

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών

Διαχείριση και Προστασία Περιβάλλοντος

Διδακτορική Διατριβή



**Ο Ρόλος των Μεσογειακών Μικτών Οπωρώνων στην Παροχή
Οικοσυστημικών Υπηρεσιών**

Σωτηρούλα Ιωαννίδου

**Επιβλέπων Καθηγητής
Γιάννης Βογιατζάκης**

Ιούνιος 2023

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών

Διαχείριση και Προστασία Περιβάλλοντος

Διδακτορική Διατριβή

**Ο Ρόλος των Μεσογειακών Μικτών Οπωρώνων στην Παροχή
Οικοσυστημικών Υπηρεσιών**

Σωτηρούλα Ιωαννίδου

**Επιβλέπων Καθηγητής
Γιάννης Βογιατζάκης**

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

Ιούνιος 2023

Copyright © Σωτηρούλα Ιωαννίδου 2023

ISBN: 978-9963-695-83-6

ΣΕΛΙΔΑ ΕΓΓΥΡΟΤΗΤΑΣ

Υποψήφια Διδάκτορας: Σωτηρούλα Ιωαννίδου

Τίτλος διατριβής: «Ο ρόλος των Μεσογειακών μικτών οπωρώνων στην παροχή Οικοσυστημικών Υπηρεσιών»

Η παρούσα διδακτορική διατριβή εκπονήθηκε στο πλαίσιο των σπουδών για την απόκτηση Διδακτορικού Διπλώματος στο Πρόγραμμα Σπουδών «Διαχείριση και Προστασία Περιβάλλοντος» της Σχολής Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών και εγκρίθηκε στις 13 Δεκεμβρίου 2022 από τα μέλη της Εξεταστικής Επιτροπής.

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

1. Καθηγ. Δημήτριος Μπιλάλης, Πρόεδρος Επιτροπής
ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
2. Καθηγ. Γιάννης Βογιατζάκης, Επιβλέπων
ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
3. Επικ. Καθηγ. Βασίλης Λίτσκας, Μέλος Επιτροπής
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
4. Αναπλ. Καθηγ. Μενέλαος Σταυρινίδης, Μέλος Επιτροπής
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
5. Δρ. Ασπασία Ευθυμιάδου, Ερευνήτρια Γ', Μέλος Επιτροπής
ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΕΔΑΦΟΎΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΕΛΓΟ – ΔΗΜΗΤΡΑ

.....

Γιάννης Βογιατζάκης

Καθηγητής Σχολής Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΣΣΑΣ

ΔΗΛΩΣΗ

ΥΠΟΨΗΦΙΑΣ

Η παρούσα διατριβή υποβάλλεται προς συμπλήρωση των απαιτήσεων για απονομή Διδακτορικού τίτλου του Ανοικτού Πανεπιστημίου Κύπρου. Είναι προϊόν πρωτότυπης εργασίας αποκλειστικά δικής μου, εκτός των περιπτώσεων που ρητώς αναφέρονται μέσω βιβλιογραφικών αναφορών, σημειώσεων ή και άλλων δηλώσεων

.....

Σωτηρούλα Ιωαννίδου

.....

Ημερομηνία

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα έρευνα εστιάζει στη δυναμική σχέση ανάμεσα στις γεωργικές πρακτικές (ΓΠ) και τις παρεχόμενες οικοσυστημικές υπηρεσίες (ΟΥ) σε δυο καλλιεργητικά συστήματα, συμβατικής και βιολογικής γεωργίας 52 οπωρώνων στην Κύπρο. Η επιλογή των γεωργικών πρακτικών χαρακτηρίζει τον τρόπο άσκησης της γεωργίας στους οπωρώνες, αλλά παράλληλα αυτές αλληλοεξαρτώνται με το ευρύτερο περιβάλλον και επιδρούν στις παρεχόμενες οικοσυστημικές υπηρεσίες παροχής, ρύθμισης, αλλά και πολιτιστικές υπηρεσίες. Η μορφή των γεωργικών πρακτικών (βιολογική-συμβατική) και η ένταση εφαρμογής τους στους οπωρώνες επιφέρει μεταβολές στην ισορροπία των αγροοικοσυστημάτων και στις σχετικές οικοσυστημικές υπηρεσίες. Συχνά οι αυξημένες εισροές χημικών και φυσικών πόρων αντανακλούν σε μείωση των παρεχόμενων Οικοσυστημικών Υπηρεσιών, γεγονός το οποίο είναι μετρήσιμο σε πρώτο χρόνο με τη ποσοτικοποίηση περιβαλλοντικών και άλλων παραμέτρων.

Για τον εντοπισμό των πιο πάνω επιδράσεων και συνδέσεων αναπτύχθηκαν δυο ενοποιητικά πλαίσια ως εξής: το πρώτο πλαίσιο συνέδεσε τις ασκούμενες ΓΠ, τις εδαφικές ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά των οπωρώνων με τις ΟΥ, ενώ το δεύτερο τοποθέτησε τις ΟΥ στους οπωρώνες στο πλέγμα Νερού-Ενέργειας-Τροφής-Κλίματος (NETK), με τη χρήση των βασικών περιβαλλοντικών δεικτών (αποτύπωμα άνθρακα, αποτύπωμα νερού, ένταση χρήσης ενέργειας και παραγωγικότητα οπωρώνων). Στη συνέχεια και για τα δυο πλαίσια, οι υπό μελέτη οπωρώνες αξιολογήθηκαν ως προς την ικανότητα τους για στήριξη των οικοσυστημικών υπηρεσιών. Επιπρόσθετα με την εφαρμογή και σύγκριση έξι μεθόδων οι οποίες βασίζονταν σε αλλομετρικές εξισώσεις, εκτιμήθηκε η ικανότητα δέσμευσης CO₂ από μικτούς οπωρώνες.

Τα κύρια αποτελέσματα της μελέτης συνοψίζονται ως εξής:

- Οι βιολογικοί μικτοί οπωρώνες παρουσιάζουν αυξημένο δυναμικό υποστήριξης των ΟΥ, ενώ οι συμβατικοί οπωρώνες δύνανται με τροποποιήσεις των εφαρμοζόμενων ΓΠ να παρέχουν επίσης ικανοποιητικό δυναμικό υποστήριξης ΟΥ.
- Οι βιολογικοί οπωρώνες ακρόδρυων παρουσίασαν υψηλότερη ικανότητα παροχής ΟΥ, έναντι συμβατικών οπωρώνων ακρόδρυων, αλλά και έναντι βιολογικών και συμβατικών οπωρώνων πυρηνοκάρπων, κατά τη σύνδεση των βασικών παραμέτρων του πλέγματος NETK με τις ΟΥ στην περίπτωση των μικτών οπωρώνων.

- Οι βιολογικοί μικτοί οπωρώνες είναι ιδανικοί για τη μετάβαση σε μειωμένες ή μηδενικές εκπομπές άνθρακα και τη βιώσιμη χρήση νερού και ενέργειας στη γεωργία. Σε σχέση όμως με την επισιτιστική ασφάλεια, τα συστήματα αυτά έχουν χαμηλότερη προσφορά τροφής από ότι οι συμβατικοί οπωρώνες.
- Τα αποτελέσματα ποσοτικοποίησης της δέσμευσης άνθρακα (CO₂seq) στη βιομάζα δέντρων σε 49 μικτούς οπωρώνες, για έξι διαφορετικές μεθόδους υπολογισμού, υπέδειξαν διαφορές μεταξύ των εφαρμοζόμενων μεθόδων. Η έρευνα αυτή, τονίζει την ανάγκη κατασκευής αλλομετρικών εξισώσεων που να βασίζονται στο είδος και στη γεωγραφική περιοχή. Οι γενικευμένες δασικές αλλομετρικές εξισώσεις δεν εφαρμόζονται σε μικτούς οπωρώνες καθώς υποεκτιμούν τη βιομάζα και τη δέσμευση άνθρακα σε σχέση με τις εξισώσεις οπωροφόρων ειδών.

Πέρα από τα βασικά ευρήματα, η παρούσα μελέτη επιτρέπει την ταχεία σύνδεση των γεωργικών πρακτικών και του πλέγματος NETK με τις οικοσυστημικές υπηρεσίες και εκτίμηση της ικανότητας των βιολογικών και συμβατικών οπωρώνων να συμβάλουν στην υποστήριξη της περιβαλλοντικής υγείας των αγροοικοσυστημάτων. Τα αποτελέσματα της μελέτης είναι σημαντικά για την διαχείριση μικτών οπωρώνων και την υιοθέτηση γεωργικών πρακτικών με δυνατότητα υποστήριξης οικοσυστημικών υπηρεσιών και συμβολής τους στον μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής.

ABSTRACT

The present research focuses on the dynamic relationship between agricultural management practices (AMPs) and ecosystem services (ES) in two farming systems with 52 conventional and organic orchards in Cyprus. The selection of AMPs determines the manner in which agriculture is practiced in the orchards, but they are also interdependent with the wider environment and affect the ecosystem services provided in terms of provisioning, regulating, and cultural services. The form of agricultural management practices (organic-conventional) and the intensity of their implementation in orchards induces alterations on the balance of agro-ecosystems and the related ecosystem services. Often increased inputs of agrochemicals, fertilizers and natural resources are reflected in a reduction in the provided Ecosystem Services, which can be measured by quantifying environmental and other parameters.

In order to identify the above effects and linkages, two integrated frameworks were developed as follows: the first framework linked AMPs, soil properties and orchard characteristics to ES, while the second framework placed ES of orchards in the Water-Energy-Food-Climate (WEFC) nexus, using key environmental indicators (carbon footprint, water footprint, energy intensity and orchard productivity). Subsequently, for both frameworks, the studied orchards were evaluated for their ability to support ecosystem services. In addition, by implementing and comparing six methods based on allometric equations, the CO₂ sequestration capacity of mixed orchards was quantified.

A summary of the main results of the study is as follows:

- Organic mixed orchards exhibit an increased potential to support ES, while conventional orchards may, after reducing the inputs, also have sufficient potential to support ES.
- Organic nuts orchards showed a higher ES provisioning capacity, compared to conventional nuts orchards, as well as compared to organic and conventional stone fruit orchards, when linking the key parameters of the WEFC nexus to ES in the case of mixed orchards.
- Organic mixed orchards are ideal for a transition to reduced or zero carbon emissions and sustainable use of water and energy in agriculture. However, considering food security, these systems result in lower food supply than conventional orchards.
- The results obtained from the quantification of carbon sequestration (CO₂seq) in tree biomass in 49 mixed orchards per method, indicated differences between the six methodologies applied. This research highlights the necessity to construct site and species specific allometric equations. The generic forest allometric equations are not applicable to

mixed orchards, as they underestimate biomass and carbon sequestration compared to the species-specific fruit equations.

