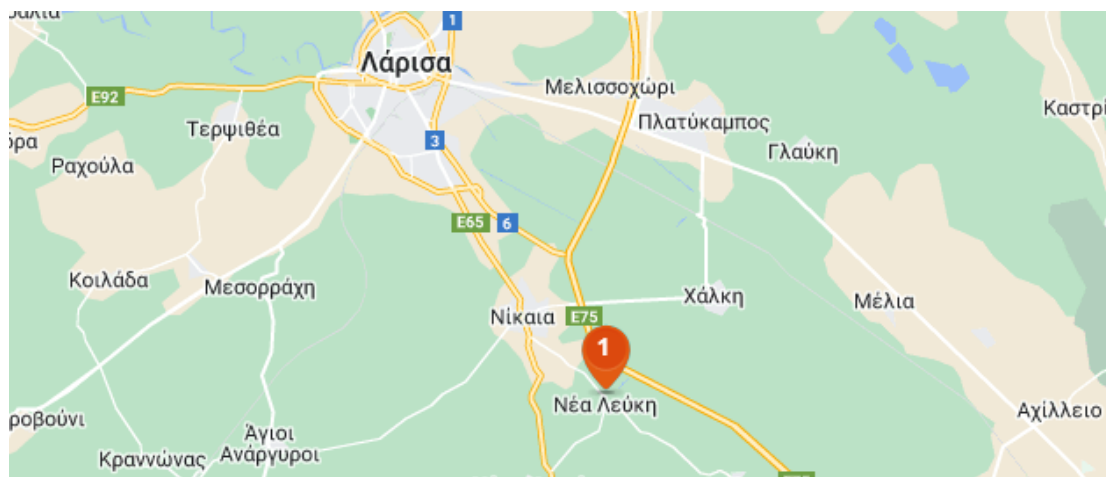
Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, 2018

5. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η μελέτη αφορά τα έτη από το 2011 μέχρι και το 2022 όπου τα δέντρα έχουν εισέλθει στην παραγωγική τους φάση. Η εγκατάσταση έχει γίνει σε δυο φάσεις για να προληφθεί όσο το δυνατόν το φαινόμενο της παρενιαυτοφορίας. Η εγκατάσταση ολοκληρώθηκε το 2011.

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στην Τοπική Κοινότητα της Νέας Λεύκης, 15 χλμ νοτιοανατολικά της πόλης της Λάρισας. Διοικητικά ανήκει στο Δήμο Κιλελέρ, της Περιφερειακής Ενότητας Λάρισας της Περιφέρειας Θεσσαλίας. Η έκταση του Δήμου Κιλελέρ είναι 975,29 τ.χλμ και ο πληθυσμός του ανέρχεται στους 24.124 κατοίκους σύμφωνα με την απογραφή του 2021 (ΕΛΣΤΑΤ, 2022-ΑΠΟΦΑΣΗ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΗΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΝΟΜΙΜΟΥ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ 2021-ΑΡ ΠΡΩΤ 9429/B4-2116/29-12-2022).

Η περιοχή της Τοπικής Κοινότητας της Νέας Λεύκης έχει έντονη αγροτική δραστηριότητα με διάφορες καλλιέργειες όπως βιομηχανική ντομάτα, όσπρια, αρωματικά φυτά, αροτριάιες καλλιέργειες αλλά και δενδρώδεις καλλιέργειες με προεξέχουσα αυτή του κελυφωτού φιστικιού, η οποία τείνει να γίνει μια από τις βασικές καλλιέργειες της περιοχής. Μάλιστα το 2018 διοργανώθηκε η 1^η Γιορτή Φιστικιού με μεγάλη επιτυχία.



Εικόνα 4. Περιοχή μελέτης

5.1 Κλίμα της περιοχής μελέτης

Το κλίμα της περιοχής μελέτης έχει τα στοιχεία του ηπειρωτικού κλίματος της Θεσσαλίας με μεγάλο θερμοκρασιακό εύρος (άνω των 20°C) μεταξύ του ψυχρού, υγρού χειμώνα και του θερμού, ξηρού καλοκαιρού. Για το έτος 2022, η μέση μικρότερη θερμοκρασία σημειώθηκε τον Ιανουάριο και ήταν -7,9°C, ενώ η μέση μέγιστη σημειώθηκε τον Αύγουστο και ήταν 33,9°C. Η συνολική βροχόπτωση ανήλθε στα 565,4mm.

6. ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ

6.1 Το μοντέλο Cool Farm

Για τον υπολογισμό του αποτυπώματος του άνθρακα υπάρχουν πολλές μέθοδοι και αρκετά εργαλεία τα οποία ποικίλλουν σε πολυπλοκότητα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε από δημόσιους φορείς είτε από ιδιώτες.

Ένα από τα διαθέσιμα εργαλεία είναι και το Cool Farm Tool (CFT), το οποίο απευθύνεται κυρίως σε παραγωγούς και είναι αυτό που θα χρησιμοποιηθεί στην συγκεκριμένη μελέτη. Το CFT είναι διαθέσιμο και προσβάσιμο σε όλους μέσω του διαδικτύου.

Αρχικά αναπτύχθηκε από τον καθ. Jonathan Hillier στο Πανεπιστήμιο του Aberdeen, σε συνεργασία με το Εργαστήριο Βιώσιμων Τροφίμων και την πολυεθνική εταιρία

Unilever, ως ένα εργαλείο υπολογισμού των αερίων του θερμοκηπίου προερχόμενα από το γεωργικό και κτηνοτροφικό τομέα (Keller et al, 2011).

Το μοντέλο CFT βασίζεται στις αρχές της Ανάλυσης του Κύκλου Ζωής στα πλαίσια του IPCC (2016) για την παρακολούθηση και αναφορά των μετρήσεων για τα αέρια του θερμοκηπίου. Οι μετρήσεις γίνονται μέσω εμπειρικών μοντέλων της Βαθμίδας 1 και 2, ενώ υπάρχει και μια απλή προσέγγιση των μεθόδων που αναφέρονται στη Βαθμίδα 3. Η πρώτη Βαθμίδα (Tier 1), είναι η βασική μέθοδος μέτρησης και αναφέρεται στις άμεσες εκπομπές στο πεδίο, η Βαθμίδα 2 (Tier 2), αναφέρεται στις έμμεσες εκπομπές που προέρχονται από τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας και η Βαθμίδα 3 (Tier 3) είναι η πιο απαιτητική μέθοδος και αυτή που απαιτεί μεγάλη ακρίβεια δεδομένων (Pandey and Agrawal, 2014; IPCC, 2019). Τις περισσότερες φορές γίνεται χρήση των Βαθμίδων 1 και 2, όμως είναι αναγκαίος ο υπολογισμός και κατά τη Βαθμίδα 3, καθώς έχει αποδειχθεί πως οι έμμεσες εκπομπές που περιλαμβάνονται στη Βαθμίδα 3 επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό το ανθρακικό αποτύπωμα (Matthews et al, 2008).

Είναι γενικά ένα εργαλείο με το οποίο ο χρήστης μπορεί να εξερευνήσει διάφορους τρόπους για τη μείωση του ανθρακικού αποτυπώματος της καλλιέργειας ή της κτηνοτροφικής του μονάδας. Οι Whittaker et al (2013), σε μια συγκριτική μελέτη που διεξήγαγαν διαπίστωσαν πως το Cool Farm Tool ήταν το καλύτερο εργαλείο υπολογισμού του ανθρακικού αποτυπώματος με ελεύθερη πρόσβαση, με σαφή ωστόσο περιθώρια βελτίωσης (Bokhoree et al, 2021).

Το μοντέλο CFT χρησιμοποιεί δεδομένα τα οποία εισάγονται από τον χρήστη από το ημερολόγιο γεωργικών εργασιών και αφορούν τα είδη και τους τύπους των λιπασμάτων που χρησιμοποιήθηκαν (ποσοστό σε N-P-K αλλά και άλλων ιχνοστοιχείων αν τυχόν υπάρχουν), τον τρόπο και τον αριθμό εφαρμογής των λιπασμάτων, τη διαχείριση των φυτικών υπολειμμάτων, τυχόν αλλαγές στις χρήσεις γης, τις καλλιεργητικές πρακτικές που εφαρμόστηκαν και τη χρήση ενέργειας είτε ηλεκτρική είτε από ορυκτά καύσιμα. Επίσης απαιτούνται και άλλα στοιχεία τα οποία δίνονται από την ανάλυση εδαφικών δειγμάτων όπως η κοκκομετρική σύσταση και ο χαρακτηρισμός του εδάφους, η στράγγιση του εδάφους, η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία, το εδαφικό pH ενώ εισάγονται και κάποια γενικά στοιχεία όπως η τοποθεσία, το έτος το οποίο αφορά ο υπολογισμός, την έκταση και το είδος της καλλιέργειας, τη μέση ετήσια θερμοκρασία κα.

Τα δεδομένα με τα οποία υπολογίζονται οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου προέρχονται από διεθνείς έρευνες και από στοιχεία του IPCC. Για παράδειγμα οι εκπομπές από τη χρήση λιπασμάτων υπολογίζονται βάσει των συντελεστών που δίνονται από το εμπειρικό μοντέλο των Bouwman et al (2002) (Πίνακας 5).

Πίνακας 5. Συντελεστές του μοντέλου των Bouwman et al (2002)

Factor		N ₂ O	NO	NH ₃
Constant		-0.41	-1.527	0
Fertiliser type	Animal manure	0.0021	0.0016	-1.151
	Ammonium sulphate	0.0051	0.0056	0.429
	Monoammonium phosphate	0.0039	0.0055	-0.622
	Diammonium phosphate	0.0039	0.0055	0.182
	Calcium nitrate	0.0034	0.0054	-1.585
	Anhydrous ammonia	0.0056	0.0051	-1.151
	Ammonium bicarbonate	0.0051	0.0056	0.387
	Urea ammonium nitrate	0.0053	0.0004	0
	Calcium ammonium nitrate	0.0037	0.0062	-1.064
	Ammonium nitrate	0.0061	0.0004	-0.35
	Potassium nitrate	0.0034	0.0054	-1.585
Crop type	Grass	-1.27	0	-0.158
	Grass-clover	-1.24	0	-0.045
	Legumes	-0.02	0	-0.045
	Other upland	0	0	-0.045
	Wet land rice	-2.54	0	0
Soil texture	Fine	0	0	0
	Medium	-0.47	0	0
	Coarse	-0.01	0	0
SOC	<1%	0	0	0
	1-3%	0.14	0	0
	3-6%	0.58	2.571	0
	>6%	1.05	2.571	0
Cation exchange capacity	<16	0	0	0.088
	16-24	0.14	0	0.012

	Factor	N ₂ O	NO	NH ₃
pH	24–32	0.58	2.571	0.163
	>32	1.05	2.571	0
	<=5.5%	0	0	-1.072
	5.5–7.3%	0.11	0	-0.933
	>7.3%	-0.35	0	-0.608
Drainage	Poor	0	0	0
	Good	-0.42	0.946	0
Climate	Temperate	0	0	-0.402
	Tropical	0.82	0	0

Όλα τα απαιτούμενα στοιχεία εισάγονται από τον χρήστη σε επτά διαφορετικές καρτέλες excel (Version 2.0). (Πίνακας 6). Η νεότερη εκδοχή του μοντέλου η οποία είναι εύκολα προσβάσιμη μέσω διαδικτύου, απαιτεί την εισαγωγή των στοιχείων σε επτά ξεχωριστές ιστοσελίδες.

Πίνακας 6. Οι καρτέλες του Cool Farm Tool που απαιτούν συμπλήρωση (Version 2.0 – excel)

Ονομασία καρτέλας	Στοιχεία που απαιτούνται
General Information	Περιοχή, έτος, παραγωγή, έκταση, κλίμα
Crop Management	Καλλιεργητικές πρακτικές, φυτοπροστασία, χρήση λιπασμάτων, διαχείριση υπολειμμάτων
Sequestration	Διαχείριση και χρήσεις γης
Livestock	Διατροφή ζώων, διαχείριση κοπριάς κλπ.
Field Energy Use	Μέθοδος άρδευσης, χρήση αγροτικών μηχανημάτων κλπ
Primary Processing	Αποθήκευση, μεταποίηση
Transport	Τρόπος μετακίνησης της παραγωγής

Όπως έχει αναφερθεί, ο υπολογισμός του ανθρακικού αποτυπώματος έγινε με τη χρήση του εργαλείου Cool Farm (CFT) Version 2.0. Εκτός από τα παραπάνω στοιχεία, εισάγεται ένα πλήθος άλλων δεδομένων που αφορούν την τοποθεσία και τη

έκταση του αγρού, το είδος της καλλιέργειας, βασικές κλιματικές συνθήκες της περιοχής, βασικές εδαφικές ιδιότητες του αγροτεμαχίου (κοκκομετρική σύσταση, pH, εδαφική υγρασία, στράγγιση εδάφους, περιεκτικότητα σε οργανική ουσία), το είδος, η ποσότητα και ο τρόπος εφαρμογής των λιπασμάτων που χρησιμοποιήθηκαν κατά την συγκεκριμένη καλλιεργητική περίοδο, η διαχείριση των φυτικών υπολειμμάτων, οι τυχόν αλλαγές στις χρήσεις γης και στις καλλιεργητικές πρακτικές κ.α. Επίσης τα δεδομένα περιλαμβάνουν και την ενέργεια που καταναλώνεται στον αγρό και την πηγή αυτής είτε αφορά την κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος είτε την κατανάλωση καυσίμων.

Για την συγκεκριμένη μελέτη, η κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος αφορά την άρδευση, ενώ η κατανάλωση καυσίμων αφορά τη χρήση ψεκαστικών μηχανών. Όλα τα παραπάνω στοιχεία υπολογίσθηκαν με βάση τα δεδομένα που παραχωρήθηκαν από τον παραγωγό.