Moreover, the present study allows linking of agricultural management practices and WEFC parameters to ecosystem services and assesses the potential of organic and conventional orchards to contribute towards supporting agroecosystems functions. The results of the study are important towards the management of mixed orchards and the adoption of agricultural practices with the potential to support ecosystem services and contribute towards climate change mitigation.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διδακτορική διατριβή ολοκληρώθηκε στο πλαίσιο του προγράμματος σπουδών «Διαχείριση και Προστασία Περιβάλλοντος», της Σχολής Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών του Ανοικτού Πανεπιστημίου Κύπρου, υπό την καθοδήγηση των Δρ. Γιάννη Βογιατζάκη, Δρ. Βασίλη Λίτσκα και Δρ. Μενέλαου Σταυρινίδη. Τερματίζοντας και ανασκοπώντας το ταξίδι της γνώσης για την απόκτηση τίτλου σπουδών, δεν μπορώ να αισθάνομαι παρά μόνο απέραντη ευγνωμοσύνη προς όλους τους ανθρώπους που υπήρξαν συνοδοιπόροι μου ή που με βρήκαν στον δρόμο τους ή που έτυχε να συναντήσω, έστω για λίγο.

Αρχικά, θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες στον Επιβλέποντα Καθηγητή μου Δρ. Γιάννη Βογιατζάκη, ο οποίος στάθηκε δίπλα μου σε κάθε βήμα, σε κάθε στιγμή και με την κατανόηση, την υποστήριξη και την καθοδήγηση του, εκπόνησα και ολοκλήρωσα τη διδακτορική μου διατριβή. Με την στέρεη επιστημονική του γνώση και την ακούραστη καθοδήγηση του, με εισήγαγε στις «Οικοσυστημικές Υπηρεσίες», μια καίρια έννοια του επιστημονικού τομέα της Διαχείρισης και Προστασίας Περιβάλλοντος. Στη συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερω τα μέλη της καθοδηγητικής μου επιτροπής. Ένα μεγάλο ευχαριστώ προς τον Δρ. Βασίλη Λίτσκα, καθώς «αγκάλιασε» με ζήλο το επιστημονικό αντικείμενο της διατριβής μου και μου παρείχε σημαντική και καθοριστική επιστημονική υποστήριξη και στον Δρ. Μενέλαο Σταυρινίδη ο οποίος επίσης μου παρείχε ουσιαστική επιστημονική καθοδήγηση με διορατικά σχόλια και προτάσεις. Θα ήθελα επίσης να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου προς τα μέλη της εξεταστικής μου επιτροπής Δρ. Δημήτριο Μπιλάλη και Δρ. Σίσσυ Ευθυμιάδου των οποίων η επιστημονική εμπειρία και γνώσεις συνέβαλαν επίσης ουσιαστικά στο τελικό αποτέλεσμα της διδακτορικής μου διατριβής.

Επιπρόσθετα, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στη Διεύθυνση του Ινστιτούτου Γεωργικών Ερευνών, για όλες τις διευκολύνσεις που μου παρείχε κατά τη διεξαγωγή της ερευνητικής μου εργασίας. Είμαι ιδιαίτερα ευγνώμων και οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους συναδέλφους και πάνω από όλα φίλους μου Δρ. Ανδρέα Στυλιανού και κα Δέσποινα Πίτσιλλου, που μου παρείχαν βοήθεια, επιστημονική υποστήριξη και συμπαράσταση όλα αυτά τα χρόνια. Ευχαριστώ επίσης τους συνεργάτες και φίλους που με στήριξαν με τον δικό τους τρόπο σε κάθε στιγμή που τους χρειαζόμουν: Δρ. Παρασκευή Μανωλάκη, Δρ. Έλλη Τζυρκαλλή, Στάλω Λεοντίου, και Νικόλα Σεραφείδη.

Θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στους γονείς μου Χρίστο και Ζωή που μου παρείχαν πολλά για να φτάσω μέχρι εδώ και στα αδέρφια μου Κυριάκο, Μάριο, Μανώλη και Μάρκο και στις οικογένειες τους για τη δύναμη που μου έδινε η αγάπη τους. Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω και να αφιερώσω τη διδακτορική μου διατριβή στον σύζυγό μου Δημήτρη ο οποίος με πολλή αγάπη, φροντίδα, κατανόηση και υποστήριξη ήταν δίπλα μου κάθε στιγμή!

Δανειζόμενη ορισμένους στίχους από τον ποιητή Κωνσταντίνο Καβάφη και το ποίημα του «Ιθάκη», θα ήθελα να κλείσω αναφέροντας ότι τελικά «*Σα βγεις στον πηγαϊμό για την Ιθάκη*» σημασία για μένα είχαν πολλά. Αρχικά το ταξίδι «*να εύχεσαι νάναι μακρύς ο δρόμος*», όπου ένας μεγάλος (κυριολεκτικά και μεταφορικά) δρόμος «*γεμάτος περιπέτειες, γεμάτος γνώσεις*» ξεδιπλώθηκε μπροστά μου και τον περπάτησα βήμα με βήμα. Οι εσωτερικές μου συγκρούσεις με «*τους Λαιστρυγόνες και τους Κύκλωπας*» που συνείσφεραν στην προσωπική μου ενδυνάμωση. Οι νέες καταστάσεις καθώς «*θα μπαίνεις σε λιμένας πρωτοειδωμένους*» και κάθε συνάντηση με το άγνωστο με γέμιζε αγωνία αλλά και ανυπομονησία για το επόμενο βήμα. Οι σταθμοί και κάθε επόμενος σταθμός «*να σταματήσεις ... και τες καλές πραγμάτειες ν' αποκτήσεις*», όπου κάθε συλλογή γνώσεων και εμπειριών συνείσφερε στη διεύρυνση της επιστημονικής μου κατάστασης και αντίληψης. Και τέλος «*όσο μπορείς πιο άφθονα ... να μάθεις και να μάθεις απ' τους σπουδασμένους*», όπου έμαθα πολλά και ελπίζω και κατάφερα να δώσω έστω το ελάχιστο.

***«Η φύση είναι η πηγή κάθε αληθινής γνώσης.
Έχει τη δική της λογική, τους δικούς της νόμους,
δεν έχει αποτέλεσμα χωρίς αιτία,
ούτε ευρήματα χωρίς αναγκαιότητα»
Λεονάρντο ντα Βίντσι***

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο 1	1
Εισαγωγή	1
1.1 Γενικά	1
1.2 Καταγραφή ζητήματος	5
1.3 Αναγκαιότητα της έρευνας	10
1.4 Σκοπός - Ερευνητικοί στόχοι- Ερευνητικά ερωτήματα	13
1.5 Δομή της Διατριβής	14
Βιβλιογραφία	16
Κεφάλαιο 2	26
Εννοιολογικό πλαίσιο και βασικά ζητήματα	26
2.1 Αγροοικοσυστήματα	26
2.1.1 Γενικά	26
2.1.2 Κύριοι Τύποι Καλλιεργητικών Συστημάτων	29
2.1.3 Γεωργικές Πρακτικές	33
2.2 Οικοσυστημικές Υπηρεσίες	35
2.2.1 Ιστορική αναδρομή και ορισμοί	35
2.2.2 Ταξινόμηση των ΟΥ	37
2.2.3 Οικονομική αποτίμηση ΟΥ	40
2.2.4 Χαρτογράφηση και Αξιολόγηση των ΟΥ	41
2.2.5 Γεωργία και Οικοσυστημικές Υπηρεσίες	41
2.3 Πλέγμα «Νερό - Ενέργεια - Τροφή» και Αγροοικοσυστήματα	45
2.3.1 Γενικά	45
2.3.2 Νερό και πλέγμα NET	48
2.3.3 Ενέργεια και πλέγμα NET	48
2.3.4 Τροφή και πλέγμα NET	49
2.3.5 Γεωργία και Πλέγμα NET	50
2.4 Γεωργία Άνθρακα και Αγροοικοσυστήματα	53

2.4.1	Γενικά	53
2.4.2	Η δέσμευση και αποθήκευση άνθρακα στη βιομάζα οπωρώνων	55
	Βιβλιογραφία	58
	Κεφάλαιο 3	79
	Συνδέοντας τις Γεωργικές Πρακτικές Διαχείρισης και τις Εδαφικές Ιδιότητες με τις Οικοσυστημικές Υπηρεσίες σε Μεσογειακούς Μικτούς Οπωρώνες	79
	Περίληψη	79
3.1	Εισαγωγή	80
3.2	Υλικά και μέθοδοι	83
3.2.1	Κυπριακή γεωργία και επιλογή οπωρώνων	83
3.2.2	Συλλογή δεδομένων	85
3.2.3	Αναλύσεις εδάφους	86
3.2.3.1	Οργανική ουσία και άζωτο Kjeldahl	86
3.2.3.2	Ενδο-μυκορριζικοί μύκητες και μικροβιακή δραστηριότητα του εδάφους	86
3.2.3.3	Εδαφική σταθερότητα συσσωματωμάτων και τράπεζα σπόρων	86
3.2.4	Στατιστική ανάλυση	87
3.2.4.1	Ανάλυση κατά συστάδες	87
3.2.4.2	Γενικά γραμμικά μοντέλα	88
3.2.5	Σύνδεση εδαφικών ιδιοτήτων, χαρακτηριστικών των οπωρώνων και ΓΠ διαχείρισης με τις ΟΥ	88
3.3	Αποτελέσματα	91
3.4	Συζήτηση	96
3.5	Συμπεράσματα	102
	Βιβλιογραφία	103
	Κεφάλαιο 4	112
	Τοποθετώντας τις Οικοσυστημικές Υπηρεσίες στο Πλέγμα Νερό-Τροφή-Ενέργεια-Κλίμα: Μια Μελέτη Περίπτωσης σε Μικτούς Μεσογειακούς Οπωρώνες	112
	Περίληψη	112
4.1	Εισαγωγή	113
4.2	Μεθοδολογία	117

4.2.1	Περιοχή Μελέτης, Επιλογή Οπωρώνων και Σχετικά Δεδομένα	117
4.2.2	Παράμετροι εδάφους	118
4.2.3	Δείκτες NETK	120
4.2.3.1	Γεωργική απόδοση	120
4.2.3.2	Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου	120
4.2.3.3	Υδατικό αποτύπωμα και Ένταση Χρήσης Ενέργειας	121
4.2.4	Στατιστική Ανάλυση	121
4.2.5	Σύνδεση των παραμέτρων NETK και των Οικοσυστημικών Υπηρεσιών	122
4.3	Αποτελέσματα	125
4.3.1	NETK σε μικτούς οπωρώνες	125
4.3.1.1	Ακρόδρυα	125
4.3.1.2	Πυρηνόκαρπα	126
4.3.2	Σχέση μεταξύ των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και των παραμέτρων των οπωρώνων	128
4.3.3	Ανάλυση συστάδων	129
4.3.4	Σύνδεση της σχέσης NETK με τις ΟΥ.	131
4.4	Συζήτηση	133
4.5	Συμπεράσματα	140
	Βιβλιογραφία	141
	Κεφάλαιο 5	150
	Ο Ρόλος των Οπωρώνων στην Αποθήκευση Άνθρακα για τον Μετριασμό των Επιπτώσεων της Κλιματικής Αλλαγής	150
	Περίληψη	150
5.1	Εισαγωγή	151
5.2	Υλικά και μέθοδοι	156
5.2.1	Περιοχή μελέτης και επιλογή οπωρώνων	156
5.2.2	Συλλογή δεδομένων	158
5.2.3	Εκτίμηση υπέργειας βιομάζας δέντρων	159
5.2.4	Εκτίμηση υπόγειας βιομάζας και συνολικής βιομάζας δέντρων	161
5.2.5	Εκτίμηση δέσμευσης άνθρακα (CO ₂ seq)	162

5.2.6	Σημείο μετάβασης από την καθαρή εκπομπή στην καθαρή απορρόφηση άνθρακα στη βιομάζα δέντρων	163
5.2.7	Στατιστική ανάλυση	163
5.3	Αποτελέσματα	164
5.3.1	Ολική βιομάζα δέντρων μικτών οπωρώνων	164
5.3.2	Δέσμευση άνθρακα (CO ₂ seq) στη βιομάζα μικτών οπωρώνων	166
5.3.2.1	Δέσμευση άνθρακα (CO ₂ seq) στη βιομάζα δέντρων ανά καλλιεργητικό σύστημα	166
5.3.2.2	Δέσμευση άνθρακα (CO ₂ seq) στη βιομάζα δέντρων μικτών οπωρώνων ανά μέθοδο	168
5.3.2.3	Σημείο μετάβασης από την καθαρή εκπομπή στην καθαρή απορρόφηση άνθρακα στη βιομάζα δέντρων μικτών οπωρώνων ανά μέθοδο	169
5.4	Συζήτηση	170
5.5	Συμπεράσματα	176
	Βιβλιογραφία	178
	Κεφάλαιο 6	189
	Συζήτηση και Συμπεράσματα	189
	Γενικά	189
6.1	Σύνοψη κύριων ευρημάτων	189
6.1.1	Γεωργικές πρακτικές, ιδιότητες εδάφους και Οικοσυστημικές Υπηρεσίες	190
6.1.2	Σύνδεση ΟΥ με το πλέγμα Νερό-Ενέργεια-Τροφή-Κλίμα (NETK)	193
6.1.3	Εκτίμηση της βιομάζας των δέντρων ως προς την ικανότητα δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα	195
6.2	Σύνθεση κύριων ευρημάτων και προεκτάσεις τους στην εφαρμογή γεωργίας	196
6.2.1	Γεωργικές πρακτικές, ιδιότητες εδάφους και Οικοσυστημικές Υπηρεσίες	197
6.2.2	Σύνδεση ΟΥ με το πλέγμα Νερό-Ενέργεια-Τροφή-Κλίμα	202
6.2.3	Εκτίμηση της βιομάζας των δέντρων ως προς την ικανότητα δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα	206
6.3	Αξιολόγηση μεθοδολογίας και Περιορισμοί της έρευνας	208
6.3.1	Καθορισμός περιοχής μελέτης και δείγματος της έρευνας	208
6.3.2	Συλλογή πρωτογενών και δευτερογενών δεδομένων	209

6.3.3	Ανάπτυξη ενοποιητικών πλαισίων και χρήση προσεγγιστικών μεθόδων _____	210
6.3.4	Υπολογισμοί παραμέτρων _____	211
6.4	Εισηγήσεις για εφαρμογή και μελλοντική έρευνα _____	212
	Βιβλιογραφία _____	214
	Παράρτημα Α.....	219
	Συμπληρωματικό υλικό: Κεφάλαιο 3	219
	Παράρτημα Β.....	234
	Συμπληρωματικό υλικό: Κεφάλαιο 4	234
	Παράρτημα Γ	240
	Συμπληρωματικό υλικό: Κεφάλαιο 5	240

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

- Σχήμα 2.1 Η ιεραρχική δομή του συστήματος ταξινόμησης οικοσυστημικών υπηρεσιών κατά CICES
- Σχήμα 2.2 Σύνδεσμοι μεταξύ οικοσυστημικών υπηρεσιών και γεωργίας
- Σχήμα 2.3 Αλληλεπιδράσεις εντός του πλέγματος Νερό-Ενέργεια-Τροφή

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

- Σχήμα 3.1 Οι θέσεις των αγροτεμαχίων τοποθετημένες πάνω σε εθνικό εδαφολογικό χάρτη
- Σχήμα 3.2 Δενδρόγραμμα των αποτελεσμάτων της ανάλυσης συστάδων
- Σχήμα 3.3 Αποτελέσματα ανάλυσης γενικών γραμμικών μοντέλων (ΓΓΜ)
- Σχήμα 3.4 Διάγραμμα διασποράς των συστάδων για: το ποσοστό αποικισμού των ριζών από ενδό-μυκορριζικούς μύκητες (%), την οργανική ουσία (%) και τη μέση διάμετρο βάρους των εδαφικών συσσωματωμάτων (MWD, mm)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

- Σχήμα 4.1 Τοποθεσίες όπου εντοπίζονται οι οπωρώνες στην Κύπρο
- Σχήμα 4.2 Δείκτες NETK για βιολογικούς και συμβατικούς μικτούς οπωρώνες ακρόδρυων: (Α) Παραγωγή (Mcal ha^{-1}), (Β) Αποτύπωμα άνθρακα-CF ($\text{kg CO}_2\text{-eq ha}^{-1}$), (Γ) Υδατικό αποτύπωμα-WF ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) και (Δ) Ένταση χρήσης ενέργειας-EI (MJ ha^{-1})
- Σχήμα 4.3 Δείκτες NETK για βιολογικούς και συμβατικούς μικτούς οπωρώνες πυρηνοκάρπων: (Α) Παραγωγή (Mcal ha^{-1}), (Β) Αποτύπωμα άνθρακα-CF ($\text{kg CO}_2\text{-eq ha}^{-1}$), (Γ) Υδατικό αποτύπωμα-WF ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) και (Δ) Ένταση χρήσης ενέργειας-EI (MJ ha^{-1})
- Σχήμα 4.4 Προβλέψεις μοντέλων (μέση τιμή και διαστήματα εμπιστοσύνης 95%) για τις τιμές εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου για: (Α) διαφορετικές ηλικίες δέντρων και (Β) τη μέση κατά βάρος διάμετρο εδαφικών συσσωματωμάτων (mm)

- Σχήμα 4.5 Δενδρόγραμμα των αποτελεσμάτων της ανάλυσης συστάδων (μέθοδος Ward, τετραγωνισμένη Ευκλείδεια απόσταση) στην περίπτωση: (Α) των ακρόδρυων και (Β) των πυρηνόκαρπων
- Σχήμα 4.6 Θηκογράμματα της βαθμολογίας σύνδεσης των ΟΥ με τις παραμέτρους NETK
- Σχήμα Σ4.1 Διάγραμμα παρατηρούμενων έναντι προβλεπόμενων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου για την περίπτωση βιολογικών και συμβατικών μικτών οπωρώνων πυρηνόκαρπων
- Σχήμα Σ4.2 Κλάσεις που προκύπτουν με βάση τις τιμές των παραμέτρων NETK για τους μικτούς οπωρώνες ακρόδρυων
- Σχήμα Σ4.3 Κλάσεις που προκύπτουν με βάση τις τιμές των παραμέτρων NETK για τους μικτούς οπωρώνες πυρηνόκαρπων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

- Σχήμα 5.1 Οικολογικές ζώνες κατά FAO (2012): α) Παγκόσμια, β) Μεσόγειος
- Σχήμα 5.2 Περιοχή μελέτης: α) η γεωγραφική θέση της Κύπρου στη Μεσόγειο, β) οι θέσεις των υπό μελέτη οπωρώνων στην Κύπρο
- Σχήμα 5.3 Θηκογράμματα ολικής βιομάζας σε οπωρώνες της μελέτης ανά μέθοδο
- Σχήμα 5.4 Θηκογράμματα δέσμευσης άνθρακα σε οπωρώνες της μελέτης ανά καλλιεργητικό σύστημα
- Σχήμα 5.5 Θηκογράμματα δέσμευσης άνθρακα σε οπωρώνες της μελέτης παραγωγικής φάσης ανά καλλιεργητικό σύστημα
- Σχήμα 5.6 Δέσμευση άνθρακα σε οπωρώνες της μελέτης ανά μέθοδο
- Σχήμα 5.7 Ικανότητα δέσμευσης άνθρακα σε οπωρώνες της μελέτης ανά ηλικία και ανά μέθοδο

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

- Πίνακας 3.1 Η επίδραση των γεωργικών πρακτικών διαχείρισης, των χαρακτηριστικών των οπωρώνων και των ιδιοτήτων του εδάφους σε επιλεγμένες οικοσυστημικές υπηρεσίες σε βιολογικούς και συμβατικούς οπωρώνες
- Πίνακας Σ3.1 Χαρακτηριστικά και στοιχεία των μικτών οπωρώνων που επιλέχθηκαν
- Πίνακας Σ3.2 Εφαρμοζόμενες γεωργικές πρακτικές διαχείρισης σε βιολογικούς και συμβατικούς οπωρώνες της μελέτης
- Πίνακας Σ3.3 Φυσικοχημικές και βιολογικές ιδιότητες εδαφών στους μικτούς οπωρώνες της μελέτης
- Πίνακας Σ3.4 Πλαίσιο σύνδεσης γεωργικών πρακτικών διαχείρισης, χαρακτηριστικών των αγροτεμαχίων και χαρακτηριστικών του εδάφους στους βιολογικούς και συμβατικούς μικτούς οπωρώνες της μελέτης, με τις επιδράσεις στις οικοσυστημικές υπηρεσίες

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

- Πίνακας 4.1. Θερμιδομετρικό περιεχόμενο φρούτων (νωπών) και ξηρών καρπών που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη
- Πίνακας 4.2. Σύνδεση των παραμέτρων NETK με τις οικοσυστημικές υπηρεσίες
- Πίνακας 4.3. Κεντροειδείς τιμές των παραμέτρων NETK για τις τρεις ομάδες στην περίπτωση οπωρώνων ακρόδρυων και πυρηνόκαρπων
- Πίνακας 4.4. Κατηγοριοποίηση των μικτών οπωρώνων ακρόδρυων βάσει της βαθμολογίας τους για οικοσυστημικές υπηρεσίες
- Πίνακας 4.5. Κατηγοριοποίηση των μικτών οπωρώνων πυρηνόκαρπων βάσει της βαθμολογίας τους για οικοσυστημικές υπηρεσίες
- Πίνακας Σ4.1. Χαρακτηριστικά και στοιχεία των μικτών οπωρώνων της μελέτης
- Πίνακας Σ4.2. Εδαφικές παράμετροι των μικτών οπωρώνων της μελέτης
- Πίνακας Σ4.3. Συντελεστές εκπομπών για την παραγωγή πετρελαίου και λιπασμάτων
- Πίνακας Σ4.4. Παράμετροι NETK για τους μικτούς οπωρώνες και ταξινόμηση σε σχέση με τις για οικοσυστημικές υπηρεσίες

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Πίνακας 5.1. Επιλεγμένες αλλομετρικές εξισώσεις υπολογισμού βιομάζας για τον σκοπό της μελέτης

Πίνακας 5.2. Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία βιομετρικών χαρακτηριστικών των δειγματοληπτικών δέντρων από τους 49 οπωρώνες της μελέτης

Πίνακας 5.3. Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία εκτιμώμενης ολικής βιομάζας δέντρων μικτών οπωρώνων

Πίνακας Σ5.1. Κύρια χαρακτηριστικά οπωρώνων μελέτης

Πίνακας Σ5.2. Ταξινόμηση οπωρώνων μελέτης ανά κυρίαρχο καλλιεργούμενο είδος και καλλιεργητικό σύστημα

Πίνακας Σ5.3. Εκπομπές - απορρόφηση άνθρακα (Cseq) ανά μέθοδο, στους οπωρώνες της μελέτης

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Η παρούσα έρευνα πραγματεύεται τις ανακύπτουσες συνδέσεις που διέπουν τη μορφή άσκησης της γεωργίας και τις υπηρεσίες που παρέχουν τα αγροοικοσυστήματα οπωρώνων. Η κατανόηση των αλληλεξαρτώμενων δεσμών μεταξύ της γεωργικής δραστηριότητας και του περιβάλλοντος διασφαλίζει την ισορροπία και τη βιωσιμότητα του συνόλου. Προς αυτή τη κατεύθυνση μελετήθηκε η επίδραση διαφορετικών γεωργικών πρακτικών (ΓΠ) στις παρεχόμενες οικοσυστημικές υπηρεσίες (ΟΥ) αλλά και οι επακόλουθες συνδέσεις τους, σε δυο καλλιεργητικά συστήματα συμβατικής και βιολογικής γεωργίας φυλλοβόλων οπωροφόρων δένδρων στην Κύπρο.