Για τον υπολογισμό του ανθρακικού αποτυπώματος χρησιμοποιήθηκαν οι συντελεστές εκπομπών που αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 7).

Πίνακας 7. Συντελεστές εκπομπών για τον υπολογισμό του ανθρακικού αποτυπώματος

Είδος/Διαδικασία	Συντελεστής Εκπομπών
Λιπάσματα	(kg CO ₂ -eq/kg λίπασμα)
- 34,5 – 0 – 0	2.14
- Urea (46% N)	0.73
- 12 – 40 – 10	0.96
- 46 – 0 – 0	0.73
-13 – 0 – 46	2.67
-13 – 40 – 13	0.96
-15 – 5 – 10	0.96
-12 – 61 – 0	0.96
-20 – 20 – 20	0.96
-12 – 0 – 0	0.96
-0 – 52 – 34	0.96

Φυτοπροστασία	kgCO₂-eq/εφαρμογή/ha
- Μέση τιμή για όλων των ειδών τα φυτοφάρμακα	20.5
Διαχείριση υπολειμμάτων	kg υπόλειμμα
- Ενσωμάτωση	0/0
Ηλεκτρικό ρεύμα και πετρέλαιο για διάφορες εργασίες	kgCO₂-eq/MJενέργεια
- Ηλεκτρικό ρεύμα	0.200
- Πετρέλαιο	2.68
N₂O, NO και NH₄εκπομπές εδάφους	Τιμές παραμέτρων για N₂O/NO/NH₄
Σταθερά (c)	-0.41/-1.527/0
Παράγοντας: Καλλιέργεια	
- Άλλη	-1.268/0/-0.158
Παράγοντας: Υφή εδάφους	
- Coarse	0/0/0
Παράγοντας: Soil Organic Carbon	
- SOC	0/0/0
Παράγοντας: Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων	
- CEC	0/0/0.088
Παράγοντας: pH	
- 7.3 – 8.5	0/0/-1.072
Παράγοντας: Απορροή	
- Καλή	-0.42/0.946/0
Παράγοντας: Κλίμα	
- Εύκρατο	0/0/-0.402

Πηγή: Μοντέλο Cool Farm Tool

Όσον αφορά τη χρήση φυτοφαρμάκων, το μοντέλο δε λαμβάνει υπόψη την επίδρασή τους στο περιβάλλον. Γίνεται ένας γενικός υπολογισμός για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά την κατασκευή τους αλλά και ένας βασικός υπολογισμός για τη χρήση τους. Ο λόγος που δεν γίνεται λεπτομερής υπολογισμός των εκπομπών από τη χρήση φυτοφαρμάκων είναι πως η λελογισμένη χρήση φυτοφαρμάκων δεν επιβαρύνει σημαντικά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου όσο η χρήση λιπασμάτων ενώ και ο μεγάλος αριθμός φυτοπροστατευτικών σκευασμάτων καθιστά τον λεπτομερή υπολογισμό των εκπομπών τους κατά τη χρήση, πολύπλοκο και πέρα από τον σκοπό του μοντέλου (Hiller et al, 2011).

6.2 Όρια συστήματος

Τα όρια του συστήματος είναι πολύ σημαντικά για τον υπολογισμό του ανθρακικού αποτυπώματος. Αυτά καθορίζονται ανάλογα με τον επιθυμητό στόχο, τα χαρακτηριστικά του προϊόντος και την επιθυμητή λεπτομέρεια (Pandey and Agrawal, 2011). Σύμφωνα με την πρόταση των Adewale et al (2018), τουλάχιστον για τη γεωργία, τα όρια του αποτυπώματος του άνθρακα θα πρέπει να περιλαμβάνουν, όπου είναι δυνατόν, *“τις αλλαγές στη χρήση γης, τις γεωργικές υποδομές, τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας, τα μηχανήματα, τις γεωργικές πρακτικές, τη χρήση καυσίμων, τα φυτοφάρμακα και άλλες χημικές εισροές, τη χρήση πλαστικών και άλλων υλικών, την αζωτοδέσμευση, τις εδαφικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και τις εντερικές ζυμώσεις των ζώων”*.

Για την συγκεκριμένη εργασία υπολογίστηκε το αποτύπωμα του άνθρακα για κάθε έτος ξεχωριστά από το 2011 μέχρι και το 2022. Ο υπολογισμός αφορά τις εργασίες που γίνονται στον αγρό κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου μέχρι και την συγκομιδή του προϊόντος. Δεν έχουν υπολογισθεί η μεταφορά από και προς τον αγρό των γεωργικών εφοδίων ή οποιαδήποτε εργασία μετά την συγκομιδή που σχετίζεται με το παραγόμενο προϊόν, όπως η μεταφορά του καρπού, η διαλογή και η επεξεργασία αυτού.

Για τον υπολογισμό και σύγκριση του ανθρακικού αποτυπώματος χρησιμοποιήθηκαν δυο μονάδες μέτρησης: 1 κιλό παραγόμενου προϊόντος και 1 εκτάριο. Έτσι για κάθε έτος, εκτός από τα πρώτα χρόνια όπου δεν υπάρχει παραγωγή, έχουμε το ανθρακικό αποτύπωμα του προϊόντος και το ανθρακικό αποτύπωμα της έκτασης αντίστοιχα.

7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Ο υπολογισμός αφορά ένα αγροτεμάχιο έκτασης 43 στρεμμάτων ή 4,3 εκταρίων στην περιοχή της Νέας Λεύκης. Τα δέντρα έχουν φυτευτεί σε 14 σειρές και κάθε σειρά περιλαμβάνει 70 δέντρα. Το έδαφος είναι μετρίως λεπτόκοκκο αργιλώδες (C), αργιλοπηλώδες (CL), μέσης αλκαλικής οξύτητας χωρίς προβλήματα συσσώρευσης αλάτων στην επιφάνεια του εδάφους και σχετικά αυξημένα ποσοστά οργανικής ουσίας.

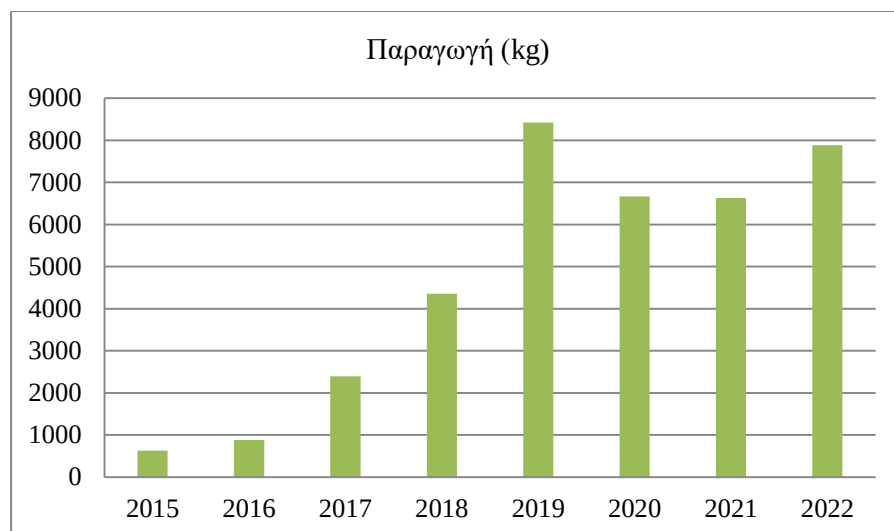
Τα δέντρα έχουν μπει σε παραγωγική πορεία από το 2015 με μικρές ποσότητες και αυξομειώσεις όσο προχωρούν προς την πλήρη παραγωγικότητά τους. Ο κύκλος ζωής των καρποφόρων δέντρων μπορεί να χωριστεί σε τρεις φάσεις. Στην πρώτη φάση τα νεαρά δέντρα έχουν μικρή καρποφορία, στη δεύτερη, ώριμη φάση, η καρποφορία τους είναι σταθερή, ενώ στην τρίτη φάση η παραγωγή τους βαίνει μειούμενη. Η φιστικιά αρχίζει να έχει αξιόλογη παραγωγή 8-10 χρόνια μετά από την εγκατάσταση, ενώ υπάρχει και έντονο το φαινόμενο της παρενιαυτοφορίας. Υπολογίζεται πως ο κύκλος ζωής της φιστικιάς διαρκεί πάνω από 100 χρόνια.

Στον Πίνακα 8 αποτυπώνεται η παραγωγή του φιστικεώνα από το 2015 μέχρι και το 2022.

Πίνακας 8. Παραγωγή φιστικεώνα

Έτος	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Παραγωγή(kg)	630	880	2394	4356	8420	6663	6630	7880

Για τον υπολογισμό του ανθρακικού αποτυπώματος, υπολογίστηκε το CO₂eq όλων των εισροών κατά την καλλιεργητική περίοδο όπως η χρήση λιπασμάτων και φυτοπροστατευτικών μέσων, η χρήση γεώτρησης για την άρδευση και τη λίπανση και η χρήση ψεκαστικών μηχανημάτων, όπως προβλέπεται στο μοντέλο του Cool Farm Tool.



Γράφημα 4. Παραγωγή ανά έτος (kg)

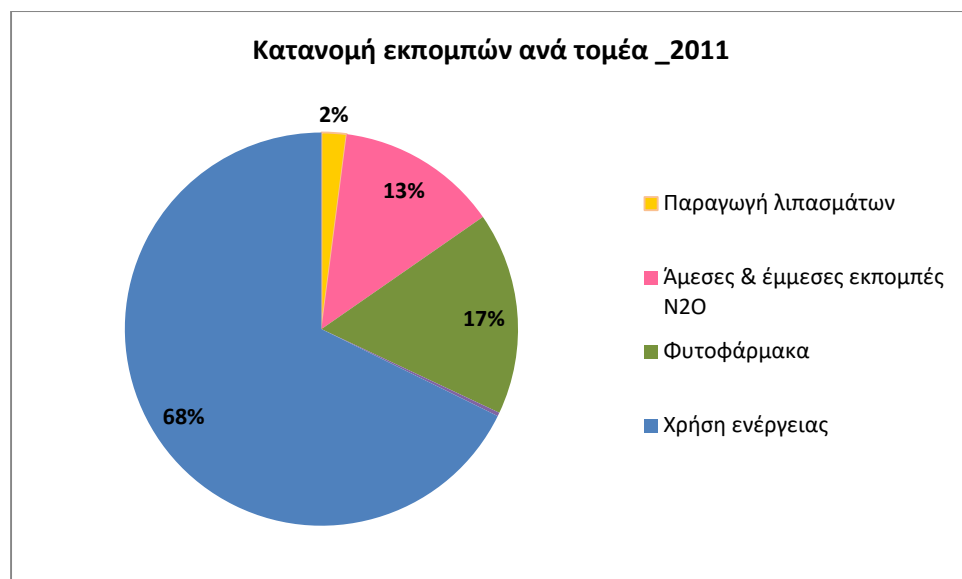
7.1 Αποτύπωμα άνθρακα για το έτος 2011

Το 2011 ήταν η χρονιά που ολοκληρώθηκε η εγκατάσταση των δέντρων. Οι εισροές ήταν ελάχιστες τόσο όσον αφορά τα λιπάσματα όσο και τα φυτοπροστατευτικά σκευάσματα. Όσον αφορά όμως την ποσότητα νερού, αυτή ήταν αυξημένη λόγω των αυξημένων απαιτήσεων των νεαρών δέντρων.

Πίνακας 9. Εισροές καλλιέργειας για το έτος 2011

Νερό (m ³)	Λιπάσματα (kg)	Φυτοπροστατευτικά σκευάσματα(Αρ.)
2820	450	10

Καθώς δεν υπάρχει παραγωγή, το ανθρακικό αποτύπωμα αφορά μόνο τις καλλιεργητικές πρακτικές και όχι την παραγωγή. Επομένως, το CO₂eq ανά εκτάριο είναι 1476.3 kg.



Γράφημα 5. Κατανομή εκπομπών ανά εκτάριο για το έτος 2011

Όπως φαίνεται στο Γράφημα 5 το μεγαλύτερο ποσοστό εκπομπών προέρχεται από τη χρήση ενέργειας, στη δεύτερη θέση βρίσκεται η χρήση φυτοφαρμάκων και ακολουθούν οι άμεσες και έμμεσες εκπομπές N₂O που οφείλονται στη χρήση αζωτούχων λιπασμάτων, κυρίως ουρίας και νιτρικής αμμωνίας καθώς και στις φυσικές διεργασίες μετατροπής του αζώτου στο έδαφος στα πλαίσια του κύκλου ζωής του. Οι εκπομπές από τη διαχείριση φυτικών υπολειμμάτων είναι μηδενικές.

Η κατανάλωση ενέργειας αφορά κυρίως την άρδευση και βασίζεται στο ενεργειακό μείγμα της Ελλάδας. Η πηγή του ηλεκτρικού ρεύματος είναι το ηλεκτρικό δίκτυο χωρίς τη χρήση οποιουδήποτε είδους ανανεώσιμης πηγής ενέργειας. Επίσης αυτός ο τομέας (κατανάλωση ενέργειας), αφορά και τη χρήση πετρελαίου κίνησης για την εφαρμογή φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων, όπου αυτό απαιτείται καθώς η εφαρμογή των λιπασμάτων γίνεται κυρίως μέσω της υδρολίπανσης. Τέλος, οι εκπομπές από την παραγωγή των λιπασμάτων βρίσκονται σε χαμηλά επίπεδα.