Υπό τη σκιά των αυξανόμενων περιβαλλοντικών πιέσεων και κοινωνικών αναγκών για τροφή, η ανθρωπότητα εξαρτάται σήμερα ολοένα και περισσότερο από τη φύση και τους πόρους της (Ågren & Andersson, 2012; Bodirsky et al., 2015; Flies et al., 2018; Tian et al., 2021), καθιστώντας επιτακτική ανάγκη την αναζήτηση λύσεων για βιώσιμη διαχείριση εδαφών, υδάτων και ενέργειας. Με ζητούμενο τις ισορροπημένες αλληλεπιδράσεις μεταξύ της κοινωνίας και του περιβάλλοντος για σίτιση του ανθρώπινου πληθυσμού, οι προσπάθειες που καταβάλλονται απαιτούν σύνθετο σχεδιασμό, εφαρμογή δεικτών και συλλογή δεδομένων για αξιολόγηση της υφιστάμενης κατάστασης (Dijk et al., 2020) προς μια ολιστική προσέγγιση του ζητήματος της ανθρώπινης και περιβαλλοντικής υγείας (Lü et al., 2021). Ωστόσο, ο εντοπισμός των συνεργειών και αντισταθμίσεων μεταξύ των δύο συστημάτων (άνθρωπος-περιβάλλον) συχνά δεν είναι δυνατός, με αποτέλεσμα τη μετάβαση του όλου συστήματος προς μια δυσμενέστερη κατάσταση (Gladstone-Gallagher et al., 2022). Η ανθρωπότητα καλείται να αντιμετωπίσει συλλογικά το ζητούμενο τόσο με παρεμβάσεις που ανταποκρίνονται στα προβλήματα που ανακύπτουν, όσο και με λύσεις επιδιώκοντας την πρόληψή τους.

Καθώς η αλληλεπίδραση ανθρώπου και οικοσυστημάτων χρονολογείται από την αρχαιότητα (Muiruri et al., 2021), η θεώρηση οποιουδήποτε οικοσυστήματος χωρίς την ανθρώπινη παρουσία ως αναπόσπαστο μέρος του συνόλου μπορεί να εκληφθεί ως μια τρωτότητα στην απρόσκοπτη παροχή υπηρεσιών. Η μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα των αγροοικοσυστημάτων απαιτεί σωστή διαχείριση των πόρων, της γης και των ΟΥ, έτσι ώστε να προάγεται η αποτελεσματικότητα της γεωργικής παραγωγής και η περιβαλλοντική υγεία (Swift et al., 2021). Ωστόσο, οι πολύπλοκες συνδέσεις και αλληλεξαρτήσεις των φυσικών και κοινωνικών συστημάτων, συχνά οδηγούν σε μη προβλέψιμες αντιδράσεις των πρώτων στις ανθρωπογενείς παρεμβάσεις (Folke et al., 2002).

Με την πάροδο του χρόνου, η άσκηση της γεωργίας συνέβαλε στη δημιουργία και διατήρηση πολύτιμων αγροοικοσυστημάτων (Barbera & Cullotta, 2016; Lasanta et al., 2017; Manolaki et al., 2020), συμπεριλαμβανομένων των οπωρώνων, που αποτελούν πολύ σημαντικό περιβαλλοντικό συντελεστή της υπαίθρου. Τα αγροοικοσυστήματα παρέχουν στην κοινωνία και στο ευρύτερο περιβάλλον πολυάριθμες ΟΥ που συμβάλλουν στη διασφάλιση της ευημερίας και της συνέχισης της ζωής όπως: η τροφή, το νερό, οι πρώτες ύλες, η ποιότητα του αέρα, η ρύθμιση της διάβρωσης του εδάφους, η δέσμευση του άνθρακα, η ισορροπία θρεπτικών κύκλων, ο έλεγχος εχθρών και ασθενειών, η ρύθμιση του κλίματος, η φυσική ομορφιά κ.α. (Dardonville et al., 2022; Demestihis et al., 2017; Shipley et al., 2020;). Συνοπτικά, οι ΟΥ προσδιορίζονται ως η άμεση ή η έμμεση συνεισφορά των οικολογικών δομών και διεργασιών προς την ικανοποίηση των ανθρωπίνων αναγκών (Daniel et al., 2012) και ταξινομούνται ως **υπηρεσίες παροχής** (τροφή, νερό, ξυλεία, πρώτες ύλες κ.α.), **υπηρεσίες ρύθμισης/διατήρησης** (ρύθμιση κλίματος, ποιότητα αέρα, διατήρηση γονιμότητας εδαφών, έλεγχος ασθενειών κ.α.) και **πολιτιστικές υπηρεσίες** (αναψυχή, φυσική ομορφιά, πνευματική ευημερία κ.α.) (Haines-Young and Potschin 2018). Κανένα είδος, συμπεριλαμβανομένου και του ανθρώπου, δεν μπορεί να επιβιώσει χωρίς τις υπηρεσίες που δημιουργεί το οικοσύστημα.

Οι άνθρωποι έχουν επιφέρει αλλαγές στα οικοσυστήματα ταχύτερα και σε μεγαλύτερο βαθμό από ότι σε οποιαδήποτε άλλη στιγμή στην ιστορία της ανθρωπότητας, κυρίως για να ανταποκριθούν στην αυξανόμενη ανάγκη προμήθειας σε υπηρεσίες οικοσυστήματος, όπως τροφή, νερό και ξυλεία (DeClerck et al., 2016; Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Πολύ συχνά η διαχείριση των αγροοικοσυστημάτων για την αύξηση της ΟΥ παροχής τροφής και η πολυπλοκότητα των αλληλεπιδράσεων οδηγούν σε σημαντικές επιπτώσεις στην παροχή άλλων υπηρεσιών οικοσυστήματος (π.χ. ποιότητα εδάφους, ρύθμιση κλίματος)

(Bennett & Balvanera, 2007; Coupe et al., 2012; Davari et al., 2010; Fu et al., 2017). Ειδικότερα, οι ΓΠ διαχείρισης επηρεάζουν τις ιδιότητες, τις συνιστώσες και τις λειτουργίες που στηρίζουν το αγροοικοσύστημα, οι οποίες αποτελούν τη βάση των ΟΥ παροχής και, επομένως, κάθε αλλαγή στη διαχείριση της γης επιφέρει αλλαγές προς όλες τις κατηγορίες των ΟΥ (de Groot et al., 2010). Απαιτείται σωστός σχεδιασμός της διαχείρισης βιοτικών (ζωντανοί οργανισμοί) και αβιοτικών (κλιματικές συνθήκες, διαθεσιμότητα θρεπτικών στοιχείων κ.α.) παραγόντων για να εξασφαλιστεί ότι τα αγροοικοσυστήματα παρέχουν ΟΥ, καθίστανται ανθεκτικά στην κλιματική αλλαγή, ενώ οι πόροι (έδαφος, νερό, ενέργεια) διατηρούνται (Altieri et al., 2015; Gavrilesco, 2021).

Κατά την άσκηση της συμβατικής γεωργίας που είναι και κυρίαρχη μορφή ανά το παγκόσμιο κάθε γεωργική δραστηριότητα συνήθως στοχεύει στη μέγιστη παραγωγή γεωργικών προϊόντων (τροφής) ανά εδαφική επιφάνεια, συνοδευόμενη συχνά από πρακτικές υψηλής εντάσεως. Οι εντατικές γεωργικές πρακτικές χαρακτηρίζονται από αυξημένες εισροές συνθετικών φυτοπροστατευτικών ουσιών και λιπασμάτων με τελικό αποδέκτη το έδαφος, τα ύδατα και την ατμόσφαιρα, καθώς και από υπερεκμετάλλευση φυσικών πόρων (νερό, ενέργεια) (Afra et al., 2022; Bundschuh & Chen, 2014; Lassaletta et al., 2016). Ως εκ τούτου, οι πρακτικές κατά την άσκηση της συμβατικής γεωργίας συχνά υποβαθμίζουν τα εδάφη, τους υδατικούς πόρους και επιβαρύνουν τον ατμοσφαιρικό αέρα προκαλώντας μια σειρά από περιβαλλοντικά προβλήματα (διάβρωση εδαφών, ρύπανση νερών, αυξημένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κ.α.) (Aroga, 2019; Korittke et al., 2019; Mendivil-García et al., 2020) που επιδρούν στις παρεχόμενες ΟΥ. Στον αντίποδα οι γεωργικές πρακτικές κατά την άσκηση της βιολογικής γεωργίας συμβάλουν στον μετριασμό των αρνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων της συμβατικής γεωργίας και συχνά προωθούν την υγεία και ευημερία του αγροοικοσυστήματος και της κοινωνίας προσφέροντας παράλληλα αυξημένες ΟΥ (Almagro et al., 2013; Reganold & Wachter, 2016). Κάθε μορφή βιώσιμης γεωργίας χαρακτηρίζεται από ισορροπία μεταξύ της παροχής τροφής και του περιβαλλοντικού κόστους, καθώς, παράλληλα με τη διατήρηση ή την αύξηση της παραγωγής, δρα ευεργετικά διατηρώντας ή ακόμη και ενισχύοντας πολλές ΟΥ (δέσμευση άνθρακα, γενετική ποικιλότητα κ.α.) (Almagro et al., 2013; Eyhorn et al., 2019).