7.2 Αποτύπωμα άνθρακα για το έτος 2012

Το 2012 συνεχίζεται η ανάπτυξη των δέντρων και οι αυξημένες τους απαιτήσεις σε νερό. Αυτή τη χρονιά γίνεται πολύ μεγαλύτερη χρήση λιπασμάτων αλλά μικρότερη χρήση φυτοπροστατευτικών σκευασμάτων (Πίνακας 10)

Πίνακας 10. Εισροές καλλιέργειας για το έτος 2012

Νερό (m ³)	Λιπάσματα (kg)	Φυτοπροστατευτικά σκευάσματα (Αρ.)
2986	1105	5

Εξακολουθεί να μην υπάρχει παραγωγή και επομένως το CO₂e ανά εκτάριο είναι 1566.2 kg.



Γράφημα 6. Κατανομή εκπομπών ανά τομέα για το έτος 2012

Οι εκπομπές CO₂e για το έτος 2012, όπως αποτυπώνονται στο παραπάνω γράφημα, αφορούν επί το πλείστον τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας στην προέλευση της οποίας δεν υπάρχει καμία μεταβολή. Παρατηρείται όμως αφενός μια μείωση της τάξης του 6% στη χρήση φυτοφαρμάκων, αφετέρου μια μεγάλη αύξηση στις εκπομπές από την παραγωγή λιπασμάτων κατά 14%, των οποίων η χρήση ήταν αρκετά εκτεταμένη σε σχέση με το 2011. Το γεγονός της μη μεταβολής του ποσοστού των εκπομπών του N₂O, πιθανόν να οφείλεται ότι αυτή τη χρονιά η αζωτούχος λίπανση ήταν πιο περιορισμένη, αν και σε απόλυτους αριθμούς χρησιμοποιήθηκε μεγαλύτερη ποσότητα λιπασμάτων. Η διαχείριση των φυτικών υπολειμμάτων παραμένει σε μηδενικά επίπεδα.

7.3 Αποτύπωμα άνθρακα για το έτος 2013

Τα δέντρα συνεχίζουν την ανάπτυξή τους. Το μοτίβο είναι το ίδιο με την προηγούμενη χρονιά. Οι απαιτήσεις σε νερό είναι αυξημένες ενώ αν και σε ποσότητα τα λιπάσματα είναι περίπου τα ίδια με το 2012, γίνεται μεγαλύτερη χρήση αζωτούχων λιπασμάτων κυρίως ουρίας και νιτρικής αμμωνίας. Ο αριθμός των φυτοπροστατευτικών σκευασμάτων κυμαίνεται περίπου στα ίδια επίπεδα με την προηγούμενη χρονιά. (Πίνακας 11).

Πίνακας 11. Εισροές καλλιέργειας για το έτος 2013

Νερό (m ³)	Λιπάσματα (kg)	Φυτοπροστατευτικά σκευάσματα (Αρ.)
4119	1100	6

Το 2013 τα δέντρα δεν έχουν μπει ακόμη σε παραγωγική φάση, επομένως το CO₂eq ανά εκτάριο είναι 1921.1 kg.



Γράφημα 7. Κατανομή εκπομπών ανά τομέα για το έτος 2013

Ο τομέας με τη μεγαλύτερη συμβολή στις εκπομπές CO₂eq για το έτος 2013 εξακολουθεί να είναι η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας και αυτό δεν πρόκειται να

αλλάζει όσο η πηγή ενέργειας παραμένει η ίδια. Ωστόσο το ποσοστό είναι ελαφρώς αυξημένο και αυτό γιατί οι ώρες άρδευσης και επομένως η κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος ήταν αυξημένη σε σχέση με το 2012. Η χρήση κυρίως αζωτούχων λιπασμάτων οδήγησε σε αυξημένα ποσοστά των άμεσων και έμμεσων εκπομπών N_2O κατά 5% από 13% σε 18% το 2013. Την ίδια στιγμή, οι εκπομπές που οφείλονται στην παραγωγή λιπασμάτων έχει μειωθεί κατά 6% γιατί έχει αλλάξει και το μείγμα των λιπασμάτων που έχει χρησιμοποιηθεί. Η διαχείριση των φυτικών υπολειμμάτων εξακολουθεί να παραμένει σε μηδενικά επίπεδα.

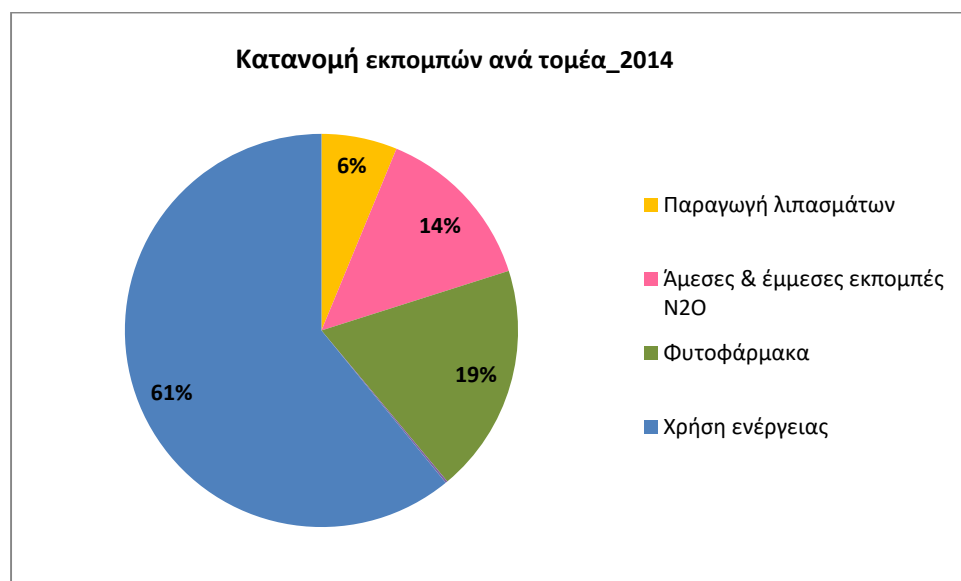
7.4 Αποτύπωμα άνθρακα για το έτος 2014

Η ανάπτυξη των νεαρών δέντρων συνεχίζεται. Αυτή τη χρονιά οι απαιτήσεις σε νερό, λιπάσματα και φυτοπροστατευτικά σκευάσματα είναι αυξημένες.

Πίνακας 12. Κατανομή εκπομπών ανά τομέα για το έτος 2013

Νερό (m^3)	Λιπάσματα (kg)	Φυτοπροστατευτικά σκευάσματα (Αρ.)
4141	575	14

Τρία έτη μετά την εγκατάσταση τα δέντρα εξακολουθούν να μη δίνουν παραγωγή. Επομένως το CO_{2eq} είναι 2611.7 kg ανά εκτάριο.



Γράφημα 8. Κατανομή εκπομπών ανά τομέα για το έτος 2014

Όπως και τις προηγούμενες χρονιές, ο τομέας με τη μεγαλύτερη συμβολή είναι η χρήση ενέργειας. Ακολουθεί η χρήση φυτοφαρμάκων και έπονται οι άμεσες και έμμεσες εκπομπές από το N_2O . Σε σχέση με τις προηγούμενες χρονιές ο αριθμός των φυτοπροστατευτικών σκευασμάτων είναι μεγαλύτερος και για το λόγο αυτό ο τομέας των φυτοφαρμάκων έχει αυξημένη επίδραση. Την συγκεκριμένη χρονιά η χρήση των αζωτούχων λιπασμάτων έχει περιοριστεί και για το λόγο αυτό, αν και η ποσότητα που έχει χρησιμοποιηθεί είναι μεγαλύτερη, η επίπτωση στο ανθρακικό αποτύπωμα είναι μικρότερη σε σχέση με το 2013.

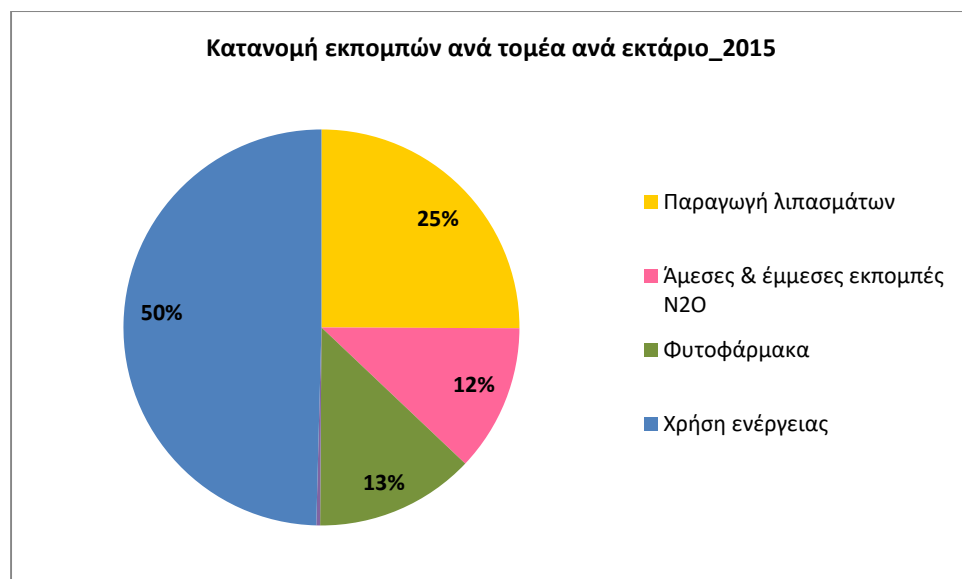
7.5 Αποτύπωμα άνθρακα για το έτος 2015

Το 2015 τέσσερα χρόνια μετά την εγκατάσταση, τα νεαρά δέντρα δίνουν παραγωγή για πρώτη φορά με μια μικρή ποσότητα της τάξης των 630 kg. Οι ποσότητες του νερού είναι λίγο πολύ οι ίδιες με το προηγούμενο έτος, ενώ έχουμε μεγάλη αύξηση στη χρήση λιπασμάτων και παράλληλα μείωση των χρησιμοποιούμενων φυτοπροστατευτικών σκευασμάτων.

Πίνακας 13. Εισροές καλλιέργειας για το έτος 2015

Νερό (m^3)	Λιπάσματα (kg)	Φυτοπροστατευτικά σκευάσματα (Αρ.)
4158	2175	8

Για πρώτη φορά μπορεί να υπολογιστεί το ανθρακικό αποτύπωμα της παραγωγής, που όμως είναι αρκετά αυξημένο λόγω της μικρής παραγωγής. Το CO_{2eq} για το 2015 είναι 2828.8 kg ανά εκτάριο, ενώ το ανθρακικό αποτύπωμα για κάθε κιλό παραγόμενου προϊόντος είναι 20.3 kg CO_{2eq} .



Γράφημα 9. Κατανομή εκπομπών ανά τομέα ανά εκτάριο για το έτος 2015

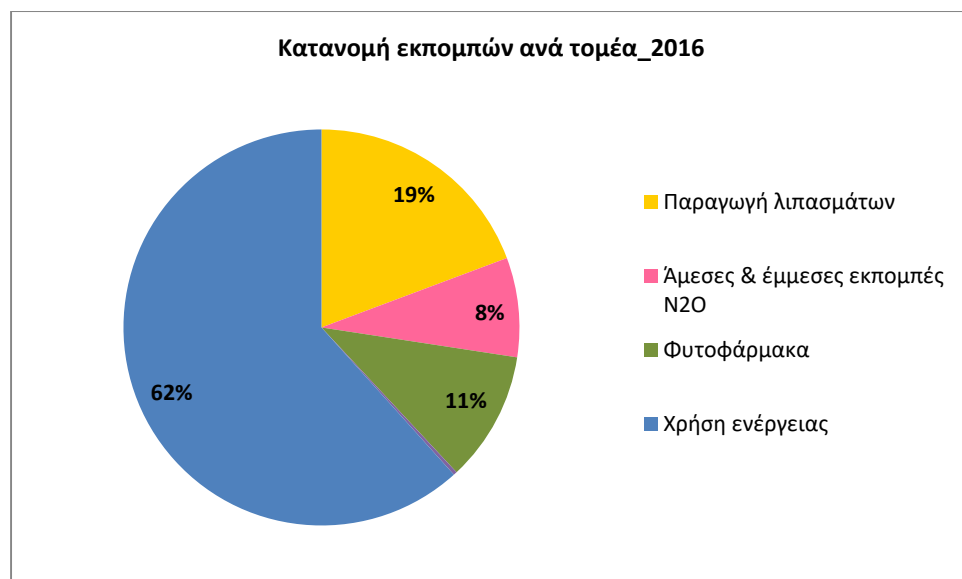
7.6 Αποτύπωμα άνθρακα για το έτος 2016

Οι ανάγκες των δέντρων σε νερό έχουν αυξηθεί σημαντικά. Η ποσότητα των λιπασμάτων είναι περίπου η ίδια με το προηγούμενο έτος και ο αριθμός των φυτοπροστατευτικών σκευασμάτων παρουσιάζει μικρή αύξηση. Η παραγωγή είναι αυξημένη κατά 14% από την προηγούμενη χρονιά, εξακολουθεί όμως να είναι μικρή λόγω της νεαρής ηλικίας των δέντρων.

Πίνακας 14. Εισροές καλλιέργειας για το έτος 2016

Νερό (m ³)	Λιπάσματα (kg)	Φυτοπροστατευτικά σκευάσματα (Αρ.)
6470	2203	12

Το ανθρακικό αποτύπωμα είναι συνολικά ανά εκτάριο 3084 kg CO₂eq, ενώ για κάθε κιλό παραγόμενου προϊόντος έχουμε 14.7 kg CO₂eq.



Γράφημα 10. Κατανομή εκπομπών ανά τομέα ανά εκτάριο για το έτος 2016

7.7 Αποτύπωμα άνθρακα για το έτος 2017

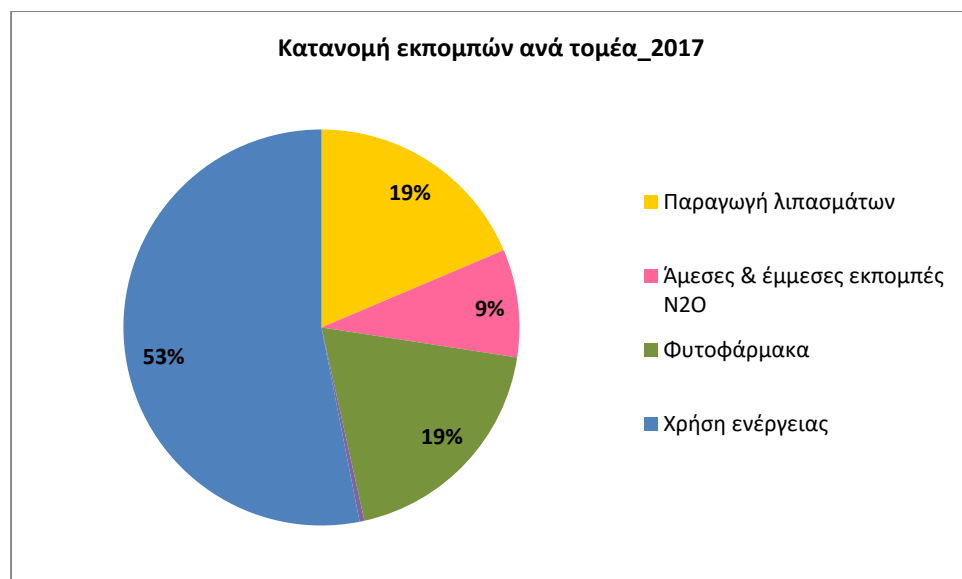
Το 2017 τα νεαρά δέντρα συνεχίζουν την ανάπτυξή τους. Οι απαιτήσεις τους σε νερό είναι αυξημένες, ενώ υπάρχει και μια μικρή αύξηση στη χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων όχι ως προς τον αριθμό των σκευασμάτων, αλλά ως προς τις ποσότητες και τις επεμβάσεις που έχουν γίνει.

Η παραγωγή έχει σχεδόν διπλασιαστεί από την προηγούμενη χρονιά.

Πίνακας 15. Εισροές καλλιέργειας για το έτος 2017

Νερό (m ³)	Λιπάσματα (kg)	Φυτοπροστατευτικά σκευάσματα (Αρ.)
4392	2500	13

Το ανθρακικό αποτύπωμα ανά εκτάριο είναι 2899.2 kg CO₂eq, ενώ για κάθε κιλό παραγόμενου προϊόντος το ανθρακικό αποτύπωμα διαμορφώνεται στα 5.2 kg CO₂eq.



Γράφημα 11. Κατανομή εκπομπών ανά τομέα ανά εκτάριο για το έτος 2017

Δε βλέπουμε μεγάλες διαφοροποιήσεις όσον αφορά την κατανομή ανά τομέα.

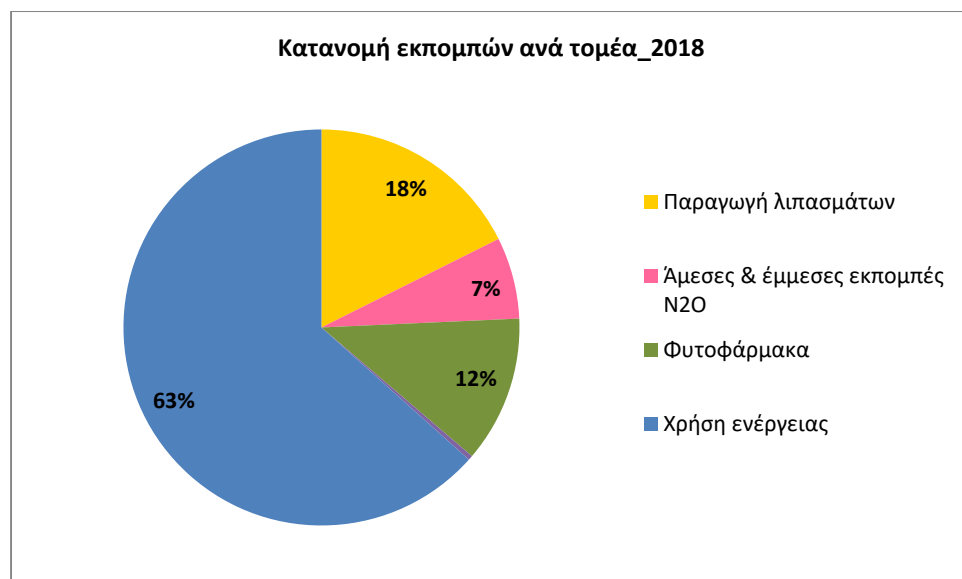
7.8 Αποτύπωμα άνθρακα για το έτος 2018

Η ανάπτυξη των δέντρων συνεχίζεται κανονικά. Οι απαιτήσεις είναι περίπου οι ίδιες εκτός από τις ποσότητες του νερού που έχουν σχεδόν διπλασιαστεί σε σχέση με την προηγούμενη χρονιά.

Πίνακας 16. Εισροές καλλιέργειας για το έτος 2018

Νερό (m ³)	Λιπάσματα (kg)	Φυτοπροστατευτικά σκευάσματα (Αρ.)
8107	2940	10

Το ανθρακικό αποτύπωμα του 2018 διαμορφώνεται στα 3767 kg CO₂eq ανά εκτάριο, ενώ για κάθε κιλό παραγόμενου προϊόντος το ανθρακικό αποτύπωμα διαμορφώνεται στα 3.7 kg CO₂eq.



Γράφημα 12. Κατανομή εκπομπών ανά τομέα ανά εκτάριο για το έτος 2018

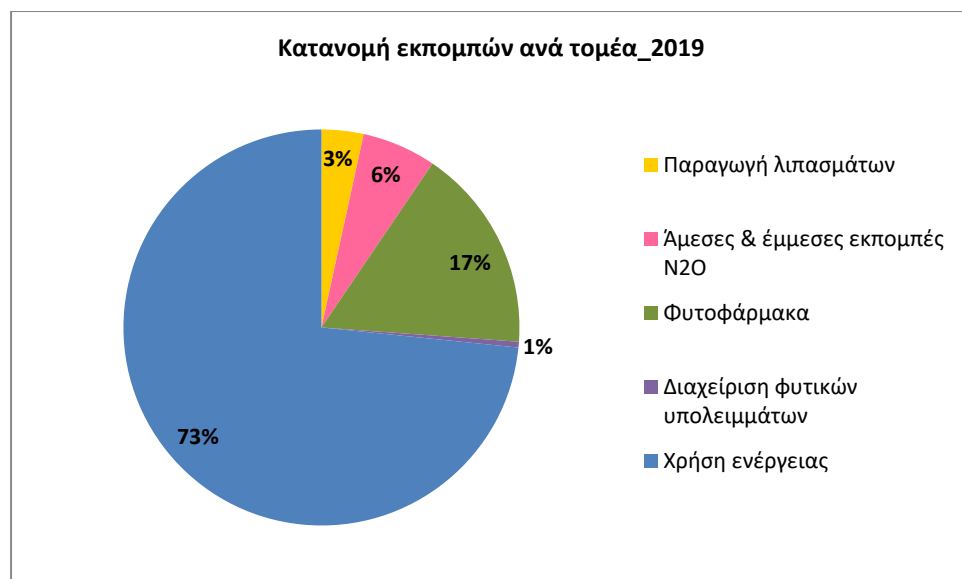
7.9 Αποτύπωμα άνθρακα για το έτος 2019

Η ανάπτυξη των δέντρων συνεχίζεται κανονικά. Οι απαιτήσεις είναι περίπου οι ίδιες με το 2018.

Πίνακας 17. Εισροές καλλιέργειας για το έτος 2019

Νερό (m ³)	Λιπάσματα (kg)	Φυτοπροστατευτικά σκευάσματα (Αρ.)
8567	2300	13

Για το έτος 2019 το ανθρακικό αποτύπωμα διαμορφώνεται στα 3566 kg CO₂eq ανά εκτάριο και για κάθε κιλό παραγόμενου προϊόντος στα 1.8 kg CO₂eq.



Γράφημα 13. Κατανομή εκπομπών ανά τομέα ανά εκτάριο για το έτος 2019

Η χρήση ενέργειας οφείλεται για τα $\frac{3}{4}$ των εκπομπών τη χρονιά αυτή. Αν και οι ποσότητες του νερού και των λιπασμάτων και ο αριθμός των φυτοπροστατευτικών μέσων είναι στα ίδια επίπεδα με τις προηγούμενες χρονιές, έχει αλλάξει ο αριθμός των ψεκασμών και η συχνότητα του ποτίσματος, γεγονός που αυξάνει την κατανάλωση πετρελαίου και ηλεκτρικής ενέργειας αντίστοιχα.

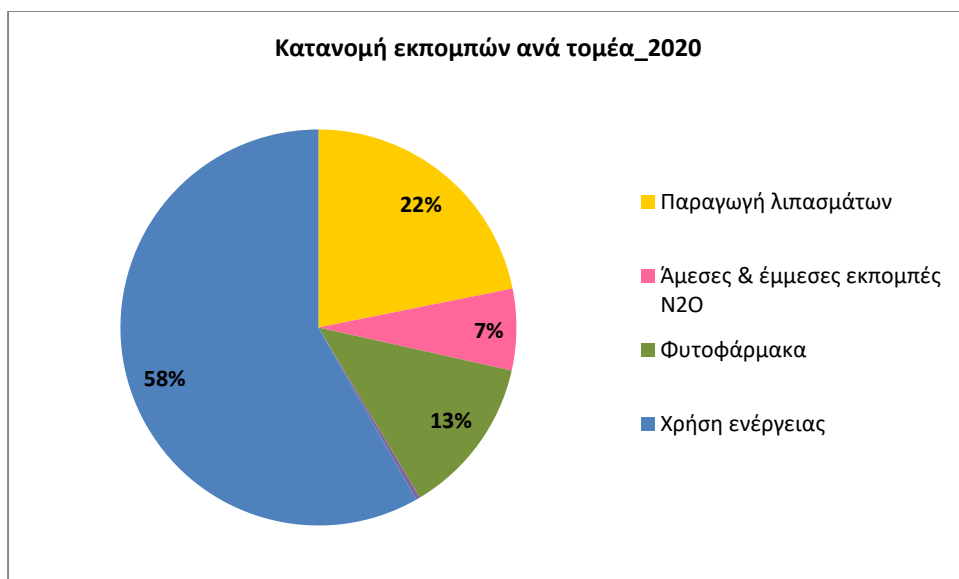
7.10 Αποτύπωμα άνθρακα για το έτος 2020

Το 2020 οι απαιτήσεις σε νερό αυξήθηκαν. Οι ποσότητες των λιπασμάτων που χρησιμοποιήθηκαν σχεδόν διπλασιάστηκαν. Ελαφρώς αυξημένος είναι και ο αριθμός των φυτοφαρμάκων που χρησιμοποιήθηκε.

Πίνακας 18. Εισροές καλλιέργειας για το έτος 2020

Νερό (m ³)	Λιπάσματα (kg)	Φυτοπροστατευτικά σκευάσματα (Αρ.)
9969	5090	15

Το συνολικό ανθρακικό αποτύπωμα για το 2020 διαμορφώνεται σε 5065.5 kg CO₂eq και σε 3.3 kg CO₂eq ανά κιλό προϊόντος.



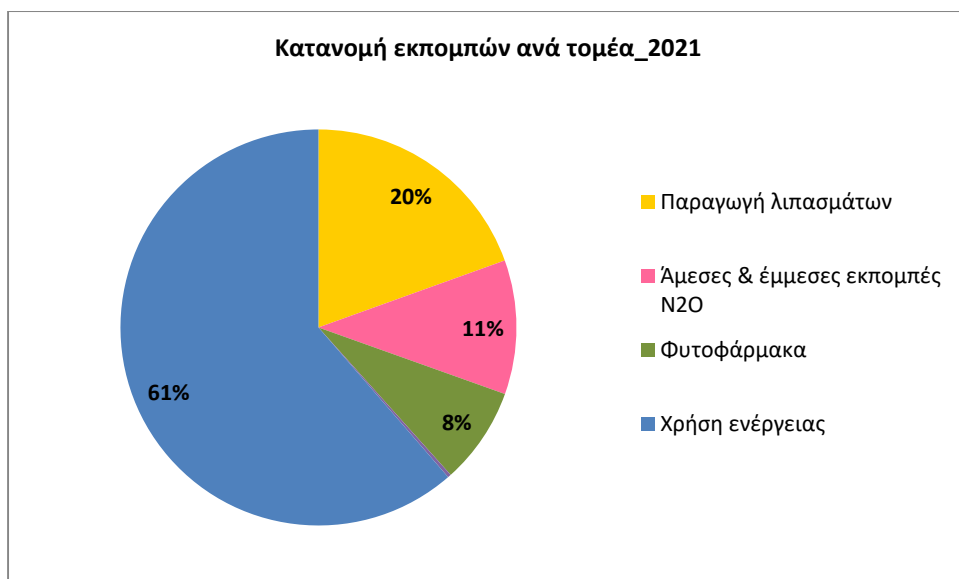
Γράφημα 14. Κατανομή εκπομπών ανά τομέα ανά εκτάριο για το έτος 2020

7.11 Αποτύπωμα άνθρακα για το έτος 2021

Πίνακας 19. Εισροές καλλιέργειας για το έτος 2021

Νερό (m ³)	Λιπάσματα (kg)	Φυτοπροστατευτικά σκευάσματα (Αρ.)
11778	5199	14

Για το έτος 2021, το συνολικό ανθρακικό αποτύπωμα είναι 6482.7 kg CO₂eq και για κάθε κιλό παραγόμενου προϊόντος είναι 4.2 kg CO₂eq