Η άσκηση της γεωργίας καθορίζεται μέσω της εφαρμογής ΓΠ που επιλέγονται στη βάση κυρίως πολιτικοοικονομικών κριτηρίων (αποδοτικότητα, γεωργικές επιδοτήσεις, συμβατικές υποχρεώσεις εθνικών στρατηγικών) και λιγότερο συχνά βάσει κοινωνικών (ανθρώπινη υγεία, πολιτιστική κληρονομιά) ή περιβαλλοντικών κριτηρίων. Η κατανόηση

της έννοιας των οικοσυστημικών υπηρεσιών και του ρόλου των πρακτικών που εφαρμόζονται από τους γεωργούς κρίνεται πολύ μεγάλης σημασίας για την αντιμετώπιση των προκλήσεων σε τοπικό επίπεδο. (Tusznio et al., 2020), καθώς η διαχείριση σε κάθε αγροτεμάχιο επιφέρει επιδράσεις στο άμεσο και ευρύτερο περιβάλλον. Κάθε γεωργική δραστηριότητα αλληλοεπιδρά με τις ΟΥ και δημιουργεί περιβαλλοντικές προεκτάσεις υπό τη μορφή θετικών και αρνητικών επιδράσεων στα αγροοικοσυστήματα. Οι περιβαλλοντικές προεκτάσεις των ΓΠ αφορούν όλες τις κατηγορίες ΟΥ (παροχής, ρύθμισης και διατήρησης και πολιτιστικές) οι οποίες, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, εξαρτώνται από τον τρόπο άσκησης της γεωργίας (βιολογική έναντι συμβατικής).

Η παρούσα έρευνα πραγματεύεται τη διερεύνηση της υφιστάμενης κατάστασης σε μικτούς οπωρώνες στην Κύπρο και τις αλληλεξαρτήσεις ΓΠ και ΟΥ, προς την ανάγκη εξεύρεσης ενός μοντέλου γεωργίας που θα χαρακτηρίζεται από το συνδυασμό βέλτιστων γεωργικών πρακτικών. Στόχος είναι η συνεισφορά νέων γνώσεων όσον αφορά τις ΓΠ, οι οποίες, όταν ασκηθούν, θα καλύψουν οι ανθρώπινες ανάγκες σε ύλες, τηρώντας παράλληλα τις απαιτούμενες περιβαλλοντικές δεσμεύσεις, διασφαλίζοντας τη βιώσιμη λειτουργία του συστήματος.

Προκειμένου να διερευνηθεί η αλληλεξαρτώμενη σχέση μεταξύ ΟΥ και ΓΠ, επιλέχθηκε και διερευνήθηκε μια σειρά περιβαλλοντικών και άλλων παραμέτρων που σχετίζονται με την καλλιέργεια φυλλοβόλων οπωροφόρων δέντρων (εδαφικές παράμετροι, χαρακτηριστικά οπωρώνων, αποτυπώματα άνθρακα-νερού, ένταση χρήσης ενέργειας, γεωργική παραγωγικότητα, ικανότητα δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα). Τα πιο πάνω αναμένεται να συσχετίζονται άμεσα και έμμεσα με τις ΟΥ και τις ΓΠ που εφαρμόζουν οι αγρότες στη διαχείριση των οπωρώνων τους.

Αντικείμενο της μελέτης αποτέλεσαν αγροοικοσυστήματα συμβατικής και βιολογικής γεωργίας φυλλοβόλων οπωροφόρων δέντρων σε παγκύπρια βάση, στις περιοχές όπου εντοπίζεται η καλλιέργεια τους. Όλες οι παράμετροι εξετάζονται σε σχέση με τις κύριες γεωργικές πρακτικές που εφαρμόζουν οι αγρότες, οι οποίες αφορούν τις μεθόδους κατεργασίας εδάφους και καταπολέμηση ζιζανίων, τη χρήση φυτοπροστατευτικών ουσιών, τη μέθοδο άρδευσης και το είδος λίπανσης. Η παρούσα μελέτη επιχειρεί να αποτυπώσει την τρέχουσα κατάσταση και να παράσχει πληροφορίες σχετικά με τις ΟΥ σε δύο συστήματα καλλιέργειας οπωρώνων στην Κύπρο (βιολογικής και συμβατικής γεωργίας).

Η επιλογή των οπωρώνων φυλλοβόλων δένδρων ως σύστημα αναφοράς έναντι άλλων γεωργικών συστημάτων έγινε καθώς οι πολυετείς καλλιέργειες συνδέονται με ένα ευρύ φάσμα ΟΥ, και αποτελούν μια χρήση γης με σημαντικά περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη (Xia et al., 2020). Η μακροχρόνια παρουσία των οπωρώνων σε μια περιοχή, τους καθιστά ένα μόνιμο σύστημα, η μελέτη του οποίου αναμένεται να παράσχει σημαντική πληροφόρηση σχετικά με την επίδραση των ΓΠ στις ΟΥ που απαντώνται σε αυτά (Demestihis et al., 2019). Εκτός από τις ανάγκες τους σε εισροές για την παραγωγή τροφίμων, οι οπωρώνες απαιτούν πρόσθετους πόρους (νερό, ενέργεια) για τη συντήρησή τους σε ετήσια βάση και απαιτείται κατάλληλος σχεδιασμός και λήψη αποφάσεων για την εφαρμογή των βέλτιστων ΓΠ διαχείρισης τους. Επιπλέον, η εγκατάσταση και διαχείριση μικτών οπωρώνων φυλλοβόλων είναι μια πολύπλοκη διαδικασία κατά την οποία λαμβάνονται σημαντικές αποφάσεις (π.χ. επιλογή ποικιλιών, αποστάσεις φύτευσης, διαχείριση άρδευσης) που επηρεάζουν τόσο το υπέργειο μέρος (π.χ. φυτοπροστασία, συγκομιδή) καθώς και το υπόγειο μέρος (έδαφος, ριζικό σύστημα) στο οποίο συντελούνται πολλές διεργασίες και αλληλεπιδράσεις (κύκλοι θρεπτικών στοιχείων, συγκράτηση νερού κ.α.). Οι πρακτικές που εφαρμόζουν οι αγρότες στους οπωρώνες επαναλαμβανόμενα και για μεγάλες χρονικές περιόδους, επιδρούν στις εδαφικές παραμέτρους που συνδέονται με αρκετές οικολογικές διεργασίες και συνεπώς λειτουργίες οι οποίες υποστηρίζουν τις ΟΥ (δέσμευση και αποθήκευση άνθρακα, ικανότητα συγκράτησης νερού, έλεγχος διάβρωσης, διαθεσιμότητα θρεπτικών στοιχείων κ.α.). Επομένως, η μορφή άσκησης των ΓΠ είναι πιθανόν να έχει σημαντικό αντίκτυπο στις ΟΥ με προεκτάσεις τόσο στη διασφάλιση των υδάτινων, ενεργειακών και επισιτιστικών πόρων όσο και σε ευρύτερα περιβαλλοντικά ζητήματα όπως η κλιματική αλλαγή.

1.2 Καταγραφή ζητήματος

Τα αγροοικοσυστήματα είναι εξαιρετικά ευμετάβλητα γεωργικά τοπία που ποικίλλουν ανάλογα με το σύστημα καλλιέργειας, την τοπογραφία και την ένταση της διαχείρισης και αποτελούνται από ένα μωσαϊκό αγροτεμαχίων και άλλων ενδιαιτημάτων (Marshall, 2004). Καλύπτουν ένα μεγάλο μέρος της χερσαίας επιφάνειας της γης (FAO, 2022) και, όπως αναφέρει ο Maxwell, (1986), αποτελούνται από πόρους όπως το κεφάλαιο, το έδαφος και το νερό, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για γεωργικές και εξωγεωργικές δραστηριότητες, έτσι ώστε να παραχθεί ένα σύνολο εκροών, όπως τρόφιμα και πρώτες ύλες. Αποτελούνται από ένα ευρύ φάσμα καλλιεργητικών συστημάτων που κυμαίνονται από μονοκαλλιέργειες έως μικτές καλλιέργειες, εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις τοπικές εδαφοκλιματικές

συνθήκες και τις ασκούμενες ΓΠ και διέπονται από ροές ενέργειας και θρεπτικών στοιχείων (Randall & Smith, 2019).

Ανέκαθεν τα γεωργικά συστήματα διαχειρίζονται από τον άνθρωπο κυρίως για την παραγωγή τροφίμων και άλλων προϊόντων, συμβάλλοντας στην επισιτιστική ασφάλεια ενός αυξανόμενου παγκόσμιου πληθυσμού (Loboguerrero et al., 2019). Παράλληλα, μέσω των διαφόρων λειτουργιών τους παρέχουν ένα ευρύ φάσμα ΟΥ στη κοινωνία όπως η δέσμευση άνθρακα, η ρύθμιση του κλίματος, η διατήρηση των κύκλων θρεπτικών στοιχείων, ο έλεγχος ασθενειών και οι πολιτιστικές υπηρεσίες (Chopin et al., 2019; Garbach et al., 2014) οι οποίες είναι απαραίτητες για τη συνέχιση της ζωής. Η άσκηση της γεωργικής δραστηριότητας είναι τόσο αναγκαία όσο και ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση και προστασία του φυσικού περιβάλλοντος, των φυσικών πόρων και των υπηρεσιών οικοσυστήματος.

Ενώ η γεωργία έχει τροποποιήσει δραματικά μεγάλο μέρος της επιφάνειας της γης κατά τη διάρκεια πολλών χιλιετιών (Massol & Petit, 2013), πρόσφατα στοιχεία δείχνουν μείωση της γεωργική γης κατά σχεδόν 3% τις τελευταίες δύο δεκαετίες, με τη συνολική γεωργική γη παγκοσμίως ωστόσο να προσδιορίζεται σε περίπου 4,7 δισεκατομμύρια εκτάρια (περίπου το ένα τρίτο της παγκόσμιας έκτασης) (FAO, 2022). Το ένα τρίτο της γεωργικής γης αποτελείται από καλλιεργήσιμες εκτάσεις (σχεδόν 1,6 δισεκατομμύρια εκτάρια), ενώ τα υπόλοιπα δύο τρίτα αποτελούν μόνιμα λιβάδια και βοσκοτόπια (περίπου 3,2 δισεκατομμύρια εκτάρια) (FAO, 2022). Η γεωργία είναι μια από τις κύριες χρήσεις γης σε όλο τον κόσμο, αλλά η διαχείριση της σε πολλές διαφορετικές μορφές και τοποθεσίες συχνά απειλεί τις ΟΥ, ιδιαίτερα λόγω της ευαισθησίας της στις κλιματικές μεταβολές (Howden et al., 2007).

Με τη σύγχρονη γεωργία να αντιμετωπίζει την πρόκληση της σίτισης ενός αυξανόμενου ανθρώπινου πληθυσμού, με παράλληλη διατήρηση των φυσικών πόρων και επιβράδυνση της κλιματικής αλλαγής, η κατανόηση της λειτουργίας των αγροοικοσυστημάτων είναι ζωτικής σημασίας προς την εξασφάλιση της βιωσιμότητας και ανθεκτικότητας τους (Poggi et al., 2021). Οι γεωργικές πρακτικές είναι ζωτικής σημασίας για τη συντήρηση του ανθρώπινου πληθυσμού, αλλά ταυτόχρονα μπορούν να διαταράξουν τη λειτουργία των αγροοικοσυστημάτων όταν αυτές εντατικοποιούνται, με ενδεικτικά παραδείγματα: τις δυσμενείς επιπτώσεις των φυτοφαρμάκων σε οργανισμούς-μη στόχους και την απορροή θρεπτικών ουσιών σε παρακείμενα υδάτινα οικοσυστήματα (Galic et al., 2012).