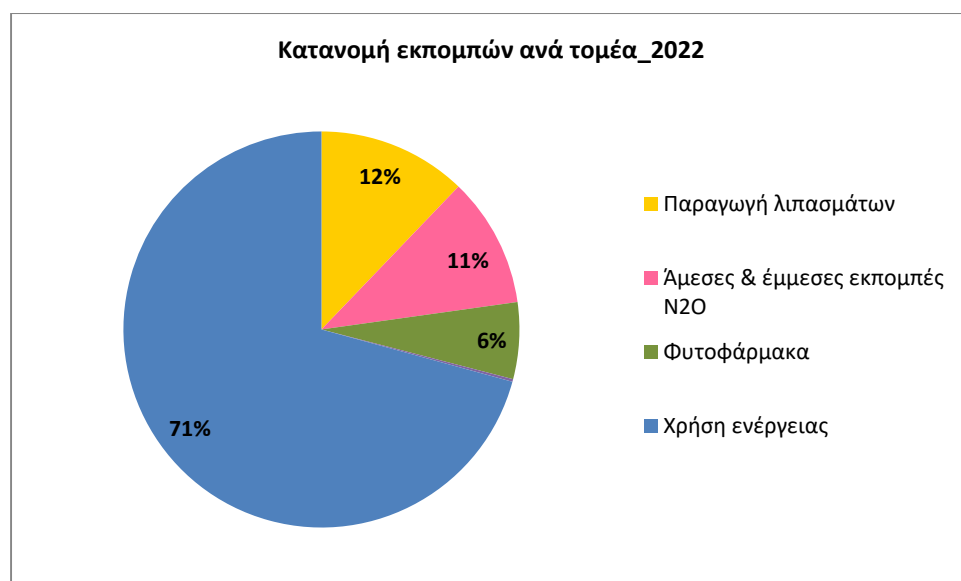
Γράφημα 15. Κατανομή εκπομπών ανά τομέα ανά εκτάριο για το έτος 2021

7.12 Αποτύπωμα άνθρακα για το έτος 2022

Πίνακας 20. Εισροές καλλιέργειας για το έτος 2022

Νερό (m ³)	Λιπάσματα (kg)	Φυτοπροστατευτικά σκευάσματα (Αρ.)
9338	6010	13

Τέλος, το ανθρακικό αποτύπωμα για το 2022 διαμορφώνεται στα 8194.7 kg CO₂eq, ενώ για κάθε κιλό παραγόμενου προϊόντος έχουμε 4.5 kg CO₂eq.

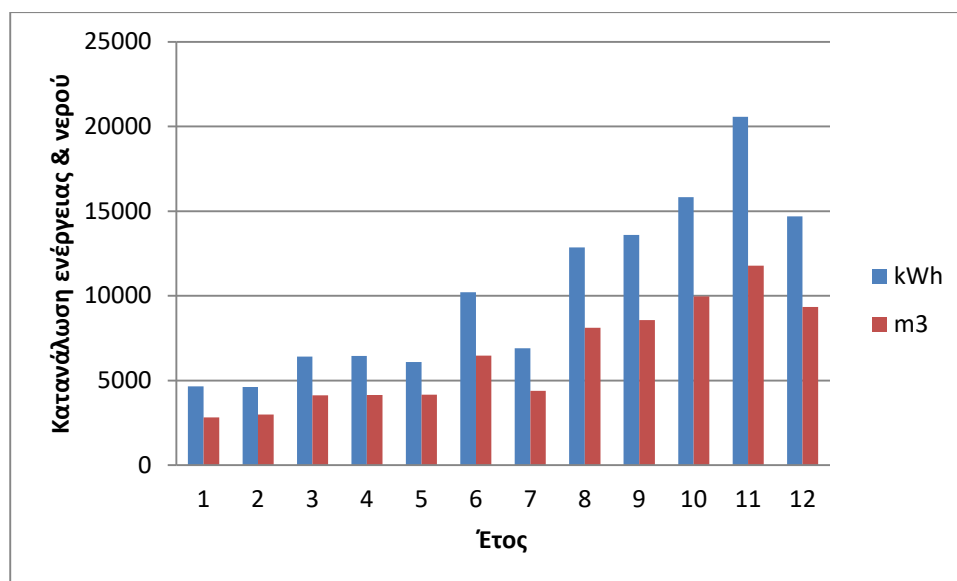


Γράφημα 16. Κατανομή εκπομπών ανά τομέα ανά εκτάριο για το έτος 2022

Όσο ο φιστικεύνας αναπτύσσεται και ωριμάζει, παρατηρούμε μια μεταβλητότητα τόσο στις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου όσο και στην παραγωγή, λόγω των διαφορετικών εισροών ανά έτος αλλά και της αναπτυξιακής φάσης των δέντρων. Ιδιαίτερα η άρδευση και η χρήση αζωτούχων λιπασμάτων διαφέρει ανάλογα με τις ανάγκες των δέντρων κάθε χρόνο και τις ιδιαίτερες κλιματολογικές συνθήκες. Το φαινόμενο της παρεννιαυτοφορίας δεν είναι ακόμη έντονο καθώς τα δέντρα βρίσκονται σε φάση ωρίμανσης αλλά και γιατί ο παραγωγός έχει εγκαταστήσει τα δέντρα τμηματικά σε διαφορετικές χρονικές περιόδους.

Παρατηρούμε πως όλα τα έτη μελέτης, ο τομέας με τη μεγαλύτερη επίδραση στο ανθρακικό αποτύπωμα είναι η κατανάλωση ενέργειας η οποία προέρχεται κυρίως από τη χρήση του ηλεκτρικού ρεύματος για τη λειτουργία της γεώτρησης.

Συγκεκριμένα, η συμμετοχή της ενέργειας στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κυμαίνεται από 50-73%, ποσοστό αρκετά υψηλό. Ο τρόπος άρδευσης επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την κατανάλωση ενέργειας. Στην προκειμένη περίπτωση η άρδευση γίνεται αποκλειστικά με τη χρήση γεώτρησης γεγονός που αυξάνει κατά πολύ την καταναλωθείσα ενέργεια καθώς όσο πιο βαθιά είναι η γεώτρηση τόσο περισσότερη ενέργεια απαιτείται (Γράφημα 17). Εν αντιθέσει, η κατανάλωση ενέργειας είναι μικρότερη όταν χρησιμοποιούνται επιφανειακές πηγές άρδευσης.



Γράφημα 17. Κατανάλωση ενέργειας και νερού για όλα τα έτη αναφοράς

Εάν αφαιρέσουμε τον παράγοντα της ενέργειας, διαπιστώνουμε πως ενώ οι πρώτες χρονιές μετά την εγκατάσταση μέχρι την πρώτη παραγωγική χρονιά δεν ακολουθούν κάποια τάση, οι επόμενες χρονιές εμφανίζουν ως βασικό παράγοντα επίδρασης στο ανθρακικό αποτύπωμα, την παραγωγή λιπασμάτων (βλ. Παράρτημα 1). Η επίδραση της παραγωγής λιπασμάτων στο ανθρακικό αποτύπωμα κυμαίνεται από 2-25%, ανάλογα με τα σκευάσματα που έχουν χρησιμοποιηθεί. Τόσο η παραγωγή όσο και η χρήση αζωτούχων λιπασμάτων συνεισφέρει στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου έχοντας ως αποτέλεσμα την αύξηση του ανθρακικού αποτυπώματος της καλλιέργειας. Ο τύπος των λιπασμάτων και η χρήση αυτών έχει αναγνωριστεί ως σημαντική αιτία των διαφορών του ανθρακικού αποτυπώματος (Trinh et al, 2020). Η καλλιέργεια της φιστικιάς είναι μια απαιτητική καλλιέργεια στα βασικά στοιχεία λίπανσης κυρίως στο άζωτο και ιδιαίτερα σε ποτιστικά εδάφη, όπως είναι η συγκεκριμένη έκταση. Ωστόσο, υπερβολική αζωτούχα λίπανση μπορεί να έχει τα αντίθετα αποτελέσματα.

Αν και η παραγωγή των δέντρων δεν έχει ομαλοποιηθεί λόγω της νεαρής ηλικίας αυτών, ισχύει γενικά πως η σχέση της παραγωγής με το ανθρακικό αποτύπωμα είναι αναλόγως αντίστροφη, δηλαδή, μεγάλη παραγωγή οδηγεί σε μικρές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, όπως αναγνωρίστηκε από τη μελέτη των Lam et al (2021), μαζί με άλλους παράγοντες όπως η περιοχή και το έτος παραγωγής.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση φαίνεται πως αυτό ισχύει καθώς τη χρονιά με τη μεγαλύτερη παραγωγή μέχρι σήμερα, το ανθρακικό αποτύπωμα συνολικά ήταν 3566 kg CO₂eq, ενώ ανά κιλό παραγόμενου προϊόντος διαμορφώθηκε στα 1.83 kg CO₂eq. Το μέσο ανθρακικό αποτύπωμα μπορεί να υπολογιστεί σε τρεις φάσεις, ανάλογα με την ανάπτυξη των δέντρων. Στην πρώτη φάση περιλαμβάνονται τα έτη από την ολοκλήρωση της εγκατάστασης μέχρι τη χρονιά πριν την πρώτη καρποφορία (2011 – 2014), η δεύτερη φάση αφορά τα πρώτα χρόνια της καρποφορίας (2015 – 2020) και τέλος η τρίτη φάση περιλαμβάνει τα έτη δέκα χρόνια μετά την εγκατάσταση, όπου η καλλιέργεια εισέρχεται στη φάση της πλήρους καρποφορίας (2021 – 2022). Ο μέσος όρος του ανθρακικού αποτυπώματος της πρώτης φάσης είναι 1893.8 kg CO₂eq ανά εκτάριο. Στη δεύτερη φάση το μέσο ανθρακικό αποτύπωμα για την καλλιέργεια διαμορφώνεται στα 3535.1 kg CO₂eq ανά εκτάριο και 8.16 kg CO₂eq ανά κιλό προϊόντος, ενώ στην τρίτη φάση έχουμε 7338.7 kg CO₂eq ανά εκτάριο και 4.4 kg CO₂eq ανά κιλό παραγόμενου προϊόντος.

Το ανθρακικό αποτύπωμα ανά εκτάριο αυξάνεται κατά τη δεύτερη και τρίτη φάση κυρίως λόγω της χρήσης μεγάλων ποσοτήτων συνθετικών λιπασμάτων και ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται, ενώ μειώνεται το ανθρακικό αποτύπωμα ανά κιλό προϊόντος όσο η καλλιέργεια οδηγείται στην πλήρη ωρίμανση της καρποφορίας της.

Το ανθρακικό αποτύπωμα ανά κιλό προϊόντος στην τρίτη φάση όπου και η παραγωγή των δέντρων αρχίζει να ωριμάζει, είναι αυξημένο σε σχέση με τις βιβλιογραφικές αναφορές, το οποίο κυμαίνεται από 0.53 kg CO₂eq/kg έως 3.83 kg CO₂eq/kg. Αυτές οι διαφοροποιήσεις οφείλονται σε διάφορους παράγοντες όπως τα διαφορετικά όρια του συστήματος, τη διαφορετική γεωγραφική θέση και τη διαφορετική φάση ωρίμανσης της καλλιέργειας. Για τον ελλαδικό χώρο και συγκεκριμένα την περιοχή της Αίγινας, το ανθρακικό αποτύπωμα που δίνεται για το φιστίκι Αιγίνης είναι 2.11 kg CO₂eq /kg. Είναι πιθανό, καθώς η περιοχή μελέτης αποτελείται από νεαρά δέντρα, το ανθρακικό αποτύπωμα να μειωθεί περεταίρω με την αύξηση της παραγωγής.

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Ο τομέας της γεωργίας και της κτηνοτροφίας αποτελούν μια βασική πηγή αερίων του θερμοκηπίου. Η αποτίμηση του ανθρακικού αποτυπώματος των καλλιεργειών είναι ένας τρόπος αντιμετώπισης του φαινομένου. Αν και δεν υπάρχουν πολλές μελέτες για το ανθρακικό αποτύπωμα των δενδρωδών καλλιεργειών, γενικά ισχύει πως το ανθρακικό τους αποτύπωμα, αν και μεγαλύτερο σε σχέση με άλλες φυλλώδεις καλλιέργειες, ισοσταθμίζεται από την ικανότητα των δένδρων να δεσμεύουν ικανές ποσότητες άνθρακα.

Ακόμη λιγότερες μελέτες υπάρχουν για την αποτίμηση του ανθρακικού αποτυπώματος των ακρόδρυων και δη της φιστικιάς (*Pistacia vera*). Η συγκεκριμένη εργασία κατέδειξε πως σε σχέση με την υπάρχουσα βιβλιογραφία το ανθρακικό αποτύπωμα είναι υψηλότερο, γεγονός που επιβεβαιώνει τη δυνατότητα λήψης πρόσθετων μέτρων από την πλευρά του παραγωγού. Οι τομείς με τη μεγαλύτερη συμβολή αερίων του θερμοκηπίου, είναι ο τομέας της κατανάλωσης ενέργειας, ο οποίος όμως κατά ένα πολύ μεγάλο ποσοστό εξαρτάται από το ενεργειακό μείγμα της Ελλάδας και ο τομέας της κατασκευής και χρήσης λιπασμάτων τα οποία στην συγκεκριμένη περίπτωση βασίζονται κυρίως στο άζωτο.

Εντούτοις οι παράγοντες που επηρεάζουν το ανθρακικό αποτύπωμα είναι πολλοί και σύνθετοι, όπως τα όρια του συστήματος, η γεωγραφική θέση της καλλιέργειας, τα εδαφικά χαρακτηριστικά και οι καλλιεργητικές πρακτικές που ακολουθούνται από τον παραγωγό.

Παρόλα αυτά είναι δυνατό να εφαρμοσθούν κάποια γενικά βασικά μέτρα για τη μείωση του ανθρακικού αποτυπώματος.