Αναμφίβολα η γεωργική δραστηριότητα και το περιβάλλον είναι άρρηκτα συνδεδεμένα, καθώς ο τρόπος με τον οποίο ασκείται η πρώτη επιδρά και διαμορφώνει το περιβάλλον, αλλά ταυτόχρονα η γεωμορφολογία κάθε περιοχής καθορίζει ορισμένες από τις ΓΠ που μπορούν να λάβουν χώρα εντός αυτού. Αν και η ορθή διαχείριση των γεωργικών εκτάσεων είναι απαραίτητη για τη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα τους και την παροχή ΟΥ, τα περισσότερα γεωργικά εδάφη υπόκεινται σε βραχυπρόθεσμης διαχείριση για την παραγωγή τροφίμων, φυτικών ινών και καύσιμων, συχνά εις βάρος άλλων ΟΥ (Qi et al., 2018; Stallman, 2011). Οι ραγδαίες αλλαγές στα γεωργικά συστήματα επέτρεψαν μια άνευ προηγουμένου αύξηση της γεωργικής παραγωγικότητας, αλλά είχαν επίσης μια σειρά από αρνητικές επιπτώσεις στις οικολογικές τους ιδιότητες, διεργασίες και υπηρεσίες (δέσμευση άνθρακα, κύκλοι θρεπτικών στοιχείων, δομή και λειτουργία εδάφους, επικονίαση κ.α.) (Bell et al., 2015; Markhi et al., 2019; Tsiafouli et al., 2015).

Η εντατικοποίηση της γεωργίας συνδέεται με πολυάριθμες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, όπως η υποβάθμιση του εδάφους, η ρύπανση των υδάτων, η μείωση της βιοποικιλότητας και η αύξηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (Sánchez-Bayo & Wyckhuys, 2019; Vermeulen et al., 2012; Vitousek et al., 2009). Εκτός από τη μορφή άσκησης ΓΠ, ένας πρόσθετος παράγοντας περιβαλλοντικής υποβάθμισης και μείωσης ΟΥ στις γεωργικές περιοχές είναι τόσο τα φυτικά είδη αλλά και ο αριθμός ειδών στα αγροτικά συστήματα. Μεγάλο μέρος των αγροτικών τοπίων αποτελείται από ετήσιες καλλιέργειες απαραίτητες για τη σίτιση των ανθρώπων, οι οποίες το 2020 αντιπροσώπευαν περίπου το 80% της παγκόσμιας καλλιεργήσιμης γης, σημειώνοντας αύξηση 10% από το 2001 (FAO, 2022). Ωστόσο η κυριαρχία στα τοπία ετήσιων φυτών ή/και μονοκαλλιεργειών ενδέχεται να συμβάλει σε μικρότερο βαθμό στη στήριξη ΟΥ, σε αντίθεση με ΟΥ (π.χ. ο βιολογικός έλεγχος, η επικονίαση, γονιμότητα του εδάφους) οι οποίες ευνοούνται και στηρίζονται σε αγροοικοσυστήματα με αυξημένη γενετική ποικιλότητα (Iverson et al., 2014; Kennedy et al., 2013; Letourneau et al., 2011; McKenna et al., 2020). Η αύξηση της ποικιλομορφίας των καλλιεργειών, χαρακτηριστικό παράδειγμα των οποίων αποτελούν οι πολυετείς μικτές καλλιέργειες, δύναται να καταστήσει τα αγροοικοσυστήματα βιώσιμα αναζωογονώντας τα οικονομικά θεμέλια της γεωργίας και των αγροτικών κοινωνιών (Crews et al., 2018).

Σε ευρωπαϊκό επίπεδο, η απαρχή της εφαρμογής της Κοινής Αγροτικής Πολιτικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης (European Union, 2022a) οδήγησε στην εντατικοποίηση της γεωργίας για την κάλυψη των διατροφικών αναγκών και σταδιακά στην εξάρτηση των αγροτών από τις επιδοτήσεις που δίνονταν ανάλογα με το ύψος της παραγωγής. Η παρεμβατική ανάπτυξη

της γεωργίας σε αναζήτηση μεγαλύτερης κερδοφορίας έχει προκαλέσει ραγδαία επιδείνωση της δομής και των λειτουργικών χαρακτηριστικών των αγροοικοσυστημάτων (Zhu et al., 2012). Ως εκ τούτου, η γεωργική δραστηριότητα χαρακτηρίζεται κυρίως από μια εντατική μορφή γεωργίας (συμβατική), ακολουθούμενη από πρακτικές που βασίζονται στην εντατική εκμηχάνιση, την υπερεκμετάλλευση φυσικών πόρων (νερό, ενέργεια) την εφαρμογή συνθετικών αγροχημικών, αποσκοπώντας στη μεγέθυνση των αποδόσεων ανά μονάδα επιφάνειας (Garnett et al., 2013), με παράλληλη υποβάθμιση ωστόσο των ΟΥ (Samnegård et al., 2018) (Stuligross & Williams, 2020).

Η κοινωνία άρχισε να ανησυχεί για τις προαναφερθείσες επιπτώσεις στο περιβάλλον και για την υποβάθμιση της ποιότητας των παραγομένων προϊόντων. Η γεωργία είναι περισσότερο από ποτέ αντιμέτωπη με τις ανάγκες παροχής τροφής και διαφύλαξης του περιβάλλοντος που θα μπορούσαν να αντιμετωπιστούν μέσω της έννοιας και της προσέγγισης των οικοσυστημικών υπηρεσιών. Δηλαδή παροχή και διαφύλαξη των καταναλωτικών αγαθών (τρόφιμα, ξυλεία, πόσιμο νερό κ.α.), με ταυτόχρονη παροχή ρυθμιστικών υπηρεσιών όπως ο έλεγχος της κλιματικής αλλαγής ή των πλημμυρών και διαφύλαξη των λειτουργικών ικανοτήτων των αγροοικοσυστημάτων (Tancoigne et al., 2014). Η αναθεωρημένη Κοινή Γεωργική Πολιτική, δίνει πλέον έμφαση σε μια περιβαλλοντικά προσανατολισμένη γεωργία, όπου η στρατηγική της Ευρωπαϊκής Επιτροπής «από το Αγρόκτημα στο Πιάτο», (from Farm to Fork Strategy) οδηγεί σε επαναξιολόγηση των προτεραιοτήτων (μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος τροφίμων, ενίσχυση της ανθεκτικότητας, υγιεινά και οικονομικά προσιτά τρόφιμα για τις παρούσες και τις μελλοντικές γενιές) θεσπίζοντας νέα αγροπεριβαλλοντικά μέτρα μέσω της εφαρμογής ορθών γεωργικών πρακτικών (European Union, 2022b).

Η υιοθέτηση ορθών γεωργικών πρακτικών προάγει τη βιωσιμότητα της γεωργίας διασφαλίζοντας την παροχή τροφίμων και άλλων ΟΥ με χαμηλό περιβαλλοντικό κόστος (Rehman et al., 2022) και συμβάλλει στην επίτευξη τόσο εθνικών, όσο και στόχων της βιώσιμης ανάπτυξης (ΣΒΑ) των Ηνωμένων Εθνών [μηδενική πείνα (ΣΒΑ2), καλή υγεία και ευημερία (ΣΒΑ3), καθαρό νερό (ΣΒΑ6), φτηνή και καθαρή ενέργεια (ΣΒΑ7), υπεύθυνη κατανάλωση και παραγωγή (ΣΒΑ12) και δράση για το κλίμα (ΣΒΑ13)], (United Nations, 2022). Η διασφάλιση της προστασίας του περιβάλλοντος και των οικοσυστημικών υπηρεσιών που προσφέρει, η κατοχύρωση της ασφάλειας και ποιότητας των τροφίμων, η ενδυνάμωση της οικονομικής βιωσιμότητας των καλλιεργειών και η ευημερία των αγροτικών κοινωνιών θα πρέπει να αποτελούν ύψιστη προτεραιότητα τόσο ανάμεσα στους

αρμόδιους φορείς ελέγχου και πολιτικής, στις γεωργικές εφαρμογές αλλά και στην ερευνητική κοινότητα. Προς αυτή την κατεύθυνση η θεώρηση των αγροοικοσυστημάτων ως δίκτυα αλληλεπίδρασης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αντιμετώπιση ζητημάτων που σχετίζονται με τη λειτουργία και τις ιδιότητες τους παρ' όλες τις ενδεχόμενες μεταβολές (Massol and Petit, 2013).

Η αναζήτηση της αειφορικής γεωργικής παραγωγής παρέχει ένα κλασικό παράδειγμα-κλειδί, όπου υπάρχει αυξανόμενη ανάγκη για βελτιωμένες γεωργικές πρακτικές έτσι ώστε να εξασφαλιστεί μια πιο βιώσιμη γεωργική βιομηχανία (Tzilivakis et al., 2011). Είναι σημαντικό να προωθηθεί η τοπική, ποικιλόμορφη και βιώσιμη γεωργία που σέβεται το περιβάλλον και να ενισχυθούν τα τοπικά και εθνικά συστήματα για την προσαρμογή στην κλιματική κρίση και τη διαφοροποίηση των καλλιεργειών (Viana et al., 2022). Οι ΓΠ που εφαρμόζουν οι αγρότες σε οπωρώνες είναι σημαντικές, καθώς η γεωργική δραστηριότητά καθορίζεται από οικονομικούς, κοινωνικούς αλλά και περιβαλλοντικούς παράγοντες. Η εξάντληση των ΟΥ, συνδέεται εν μέρει με την αδυναμία των περισσότερων ανθρώπινων διαδικασιών λήψης αποφάσεων που δεν αποδίδουν χρηματικές αξίες στα οφέλη που παρέχει το περιβάλλον (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Επίσης, όπως αναφέρουν οι Amsalu και de Graaff (2006), οι αποφάσεις των αγροτών για τη διατήρηση των φυσικών πόρων γενικά – και ειδικότερα του νερού και του εδάφους - καθορίζονται σε μεγάλο βαθμό από τις γνώσεις που έχουν σχετικά με τα προβλήματα και από τα αναμενόμενα οφέλη που προκύπτουν από τη διατήρηση των πόρων αυτών.

Συνοπτικά, διαπιστώθηκε ότι οι υφιστάμενες γεωργικές πρακτικές έχουν σοβαρές επιπτώσεις στις ΟΥ που παρέχει το αγροοικοσύστημα, με αποτέλεσμα οι υπηρεσίες να απειλούνται σοβαρά λόγω της μείωσης ή της υποβάθμισής τους. Για τον έλεγχο των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της γεωργικής επέκτασης απαιτούνται σημαντικές επιστημονικές εξελίξεις, καθώς και ρυθμιστικές, τεχνολογικές και πολιτικές αλλαγές. Οι αυξανόμενες εισροές αγροχημικών, ενέργειας και η αλόγιστη χρήση φυσικών πόρων στις γεωργικές εκμεταλλεύσεις, επιβαρύνουν σοβαρά το περιβάλλον, θέτοντας σε κίνδυνο την βιώσιμη ανάπτυξη της γεωργίας και των ΟΥ. Η κατανόηση της συμβολής των διαφορετικών ΓΠ στο εύρος των ΟΥ θα βοηθήσει στις επιλογές των πιο επωφελών πρακτικών. Ωστόσο, για να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει να ξεπεράσσει μια μεγάλη πρόκληση, η ποσοτικοποίηση της αλληλεπίδρασής τους (Dale & Polasky, 2007).

1.3 Αναγκαιότητα της έρευνας

Η έρευνα καλείται να αναδείξει τις συνδέσεις μεταξύ της γεωργικής δραστηριότητας και της παροχής ΟΥ με μια ολιστική προσέγγιση του ζητήματος η οποία θα παρέχει νέες γνώσεις που θα μπορούν να δώσουν λύσεις σε ζητήματα με αποτελεσματικό και οικολογικά κατάλληλο τρόπο. Η αναγκαιότητα της έρευνας στηρίζεται στην προβληματική που λαμβάνει υπόψη το γεγονός της αυξανόμενης ζήτησης για γεωργικά προϊόντα, του υψηλότερου ποσοστού μονοκαλλιεργειών που κυριαρχούν στα γεωργικά τοπία και των περιβαλλοντικών προβλημάτων που προκύπτουν λόγω της εντατικοποίησης της γεωργίας, με τη συνακόλουθη μείωση ή/και υποβάθμιση των ΟΥ. Ταυτόχρονα, λαμβάνει υπόψη τα στοιχεία για την ενίσχυση των ΟΥ σε αγροοικοσυστήματα οπωρώνων τα οποία αποτελούν σημαντική πηγή πόρων, φυσικών υλών, γεωργικών προϊόντων και υπηρεσιών αναψυχής.

Η ολιστική προσέγγιση της σύνδεσης των ΓΠ με τις ΟΥ μέσω της συγκέντρωσης, καταγραφής δεδομένων σχετικά με τα χαρακτηριστικά των οπωρώνων, τις ΓΠ και της ποσοτικοποίησης περιβαλλοντικών παραμέτρων (οικολογικά αποτυπώματα) μπορεί να δώσει απαντήσεις σχετικά με την υφιστάμενη κατάσταση ΟΥ και τον προσδιορισμό των συνεργειών τους. Επιπλέον, τα αποτελέσματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον εντοπισμό των κύριων προβληματικών συνδέσεων μεταξύ των ΓΠ και ΟΥ, όπου δύνανται να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό προτεραιοτήτων και κατευθυντήριων γραμμών για τη χάραξη περιβαλλοντικής πολιτικής με βάση τις επιτόπιες μετρήσεις σε οπωρώνες στην Κύπρο, την καταγραφή και την ποσοτικοποίηση των περιβαλλοντικών πληροφοριών. Καθώς οι ΓΠ και οι ΟΥ παράγουν αγαθά από τη φύση, οι πρακτικές και υπηρεσίες δεν είναι ανεξάρτητες αλλά αλληλεξαρτώμενες και αλληλοϋποστηριζόμενες. Υπάρχει ισχυρή συσχέτιση, καθώς σε πολλές περιπτώσεις η γεωργία δεν μπορεί να υπάρξει χωρίς ορισμένες ΟΥ που παρέχονται από τη φύση και κατά συνέπεια το οικοσύστημα, (π.χ. ανάγκη για υγιή εδάφη, ποιότητα νερού, υποστήριξη της επικονίασης, βιολογικός έλεγχος από εχθρούς και ασθένειες).

Η αξιολόγηση της ικανότητας παροχής ΟΥ σε μικτούς οπωρώνες -συμβατικούς και βιολογικούς- κρίνεται αναγκαία, καθώς οι ΓΠ διαφέρουν τόσο ως προς την ένταση εφαρμογής τους, όσο και ως προς το είδος των πόρων στους οποίους βασίζονται (π.χ. συνθετικά έναντι οργανικών λιπασμάτων), οπότε η σύνδεση και οι επιδράσεις τους στις ΟΥ αναμένεται να διαφέρουν. Η διάγνωση των συνδέσεων μπορεί να υποστηρίξει την κατάσταση στην οποία οι άνθρωποι μέσω των παρεμβάσεων τους προσπαθούν να μετριάσουν τα περιβαλλοντικά ζητήματα, με εφαρμογή πρακτικών όπως η εγκατάσταση

σύγχρονων αρδευτικών δικτύων, η κατασκευή αναβαθμίδων για μείωση της διάβρωσης του εδάφους) (Gordon et al., 2010; Masseroni et al., 2020; Spangenberg et al., 2014) σε συνδυασμό, με την ικανότητα της φύσης να παρέχει τις ΟΥ που χρειάζεται ο άνθρωπος (μείωση της διάβρωσης με χρήση πολυετών φυτών με βαθιές ρίζες και εναπόθεση κλαδευμάτων στο έδαφος με συνεπακόλουθο τη συσσώρευση άνθρακα κ.α.) (Montanaro et al., 2017; Zhang et al., 2011). Οι γεωργικές πρακτικές που εφαρμόζονται στα αγροοικοσυστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επίλυση προβλημάτων και προκλήσεων και να έχουν ένα ευρύ αντίκτυπο, συμβάλλοντας στην οικοδόμηση ανθεκτικότητας και στη βελτίωση της κοινωνίας, της περιβαλλοντικής και ανθρώπινης υγείας και των οικονομιών. Αναμφίβολα, στη διεθνή επιστημονική κοινότητα επικρατεί η άποψη ότι είναι επιτακτική η ανάγκη μετάβασης σε μια πιο βιώσιμη μορφή γεωργίας μέσω της εφαρμογής ορθών γεωργικών πρακτικών (Campos et al., 2018; DeLonge et al., 2016; Tahat et al., 2020; Velten et al., 2015).

Η σημασία της παρούσας έρευνας, η οποία εστιάζει στη σύνδεση των γεωργικών πρακτικών με τις υπηρεσίες οικοσυστήματος, εντοπίζεται στο γεγονός ότι θα προσφέρει δεδομένα για την τρέχουσα κατάσταση σε ένα καθοριστικό αγροοικοσύστημα της ορεινής και ημιορεινής γεωργίας στην Κύπρο, τους μικτούς οπωρώνες, για τους οποίους δεν υπάρχουν στοιχεία και προγενέστερη έρευνα. Επιπρόσθετα, τα αποτελέσματα μπορούν να ωφελήσουν τον ευρύτερο αγροτικού τομέα και τις ΟΥ με τη γενίκευση τους τόσο σε άλλα καλλιεργητικά συστήματα στην Κύπρο, όσο και στα ίδια γεωργικά συστήματα στη Μεσόγειο. Η καινοτομία της έρευνας έγκειται επίσης στο γεγονός ότι εξετάζει ολιστικά τις βασικές ΟΥ σε σχέση με τις κύριες πρακτικές που εφαρμόζουν οι αγρότες, τόσο στα συμβατικά όσο και στα βιολογικά συστήματα καλλιέργειας. Η προσέγγιση του θέματος βασίζεται στη διερεύνηση των εφαρμοζόμενων ΓΠ και τη μέτρηση περιβαλλοντικών παραμέτρων (εδαφολογικές παράμετροι, περιβαλλοντικά αποτυπώματα, ικανότητα αποθήκευσης άνθρακα) σε μικτούς οπωρώνες και σύνδεση τους με τις ΟΥ και θα παράσχει αποτελέσματα, ενισχύοντας έτσι τη γνώση και τους μελλοντικούς σχεδιασμούς στην άσκηση της γεωργίας στο χώρο της Κύπρου αλλά και της Μεσογείου. Παράλληλα, το γεγονός ότι κινείται στα σύγχρονα πλαίσια της γεωργικής έρευνας και του επιστημονικού ενδιαφέροντος, την καθιστά επίκαιρη.

Επιλέγηκαν τα αγροοικοσυστήματα συμβατικής και βιολογικής καλλιέργειας φυλλοβόλων οπωροφόρων δένδρων, καθώς οι περιβαλλοντικές προεκτάσεις και συνδέσεις των συγκεκριμένων συστημάτων στις υπηρεσίες οικοσυστήματος γενικότερα είναι αυξημένες

και μακροπρόθεσμες, λόγω του μόνιμου χαρακτήρα τους. Τα φυλλοβόλα οπωροφόρα δένδρα αποτελούν παραδοσιακό τομέα της κυπριακής γεωργίας, συμβάλλουν στο ακαθάριστο εγχώριο προϊόν και ως πολυετείς καλλιέργειες αποτελούν ένα σταθερό σύστημα το οποίο προσφέρεται για τη μελλοντική εφαρμογή ενός μοντέλου βιώσιμης γεωργίας. Επιπρόσθετα, η επιλογή των φυλλοβόλων οπωροφόρων ως το υπό μελέτη σύστημα, έγινε προκειμένου να παραχθούν δεδομένα που θα ενισχύσουν την καλλιέργεια τους και να περιορίσουν τον κίνδυνο εγκατάλειψής τους. Λόγω των ιδιαίτερων εδαφοκλιματικών απαιτήσεων τους, εντοπίζονται σε συγκεκριμένες ζώνες καλλιέργειας (ορεινές και ημιορεινές περιοχές) γεγονός που καθιστά τους οπωρώνες αλλά και τις παρεχόμενες ΟΥ ευάλωτους στις επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής. Ενώ σε παγκόσμιο επίπεδο έχουν πραγματοποιηθεί ορισμένες έρευνες που αφορούν τις επιπτώσεις των γεωργικών πρακτικών στις ΟΥ σε οπωρώνες (Demestihis et al., 2017; Demestihis et al., 2018; Montanaro et al., 2017; Webber et al., 2022) στην Κύπρο δεν έχουν εντοπιστεί σχετικές μελέτες. Το γεγονός αυτό θεωρήθηκε ως σημαντικό ερευνητικό κενό το οποίο η προτεινόμενη μελέτη φιλοδοξεί να καλύψει.

Η παρούσα μελέτη εστιάζει στην εγγενή σύνδεση μεταξύ ΓΠ και ΟΥ και στις επιθυμητές προτάσεις προς μια περιβαλλοντική διαχείριση, καθώς προσδιορίζει και προσφέρει ποικίλα στοιχεία για την υφιστάμενη κατάσταση της γεωργίας στον τομέα της καλλιέργειας φυλλοβόλων οπωροφόρων δένδρων. Τα στοιχεία της έρευνας καλύπτουν ευρύ φάσμα πληροφοριών και αφορούν τους μικτούς οπωρώνες, την εδαφική τους κατάσταση, τη σύνδεση τους με το πλέγμα «Ενέργεια-Νερό-Τροφή-Κλίμα» και την ικανότητα τους για δέσμευση άνθρακα στο πλαίσιο πάντοτε της αλληλεξάρτησης των γεωργικών πρακτικών με τις υπηρεσίες οικοσυστήματος.