Όσον αφορά την άρδευση, μπορεί να γίνει εφαρμογή μικροάρδευσης με τη χρήση μικροεκτοξευτήρων, ενώ σε κάθε περίπτωση επιβάλλεται η συχνή και επιμελής συντήρηση ή αντικατάσταση της αντλίας και των σωληνώσεων του αρδευτικού συστήματος έτσι ώστε να περιοριστούν ή και να μηδενιστούν οι φθορές από τη χρήση.

Στον τομέα της ενέργειας και σε ατομικό επίπεδο, είναι εφικτό να αναζητηθούν διαφορετικές πηγές ενέργειας πέραν του δικτύου του ηλεκτρικού ρεύματος.

Η Ελλάδα είναι μια χώρα όπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλες πηγές ενέργειας, όπως η αιολική και η ηλιακή. Για τις ανάγκες του συγκεκριμένου αγρού, θα μπορούσε να εγκατασταθεί ένα μικρής έκτασης φωτοβολταϊκό σύστημα το οποίο

θα κάλυπτε αποκλειστικά τις ανάγκες λειτουργίας της γεώτρησης, μειώνοντας τόσο το κόστος για τον ίδιο τον παραγωγό, όσο και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της καλλιέργειας.

Καθώς μια βασική προέλευση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου είναι η χρήση αζωτούχας λίπανσης, ένας τρόπος μείωσης της επίδρασης αυτών των συνθετικών λιπασμάτων στο ανθρακικό αποτύπωμα θα ήταν η μετάβαση σε ένα διαφορετικό μοντέλο διαχείρισης στο οποίο γίνεται μερική αντικατάσταση των συνθετικών λιπασμάτων με οικολογικά οργανικά λιπάσματα (π.χ. κομπόστ ή κοπριά).

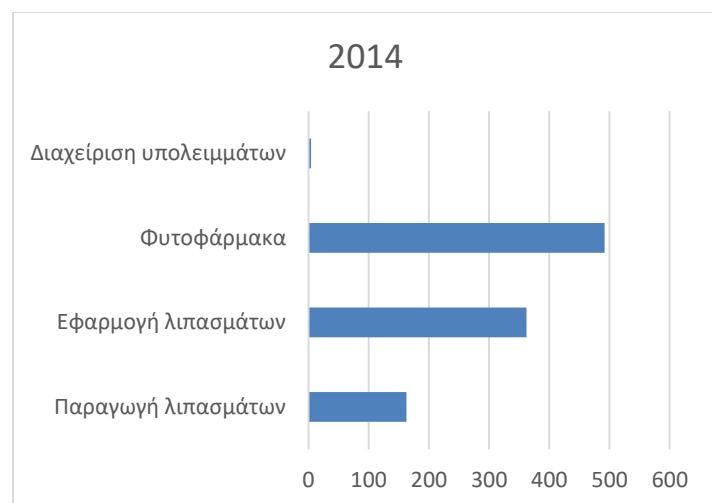
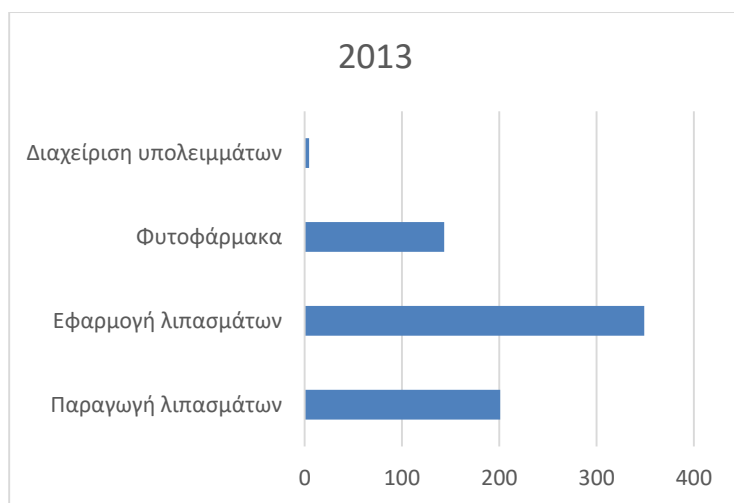
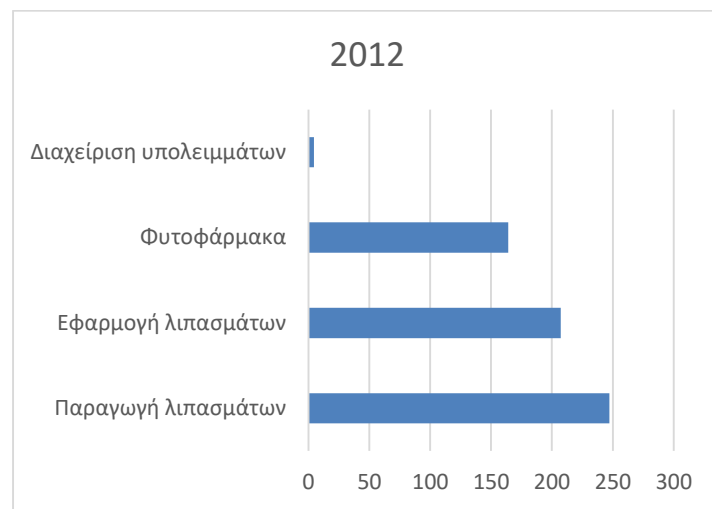
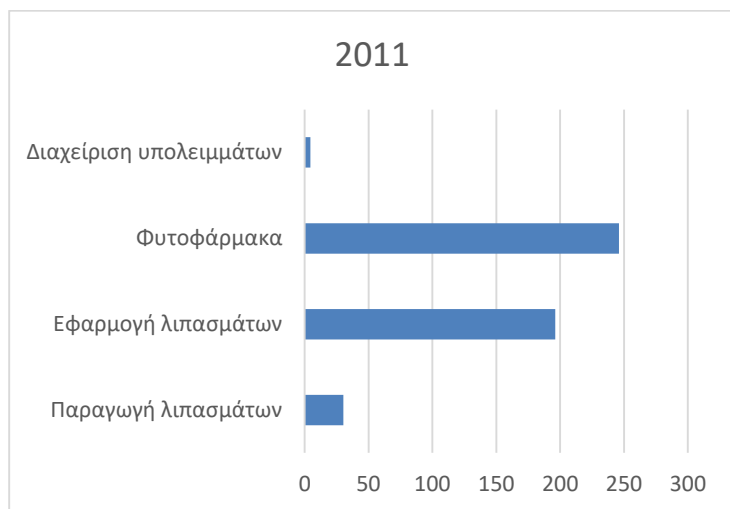
Ωστόσο, αν και η μεταστροφή από τον συμβατικό σε ένα πιο βιολογικό τρόπο διαχείρισης του φιστικεώνα θα μπορούσε να μειώσει το ανθρακικό αποτύπωμα, η μείωση αυτή δεν είναι τόσο έντονη όπως σε άλλες δενδρώδεις καλλιέργειες όπως τα εσπεριδοειδή και οι ελιές, όπου οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στο βιολογικό μοντέλο διαχείρισης ήταν μειωμένο κατά μέσο όρο 56% σε επίπεδο αγρού και 39% σε επίπεδο παραγωγής σε σχέση με τις εκπομπές στο συμβατικό μοντέλο διαχείρισης (Aguilera et al, 2014). Η μείωση των εκπομπών αποδίδεται στη χρήση φυσικών λιπασμάτων και στη μείωση των φυτοπροστατευτικών σκευασμάτων που χρησιμοποιούνται (Karwachka et al, 2020).

Το ίδιο αποτέλεσμα μπορεί να υπάρξει και με την αντικατάσταση της αζωτούχας λίπανσης με χλωρή λίπανση, γεγονός που θα ενισχύσει και τη βιοποικιλότητα. Η συγκαλλιέργεια με φυτά εδαφοκάλυψης, κυρίως ψυχανθή, θα μπορούσε να μειώσει τη χρήση αζωτούχων λιπασμάτων και ζιζανιοκτόνων, οδηγώντας σε περεταίρω μείωση του ανθρακικού αποτυπώματος.

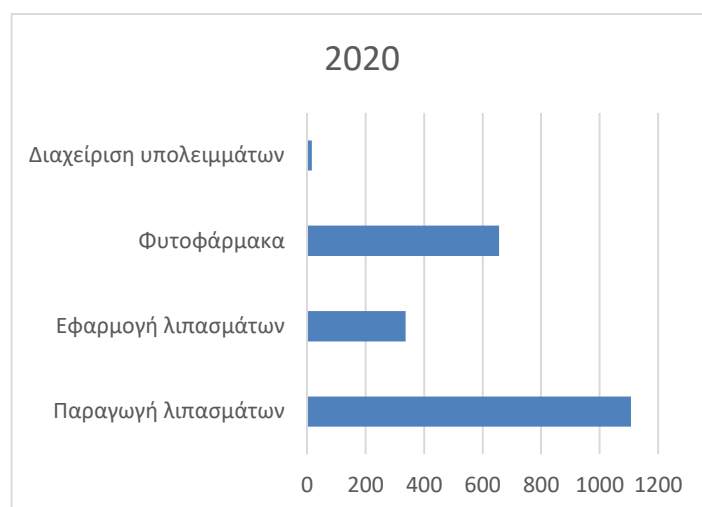
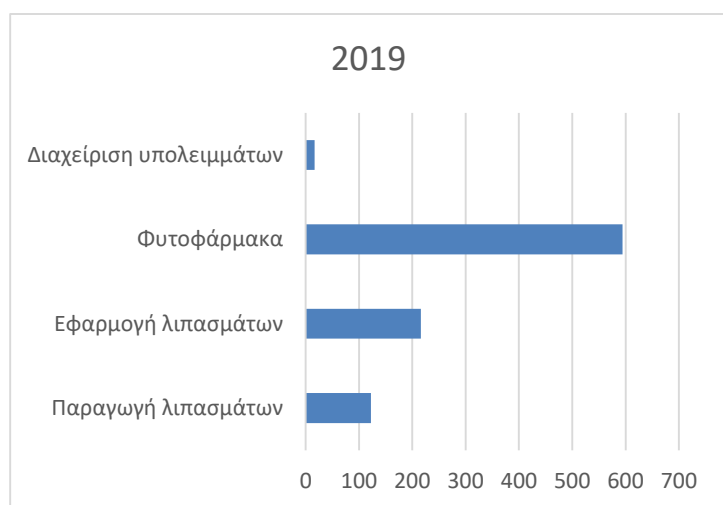
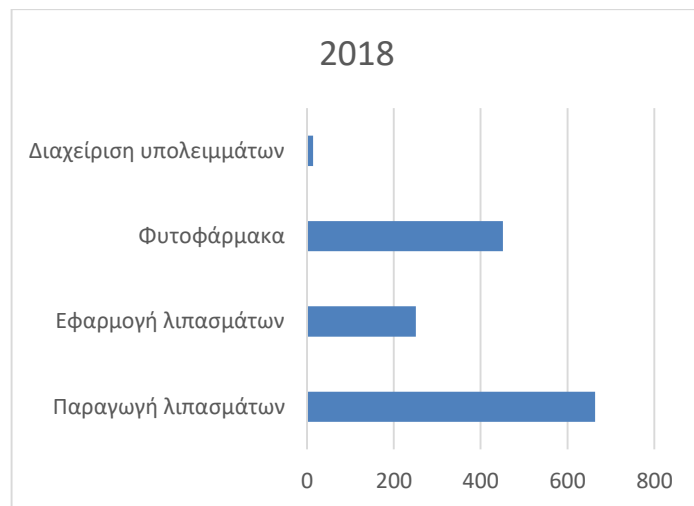
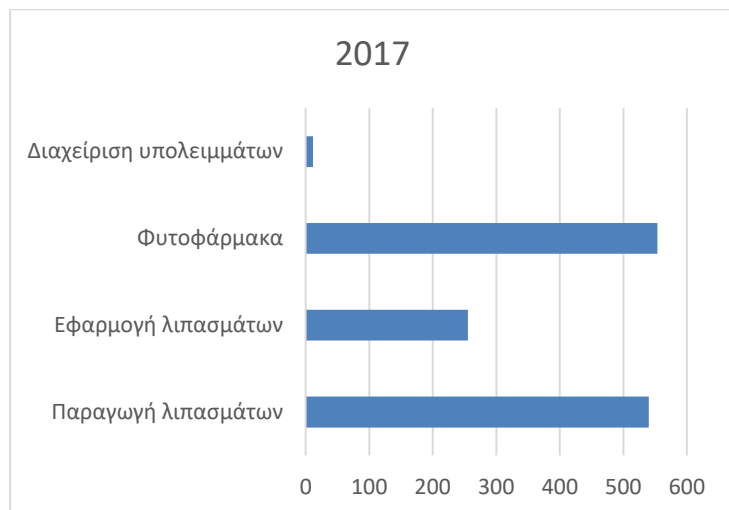
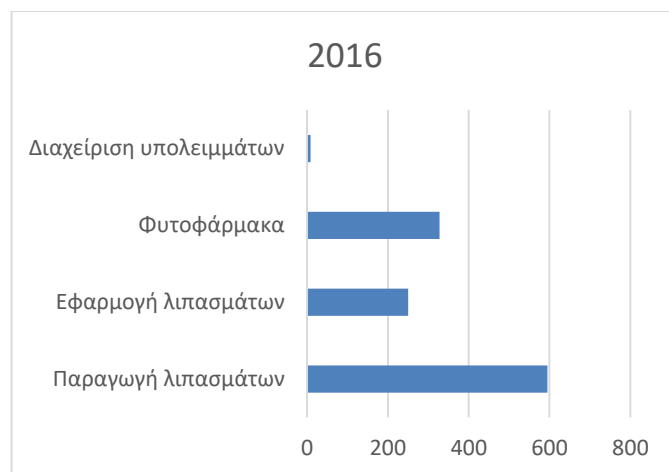
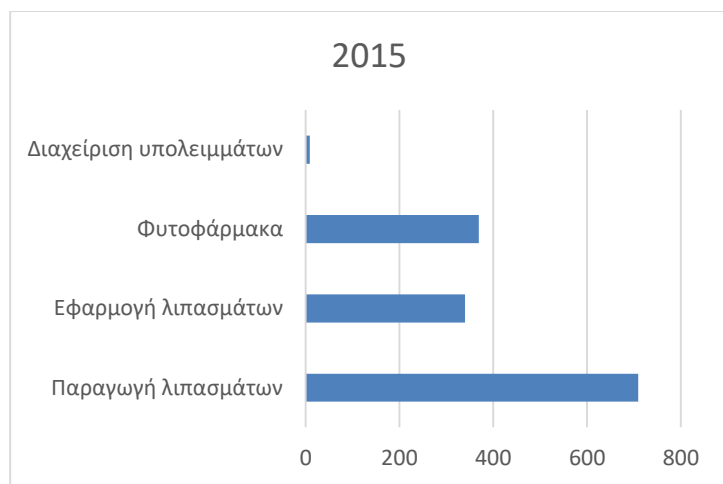
Στις όποιες παρεμβάσεις όμως θα πρέπει να υπολογίζεται και το οικονομικό σκέλος. Για το λόγο αυτό, όπως προτείνουν οι Torres και Bentrup (2009), η εφαρμογή αζωτούχας λίπανσης θα πρέπει να είναι τόσο μειωμένη όσο δεν επηρεάζεται η κερδοφορία της καλλιέργειας.

Τέλος, κρίνεται απαραίτητη η πραγματοποίηση εδαφικής ανάλυσης για τον προσδιορισμό τυχόν ελλείψεων σε θρεπτικά συστατικά πριν την έναρξη των λιπάνσεων, η οποία θα πρέπει να συνοδεύεται και από μια φυλλοδιαγνωστική ανάλυση για τον έλεγχο της αποτελεσματικότητας προηγούμενων λιπάνσεων. Με αυτόν τον τρόπο, ο παραγωγός εφαρμόζει τη λίπανση που χρειάζεται η καλλιέργειά του τη δεδομένη στιγμή και εκτός από το οικονομικό όφελος για τον ίδιο, συμβάλλει και στη μείωση του ανθρακικού αποτυπώματος και την προστασία του περιβάλλοντος.

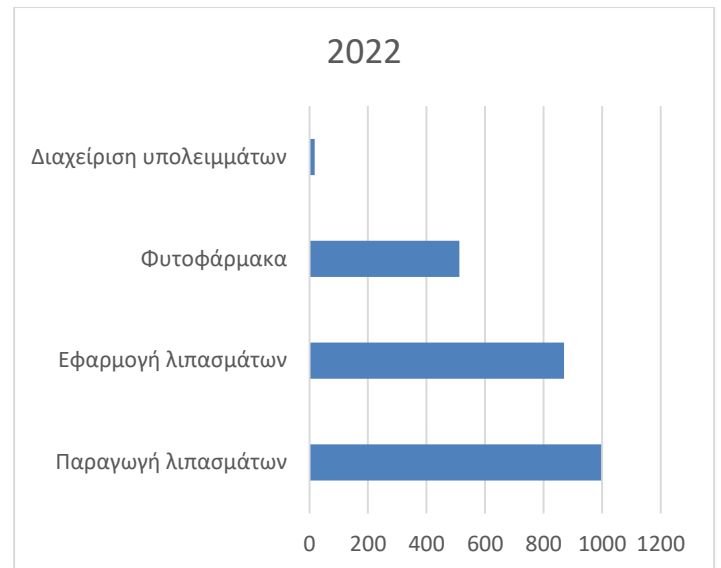
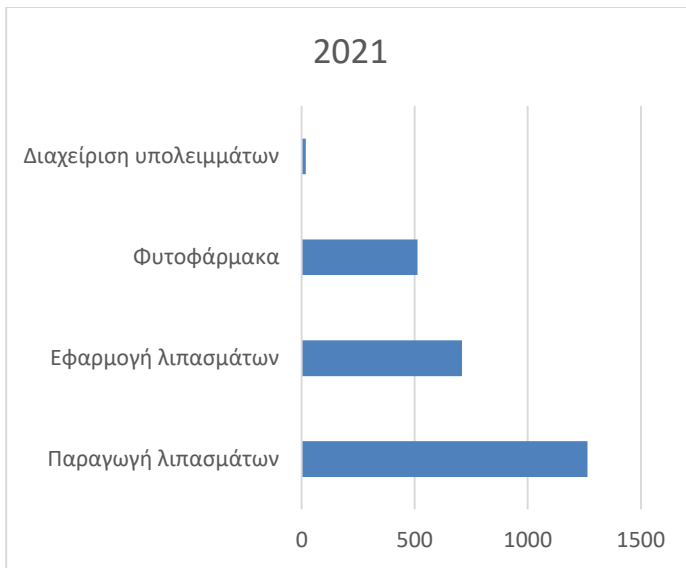
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1



ΚΩΣΤΑΡΑ ΕΥΤΥΧΙΑ



ΚΩΣΤΑΡΑ ΕΥΤΥΧΙΑ



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

2011	
Είδος λιπάσματος	Ποσότητα (kg/ha)
34,5-0-0-%	68,6
12-40-12	17,4
46-0-0%	18,6
Αριθμός εφαρμογών φυτοπροστατευτικών σκευασμάτων: 12	

2012	
Είδος λιπάσματος	Ποσότητα (kg/ha)
34,5-0-0-%	153,5
13-0-46	58
13-40-13%	58
12-40-12	29
15-5-10%	9,3
Αριθμός εφαρμογών φυτοπροστατευτικών σκευασμάτων: 8	

2013	
Είδος λιπάσματος	Ποσότητα (kg/ha)
34,5-0-0-%	111,6
Urea - 46.4% N	74,4
13-0-46	46,5
12-40-12	23,3
Αριθμός εφαρμογών φυτοπροστατευτικών σκευασμάτων: 7	

2014	
Είδος λιπάσματος	Ποσότητα (kg/ha)
Urea - 46.4% N	74,4
12-61-0	11,6
13-0-46	17,4
20-20-20	11,6
Ammoniumnitrate - 35% N	18,6
Αριθμός εφαρμογών φυτοπροστατευτικών σκευασμάτων: 24	

2015	
Είδος λιπάσματος	Ποσότητα (kg/ha)
34,5-0-0-%	167,4
13-0-46	230,2
12-0-0	66,3
Urea - 46.4% N	42
Αριθμός εφαρμογών φυτοπροστατευτικών σκευασμάτων: 18	

2016	
Είδος λιπάσματος	Ποσότητα (kg/ha)
34,5-0-0-%	241,9
13-0-46	197,7
12-40-12	58
12-40-12	4,2
46-0-0%	10,5
Αριθμός εφαρμογών φυτοπροστατευτικών σκευασμάτων: 16	

2017	
Είδος λιπάσματος	Ποσότητα (kg/ha)
34,5-0-0-%	372,1
13-0-46	186
12-40-12	23,3
Urea - 46.4% N	14
12-40-12	11
Αριθμός εφαρμογών φυτοπροστατευτικών σκευασμάτων: 27	

2018	
Είδος λιπάσματος	Ποσότητα (kg/ha)
34,5-0-0-%	381,4
12-61-0	46,5
13-0-46	217
12-40-12	40
Urea - 46.4% N	2
Αριθμός εφαρμογών φυτοπροστατευτικών σκευασμάτων: 22	

2019	
Είδος λιπάσματος	Ποσότητα (kg/ha)
34,5-0-0-%	335
12-61-0	30
13-0-46	23
Urea - 46.4% N	14
12-40-12	14
0-52-34%	8,7
Αριθμός εφαρμογών φυτοπροστατευτικών σκευασμάτων: 29	

2020	
Είδος λιπάσματος	Ποσότητα (kg/ha)
34,5-0-0-%	700
12-61-0	35
13-0-46	372
Urea - 46.4% N	18
12-40-12	58
0-52-34%	11,5
Αριθμός εφαρμογών φυτοπροστατευτικών σκευασμάτων: 40	

2021	
Είδος λιπάσματος	Ποσότητα (kg/ha)
34,5-0-0-%	479
12-61-0	93
13-0-46	372
Urea - 46.4% N	167
12-40-12	58
0-52-34%	4,6
Αριθμός εφαρμογών φυτοπροστατευτικών σκευασμάτων: 25	

2022	
Είδος λιπάσματος	Ποσότητα (kg/ha)
34,5-0-0-%	93
12-61-0	35
13-0-46	291
Urea - 46.4% N	255,8
Αριθμός εφαρμογών φυτοπροστατευτικών σκευασμάτων: 25	

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αναγνωστόπουλος, Π.Θ. (1935). *Η Φιστικιά στην Ελλάδα*. Α.Β. Πάσχα, Αθήνα
- Γεωργιάδου, Μ. (2010). Μελέτη του προβλήματος των αφλατοξινών σε κελυφωτά φιστίκια.
- Ευρωπαϊκή Επιτροπή. (2020). Ανακοίνωση της Επιτροπής προς το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, το Συμβούλιο, την Ευρωπαϊκή Οικονομική και Κοινωνική Επιτροπή και την Επιτροπή των Περιφερειών. Έναρξη της πορείας προς μια κλιματικά ουδέτερη Ευρώπη έως το 2050 Έκθεση προόδου της δράσης της ΕΕ για το κλίμα 2020.
- Κατσαφάδος, Π., Μαυροματίδης, Η. 2015. ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ. [Κεφάλαιο Συγγράμματος]. Στο Κατσαφάδος, Π., Μαυροματίδης, Η. 2015. *Εισαγωγή στη φυσική της ατμόσφαιρας και την κλιματική αλλαγή*. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα:Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. κεφ 8. Διαθέσιμο στο:<http://hdl.handle.net/11419/3714>
- Κατσαφάδος Π. και Μαυροματίδης Η. (2021). Κλιματική αλλαγή. Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο Τμήμα Γεωγραφίας (open e-class) Διαθέσιμο στο <https://eclass.hua.gr/modules/document/file.php/GEO131/%CE%94%CE%B9%CE%B1%CE%BB%CE%AD%CE%BE%CE%B5%CE%B9%CF%82-Lectures/Katsafados.climatechange.v2021.pdf>
- Παπανικολάου Δ., Παπανικολάου Μ. 2011. *Παλαιοκλιματικές αλλαγές*. Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής. Τράπεζα της Ελλάδος
- Ρούσσος Π. (2019). Η ορθή πρακτική άρδευσης στην καλλιέργεια ης φιστικιάς, της αμυγδαλιάς και της καρυδιάς. Τράπεζα Πειραιώς περιοδική έκδοση για την Αγροτική οικονομία Επί Γης, τεύχος 14, καλοκαίρι 2019
- Σφακιωτάκης Ε. 1998 Δενδρώδεις καλλιέργειες. Ίδρυμα Ευγενίδου, Αθήνα.
- Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων, Γενική Διεύθυνση Φυτικής Παραγωγής, Διεύθυνση Προστασίας Φυτικής Παραγωγής. Οδηγίες Ολοκληρωμένης Φυτοπροστασίας στην Καλλιέργεια της Φιστικιάς
- Φωτιάδη Αγγελική. *Φαινόμενο του θερμοκηπίου και Κλιματικές μεταβολές*. Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα Πανεπιστημίου Πατρών <http://eclass.upatras.gr/modules/units/?course=ENV119&id=6466>
- Φωτιάδη Αγγελική. *Κλίμα – κλιματική Ταξινόμηση Köppen*. Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα Πανεπιστημίου Πατρών <http://eclass.upatras.gr/modules/units/?course=ENV109&id=7097>

Χατζηνικολάου, Α. 1949. Η φιστικιά. Εκδόσεις Υπουργείου Γεωργίας. Τμήμα Γεωργικών Μελετών και Ερευνών, Αθήνα.

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Adewale C., Reganold J.P, Higgins S, Evans R.D., Carpenter-Boggs L. (2018). Improving carbon footprinting of agricultural systems: Boundaries, tiers, and organic farming. *Environmental Impact Assessment Review*, Volume 71, p.p: 41-48, <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2018.04.004>.

Aguilera, E., Guzmán, G., & Alonso, A. (2015). Greenhouse gas emissions from conventional and organic cropping systems in Spain. II. Fruit tree orchards. *Agronomy for Sustainable Development*, 35, 725-737.

Arora, N. K. (2019). Impact of climate change on agriculture production and its sustainable solutions. *Environmental Sustainability*, 2(2), 95-96.

Arrhenius, S. (1896). XXXI. On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 41(251), 237-276.

<https://doi.org/10.1080/14786449608620846>

Bank of Greece. The Environmental, Economic and Social Impacts of Climate Change in Greece (2011) https://www.bankofgreece.gr/Publications/ClimateChange_FullReport_bm.pdf

Bartzas, G., Vamvuka, D., & Komnitsas, K. (2017). Comparative life cycle assessment of pistachio, almond and apple production. *Information processing in agriculture*, 4(3), 188-198.

Baul, T. K., & McDonald, M. (2015). Integration of indigenous knowledge in addressing climate change.

Bokhoree, C., Bekaroo, G., Santokhee, A., Beeharry, Y. D., Bissessur, V. K., & Auliar, R. (2021, May). An Analysis of Farm-based Carbon Footprint Calculators: Insights for Farmers. In *2021 IST-Africa Conference (IST-Africa)* (pp. 1-10). IEEE.

Borsato, E., Tarolli, P., & Marinello, F. (2018). Sustainable patterns of main agricultural products combining different footprint parameters. *Journal of cleaner production*, 179, 357-367.

Bova, S., Rosenthal, Y., Liu, Z., Godad, S. P., & Yan, M. (2021). Seasonal origin of the thermal maxima at the Holocene and the last interglacial. *Nature*, 589(7843), 548-553. <https://www.nature.com/articles/s41586-020-03155-x>.

Canavari, M., & Coderoni, S. (2020). Consumer stated preferences for dairy products with carbon footprint labels in Italy. *Agricultural and Food Economics*, 8(1), 1-16.

- Chitzanidis, A. (2010). From Asia to Aigina: the story of the pistachio tree. In Zakyntinos, G. (ed.). *XIV GREMPA Meeting on Pistachios and Almonds*. CIHEAM / FAO / AUA / TEI Kalamatas / NAGREF, pp. 299-302.
- Crippa, M., Solazzo, E., Guizzardi, D., Monforti-Ferrario, F., Tubiello, F. N., & Leip, A. J. N. F. (2021). Food systems are responsible for a third of global anthropogenic GHG emissions. *Nature Food*, 2(3), 198-209.
- Demertzis, K., & Iliadis, L. (2018). The impact of climate change on biodiversity: The ecological consequences of invasive species in Greece. In *Handbook of Climate Change Communication: Vol. 1* (pp. 15-38). Springer, Cham.
- Dessler, A. E. (2021). *Introduction to modern climate change*. Cambridge University Press.
- Ercin, A.E.; Hoekstra, A.Y. (2012) Carbon and Water Footprints - Concepts, Methodologies and Policy Responses. Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
- Flammini, A., Pan, X., Tubiello, F. N., Qiu, S. Y., Rocha Souza, L., Quadrelli, R., & Sims, R. (2022). Emissions of greenhouse gases from energy use in agriculture, forestry and fisheries: 1970–2019. *Earth System Science Data*, 14(2), 811-821.
- Georgoulas, A. K., Akritidis, D., Kalisoras, A., Kapsomenakis, J., Melas, D., Zerefos, C. S., & Zanis, P. (2022). Climate change projections for Greece in the 21st century from high-resolution EURO-CORDEX RCM simulations. *Atmospheric Research*, 271, 106049.
- Giannakopoulos, C., Kostopoulou, E., Varotsos, K. V., Tziotziou, K., & Plitharas, A. (2011). An integrated assessment of climate change impacts for Greece in the near future. *Regional Environmental Change*, 11(4), 829-843.
- Harkiolakis, N. (2013). Ecological footprint. *Encyclopedia of Corporate Social Responsibility*, 1031-1037.
- Hillier, J., Walter, C., Malin, D., Garcia-Suarez, T., Mila-i-Canals, L., & Smith, P. (2011). A farm-focused calculator for emissions from crop and livestock production. *Environmental Modelling & Software*, 26(9), 1070-1078.
- Hormaza, J.I., Dollo, L. & Polito, V.S. (1994). Determination of relatedness and geographical movements of *Pistacia vera* (Pistachio; Anacardiaceae) germplasm by RAPD analysis. *Econ Bot* 48, 349–358. <https://doi.org/10.1007/BF02862231>
- IPCC (1995). The science of climate change, contribution of working group I to the second assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Technical report.
- IPCC (2022). Summary for Policymakers [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem (eds.)]. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report

- of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
- Karwacka, M., Ciurzyńska, A., Lenart, A., & Janowicz, M. (2020). Sustainable development in the agri-food sector in terms of the carbon footprint: a review. *Sustainability*, 12(16), 6463.
- Kashaninejad, Mahdi, Mortazavi, A., Safekordi, A. & Tabil, Lope. (2006). Some physical properties of Pistachio (*Pistacia vera* L.) nut and its kernel. *Journal of Food Engineering*. 72. 30-38. 10.1016/j.jfoodeng.2004.11.016.
- Keller, E., Hillier, J., Walter, C., King, V., & Mila-i-Canals, L. (2011, August). GHG Management at the farm level. In *Life Cycle Management Conference*.
- Kemp, L., Xu, C., Depledge, J., Ebi, K. L., Gibbins, G., Kohler, T. A., & Lenton, T. M. (2022). Climate Endgame: Exploring catastrophic climate change scenarios. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119(34), e2108146119.
- Khaine I. & Young Woo S. (2015) *An overview of interrelationship between climate change and forests*. *Forest Science and Technology*, 11:1, 11-18, DOI: 10.1080/21580103.2014.932718
- Kroodsma, D. A., & Field, C. B. (2006). Carbon sequestration in California agriculture, 1980–2000. *Ecological Applications*, 16(5), 1975-1985.
- Krusell, P., & Smith Jr, A. A. (2022). *Climate change around the world* (No. w30338). National Bureau of Economic Research.
- Lam, W. Y., Sim, S., Kulak, M., van Zelm, R., Schipper, A. M., & Huijbregts, M. A. (2021). Drivers of variability in greenhouse gas footprints of crop production. *Journal of Cleaner Production*, 315, 128121.
- Li, Y., Ye, W., Wang, M., & Yan, X. (2009). Climate change and drought: a risk assessment of crop-yield impacts. *Climate research*, 39(1), 31-46.
- Litskas, V. D., Irakleous, T., Tzortzakis, N., & Stavrinides, M. C. (2017). Determining the carbon footprint of indigenous and introduced grape varieties through Life Cycle Assessment using the island of Cyprus as a case study. *Journal of Cleaner Production*, 156, 418-425.
- Lobell, D. B., Schlenker, W., & Costa-Roberts, J. (2011). Climate trends and global crop production since 1980. *Science*, 333(6042), 616-620.
- Malhi, G.S., Kaur, M., Kaushik, P. (2021) *Impact of Climate Change on Agriculture and Its Mitigation Strategies: A Review*. *Sustainability* 2021, 13, 1318. <https://doi.org/10.3390/su13031318>
- Manabe Syukuro (2019). Role of greenhouse gas in climate change**, *Tellus A:Dynamic Meteorology and Oceanography*, 71:1, 1620078, DOI: 10.1080/16000870.2019.1620078 <https://doi.org/10.1080/16000870.2019.1620078>

- Matthews, H. S., Hendrickson, C. T., & Weber, C. L. (2008). The importance of carbon footprint estimation boundaries.
- Matušítk, J., & Kočí, V. (2021). What is a footprint? A conceptual analysis of environmental footprint indicators. *Journal of Cleaner Production*, 285, 124833.
- Mariotti, A., Pan, Y., Zeng, N., & Alessandri, A. (2015). Long-term climate change in the Mediterranean region in the midst of decadal variability. *Climate Dynamics*, 44(5), 1437-1456.
- Marvinney, E., Kendall, A., & Brodt, S. (2014, October). A comparative assessment of greenhouse gas emissions in California almond, pistachio, and walnut production. In *Proceedings of the 9th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector* (pp. 761-771).
- Mavromatis, T., Georgoulas, A. K., Akritidis, D., Melas, D., & Zanis, P. (2022). Spatiotemporal Evolution of Seasonal Crop-Specific Climatic Indices under Climate Change in Greece Based on EURO-CORDEX RCM Simulations. *Sustainability*, 14(24), 17048.
- Mielcarek-Bochenska, P.; Rzeznik, W. *Greenhouse Gas Emissions from Agriculture in EU Countries—State and Perspectives*. *Atmosphere* 2021, 12, 1396. <https://doi.org/10.3390/atmos12111396>
- NOAA *Assessing the Global Climate in 2021*, National Centers for environmental Information (NCEI)-NOAA
- Pandey, D., & Agrawal, M. (2014). Carbon footprint estimation in the agriculture sector. *Assessment of Carbon Footprint in Different Industrial Sectors, Volume 1*, 25-47.
- Pandey, D., Agrawal, M., & Pandey, J. S. (2011). Carbon footprint: current methods of estimation. *Environmental monitoring and assessment*, 178(1-4), 135–160. <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1678-y>
- Ray, D. K., West, P. C., Clark, M., Gerber, J. S., Prishchepov, A. V., & Chatterjee, S. (2019). Climate change has likely already affected global food production. *PloS one*, 14(5), e0217148.
- Ritchie, H., Roser, M., & Rosado, P. (2020). CO₂ and greenhouse gas emissions. *Our world in data*.
- Renner, A., Cadillo-Benalcazar, J. J., Benini, L., & Giampietro, M. (2020). Environmental pressure of the European agricultural system: Anticipating the biophysical consequences of internalization. *Ecosystem Services*, 46, 101195.
- Rödiger, M., & Hamm, U. (2015). How are organic food prices affecting consumer behaviour? A review. *Food Quality and Preference*, 43, 10-20.
- Rondoni, A., & Grasso, S. (2021). Consumers behaviour towards carbon footprint labels on food: A review of the literature and discussion of industry implications. *Journal of Cleaner Production*, 301, 127031.

- Scrucca, F., Barberio, G., Fantin, V., Porta, P. L., & Barbanera, M. (2021). Carbon footprint: Concept, methodology and calculation. In *Carbon Footprint Case Studies* (pp. 1-31). Springer, Singapore.
- Shi, S., & Yin, J. (2021). Global research on carbon footprint: A scientometric review. *Environmental Impact Assessment Review*, 89, 106571.
- Stouffer, R. J. and Manabe, S. 2017. *An assessment of temperature pattern projection made in 1989*. *Nature Clim. Change*. 7, 163–165. doi:10.1038/nclimate3224
- Thiser, S.S (2021). *A climate chronology*. University of Maine
- Torres, L., & Brentrup, F. (2007). The “carbon footprint” of crop production and role of mineral fertilizers. Conference paper
- Trinh, L. T. K., Hu, A. H., Lan, Y. C., & Chen, Z. H. (2020). Comparative life cycle assessment for conventional and organic coffee cultivation in Vietnam. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 17, 1307-1324.
- Tubiello, F. N., Rosenzweig, C., Conchedda, G., Karl, K., Gütschow, J., Xueyao, P., ... & Sandalow, D. (2021). Greenhouse gas emissions from food systems: building the evidence base. *Environmental Research Letters*, 16(6), 065007.
- Trenberth, Kevin E. (2018) Climate change caused by human activities is happening and it already has major consequences, *Journal of Energy & Natural Resources Law*, 36:4, 463-481, DOI: 10.1080/02646811.2018.1450895
- van Doorslaer B., et al, no year. *Agriculture and Climate Mitigation*. Cap Specific Objectives brief No 4, European Commission διαθέσιμο online https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/food-farming-fisheries/key_policies/documents/cap-specific-objectives-brief-4-agriculture-and-climate-mitigation_en.pdf
- Volpe, R., Messineo, S., Volpe, M., & Messineo, A. (2015). Carbon footprint of tree nuts based consumer products. *Sustainability*, 7(11), 14917-14934.
- Wackernagel, M., & Rees, W. (1998). *Our ecological footprint: reducing human impact on the earth* (Vol. 9). New society publishers.
- Waha, K., Krummenauer, L., Adams, S., Aich, V., Baarsch, F., Coumou, D., ... & Schleussner, C. F. (2017). Climate change impacts in the Middle East and Northern Africa (MENA) region and their implications for vulnerable population groups. *Regional Environmental Change*, 17(6), 1623-1638.
- Whittaker, C., McManus, M. C., & Smith, P. (2013). A comparison of carbon accounting tools for arable crops in the United Kingdom. *Environmental Modelling & Software*, 46, 228-239.
- Wiedmann, T. and Minx, J. (2008). *A Definition of 'Carbon Footprint'*. In: C. C. Pertsova, *Ecological Economics Research Trends: Chapter 1*, pp. 1-11,

Xu, X., & Lan, Y. (2016). A comparative study on carbon footprints between plant- and animal-based foods in China. *Journal of Cleaner Production*, 112, 2581-2592.

Zhang, P., Zhang, J., & Chen, M. (2017). Economic impacts of climate change on agriculture: The importance of additional climatic variables other than temperature and precipitation. *Journal of Environmental Economics and Management*, 83, 8-31.

Zittis, G., Almazroui, M., Alpert, P., Ciais, P., Cramer, W., Dahdal, Y., & Lelieveld, J. (2022). Climate change and weather extremes in the Eastern Mediterranean and Middle East. *Reviews of geophysics*, 60(3), e2021RG000762.

Zittis, G., Hadjinicolaou, P., Klangidou, M., Proestos, Y., & Lelieveld, J. (2019). A multi-model, multi-scenario, and multi-domain analysis of regional climate projections for the Mediterranean. *Regional Environmental Change*, 19(8), 2621-2635.

Zohary, M. (1950- 1952). A monographical study of the genus *Pistacia*. *Palestine Journal of Botany Jerusalem* 5, 187- 228. Στο Χιτζανίδου, Α., Μουρίκης, Π.Α., και Χολέβας, Κ.Δ. (2004). *Ασθένειες και Εντομολογικοί Εχθροί της Φιστικιάς στην Ελλάδα*. Μπενάκειο Φυτοπαθολογικό Ινστιτούτο, Αθήνα, pp. 19-25, 118-122

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ

https://ecometrica.com/assets/whatis_acarbonfootprint_summary.pdf

<https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data>

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?uri=LEGISSUM%3A128060>

https://ec.europa.eu/clima/change/causes_el

<https://ec.europa.eu/Eurostat>

<https://www.eea.europa.eu/ims/greenhouse-gas-emissions-from-agriculture>

<https://www.fao.org/faostat/en/#data>

<https://www.statistics.gr/el/statistics/-/publication/SPG06/2019>

<https://www.noaa.gov>

<http://www.globalcarbonproject.org>

carbonbudget/20/files/GCP_CarbonBudget_2020.pdf

<http://essd.copernicus.org/articles/12/3269/2020/essd-12-3269-2020.pdf>

<https://www.eea.europa.eu/ims/greenhouse-gas-emissions-from-agriculture>

https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/outreach/IPCC_AR6_WGII_FactSheet_Europe.pdf

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/12/19R_V0_01_Overview.pdf

NOAA. Earth System Research Laboratory (NOAA). 2020. Available online:

www.esrl.noaa.gov

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE, UNITED

NATIONS 1992 <http://www.unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>