Ένα σημαντικό μέρος είναι τα δεδομένα που αφορούν στη σύνδεση των ΟΥ στα δύο υφιστάμενα καλλιεργητικά συστήματα συμβατικής και βιολογικής γεωργίας. Η παρούσα έρευνα στοχεύει να δώσει απαντήσεις στο ερώτημα αν και πώς οι υφιστάμενες μορφές άσκησης γεωργίας επηρεάζουν τις ΟΥ, έτσι ώστε οι αγρότες να είναι σε θέση να παράγουν υψηλής ποιότητας προϊόντα μελλοντικά στο πλαίσιο μιας βιώσιμης διαχείρισης των εκμεταλλεύσεων τους. Τα αποτελέσματα θα αξιοποιηθούν μελλοντικά ως στοιχεία γεωργικού σχεδιασμού καθώς επίσης και για την ανάπτυξη ενός σύγχρονου μοντέλου γεωργίας χαμηλών περιβαλλοντικών αποτυπωμάτων.

1.4 Σκοπός - Ερευνητικοί στόχοι- Ερευνητικά ερωτήματα

Ο **σκοπός** της έρευνας είναι η διερεύνηση της δυναμικής σχέσης αλληλεξάρτησης και **σύνδεσης** που υφίσταται μεταξύ των γεωργικών πρακτικών και των οικοσυστημικών υπηρεσιών των αγροοικοσυστημάτων. Αυτό επιτυγχάνεται με τη μέτρηση περιβαλλοντικών και άλλων παραμέτρων και τη χρήση ενοποιητικών πλαισίων, για δύο καλλιεργητικά συστήματα -συμβατικής και βιολογικής γεωργίας- φυλλοβόλων οπωροφόρων δενδρωδών καλλιεργειών. **Στόχοι** αποτελούν η καταγραφή της υφιστάμενης κατάστασης, η αξιολόγηση του επιπέδου παροχής των οικοσυστημικών υπηρεσιών των αγροοικοσυστημάτων και της συμβολή τους στον μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής.

Τα κύρια **ερευνητικά ερωτήματα** είναι:

1. Πώς επηρεάζονται οι ΟΥ από τις ΓΠ που εφαρμόζουν οι αγρότες κατά την άσκηση της γεωργίας στην Κύπρο, καθώς και ποιες ΓΠ υποστηρίζουν ή ασκούν πιέσεις στην παροχή ΟΥ σε μικτούς οπωρώνες;
2. Ποιο είναι το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της άσκησης της γεωργίας στα υπό μελέτη συστήματα, αναφορικά με τις ΟΥ και ποια είναι η σύνδεση με το πλέγμα Νερό-Ενέργεια-Τροφή-Κλίμα;
3. Υπάρχει διαφορά στην αποθήκευση άνθρακα μεταξύ των δύο καλλιεργητικών συστημάτων βιολογικής και συμβατικής γεωργίας όπως αποτυπώνονται με τη χρήση αλλομετρικών εξισώσεων, και αν ναι εξαρτάται από τη μέθοδο υπολογισμού;

Η παρούσα έρευνα επιχειρεί να διερευνήσει για πρώτη φορά σε ορεινά και ημιορεινά αγροοικοσυστήματα οπωρώνων φυλλοβόλων στην Κύπρο τις επιδράσεις των **γεωργικών πρακτικών** στις παραγόμενες **οικοσυστημικές υπηρεσίες** σε δύο συστήματα συμβατικής και βιολογικής γεωργίας. Η **ερευνητική υπόθεση** της διατριβής με βάση και τα ευρήματα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης θεωρεί ότι συνολικά οι οικοσυστημικές υπηρεσίες στα συστήματα συμβατικής γεωργίας αναμένεται να είναι υποβαθμισμένες σε σχέση με τα συστήματα βιολογικής γεωργίας. Η υποβάθμιση των υποστηρικτικών και ρυθμιστικών υπηρεσιών αναμένεται λόγω των εντατικών γεωργικών πρακτικών και των αυξημένων εισροών φυτοπροστατευτικών ουσιών και συνθετικών λιπασμάτων. Επίσης, τα αποτελέσματα ενδέχεται να υποδείξουν την ανάγκη για ένα νέο «ενδιάμεσο» μοντέλο άσκησης γεωργίας που θα είναι σε θέση να στηρίξει και να ενισχύει την παροχή οικοσυστημικών υπηρεσιών, με βάση την επιλογή κατάλληλων γεωργικών πρακτικών.

1.5 Δομή της Διατριβής

Το **Κεφάλαιο 2** εισάγει τις κύριες έννοιες που χρησιμοποιούνται στη διατριβή, προσδιορίζει τις συγκεκριμένες πτυχές τις οποίες πραγματεύεται και κάνει μια ιστορική αναδρομή των θεωρητικών και εννοιολογικών προσεγγίσεων που αφορούν στα καλλιεργητικά συστήματα, γεωργικές πρακτικές και οικοσυστημικές υπηρεσίες. Παράλληλα γίνεται μια εκτενής βιβλιογραφική ανασκόπηση των ζητημάτων με έμφαση στη σύνδεση των οικοσυστημικών υπηρεσιών και του περιβαλλοντικού αποτυπώματος στα αγροοικοσυστήματα.

Το **Κεφάλαιο 3** εξετάζει τις οικοσυστημικές υπηρεσίες που παρέχονται από 52 μικτούς οπωρώνες σε βιολογικά και συμβατικά αγροκτήματα. Οι στόχοι ήταν: α) η ανάπτυξη ενός πλαισίου για τη σύνδεση των γεωργικών πρακτικών, των χαρακτηριστικών των οπωρώνων και των εδαφικών ιδιοτήτων με τις για οικοσυστημικές υπηρεσίες σε βιολογικούς και συμβατικούς μικτούς οπωρώνες β) η σύγκριση των γεωργικών πρακτικών, των χαρακτηριστικών και των ιδιοτήτων του εδάφους σε μικτούς βιολογικούς και συμβατικούς οπωρώνες και γ) η χρήση των αποτελεσμάτων για τον προσδιορισμό των γεωργικών πρακτικών, των χαρακτηριστικών και των ιδιοτήτων του εδάφους, που υποστηρίζουν την παροχή οικοσυστημικών υπηρεσιών σε μικτούς οπωρώνες.

Το **Κεφάλαιο 4** τοποθετεί τις οικοσυστημικές υπηρεσίες στους οπωρώνες στο πλέγμα Νερού-Ενέργειας-Τροφής-Κλίματος (NETK), μέσω της χρήσης δεικτών όπως είναι το αποτύπωμα άνθρακα. Αναδεικνύει ποιες πρακτικές διαχείρισης υποστηρίζουν καλύτερα τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής και αναπτύσσει μια προσέγγιση η οποία επιτρέπει την ταχεία σύνδεση μεταξύ NETK και ΟΥ και την υποστήριξη της λήψης αποφάσεων σχετικών με τη χρήση εισροών και των παρεχόμενων ΟΥ των αγροοικοσυστημάτων.

Το **Κεφάλαιο 5** εξετάζει τις διαφορές στην αποθήκευση του άνθρακα στα δύο καλλιεργητικά συστήματα τα οποία εξετάστηκαν. Εφαρμόστηκαν έξι μέθοδοι για την εκτίμηση της βιομάζας των δέντρων οι οποίες βασίζονται σε αλλομετρικές εξισώσεις και προτείνεται μια απλή αποτελεσματική και αποδοτική μέθοδος για την εκτίμηση της δέσμευσης CO₂ από μικτούς οπωρώνες χρησιμοποιώντας ευκόλως μετρήσιμα βιομετρικά χαρακτηριστικά των δέντρων.

Το **Κεφάλαιο 6** αποτελεί σύνθεση των κύριων ευρημάτων της μελέτης και συζητά τις προεκτάσεις αυτών για την εφαρμογή της γεωργίας στους μικτούς οπωρώνες. Παράλληλα,

αξιολογεί τη χρησιμοποιούμενη μεθοδολογία και τη δυνατότητα εφαρμογής της σε άλλες παρόμοιες γεωγραφικές περιοχές και καλλιεργητικά συστήματα.

Βιβλιογραφία

- Afra, Z. G., Rezapour, S., Sabbaghtazeh, E., Dalalian, M., & Rafieyan, O. (2022). Long-term orchard practice affects the ecological and human health risk of soil heavy metals in a calcareous environment. *Environmental Monitoring and Assessment*, *194*(6). <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10084-x>
- Ågren G. I., & Andersson, F. O. (2012). *Terrestrial ecosystem ecology: principles and applications*. Cambridge Cambridge University Press.
- Almagro, M., de Vente, J., Boix-Fayos, C., García-Franco, N., Melgares de Aguilar, J., González, D., Solé-Benet, A., & Martínez-Mena, M. (2013). Sustainable land management practices as providers of several ecosystem services under rainfed Mediterranean agroecosystems. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. <https://doi.org/10.1007/s11027-013-9535-2>
- Altieri, M. A., Nicholls, C. I., Henao, A., & Lana, M. A. (2015). Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. *Agronomy for Sustainable Development*, *35*(3), 869–890. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0285-2>
- Amsalu, A., & de Graaff, J. (2006). Farmers' Views of Soil Erosion Problems and their Conservation Knowledge at Beressa Watershed, Central Highlands of Ethiopia. *Agriculture and Human Values*, *23*(1), 99–108. <https://doi.org/10.1007/s10460-005-5872-4>
- Arora, N. K. (2019). Impact of climate change on agriculture production and its sustainable solutions. *Environmental Sustainability*, *2*(2), 95–96. <https://doi.org/10.1007/s42398-019-00078-w>
- Barbera, G., & Cullotta, S. (2016). The Traditional Mediterranean Polycultural Landscape as Cultural Heritage: Its Origin and Historical Importance, Its AgroSilvoPastoral Complexity and the Necessity for Its Identification and Inventory. In M. Agnoletti & F. Emanuelli (Eds.), *Biocultural Diversity in Europe* (pp. 21–48). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/9783319263151_2
- Bell, A., Matthews, N., & Zhang, W. (2016). Opportunities for Improved Promotion of Ecosystem Services in Agriculture under the Water-Energy-Food Nexus. *J Environ Stud Sci*, *6*, 183–191. <https://doi.org/10.1007/s13412-016-0366-9>.
- Bennett, E. M., & Balvanera, P. (2007). The future of production systems in a globalized world. *Frontiers in Ecology and the Environment*, *5*(4), 191–198. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2007\)5%5B191:tfopsi%5D2.0.co;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2007)5%5B191:tfopsi%5D2.0.co;2)
- Bodirsky, B. L., Rolinski, S., Biewald, A., Weindl, I., Popp, A., & Lotze-Campen, H. (2015). Global Food Demand Scenarios for the 21st Century. *PLOS ONE*, *10*(11), e0139201.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0139201>

- Bundschuh, J., & Chen, G. (2014). *Sustainable energy solutions in agriculture*. Crc Press, Taylor & Francis Group.
- Campos, E. V. R., Proença, P. L. F., Oliveira, J. L., Bakshi, M., Abhilash, P. C., & Fraceto, L. F. (2018). Use of botanical insecticides for sustainable agriculture: Future perspectives. *Ecological Indicators*. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.04.038>
- Chopin, P., Bergkvist, G., & Hossard, L. (2019). Modelling biodiversity change in agricultural landscape scenarios - A review and prospects for future research. *Biological Conservation*, 235, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.03.046>
- Conway, G. R. (1987). The properties of agroecosystems. *Agricultural Systems*, 24(2), 95–117. [https://doi.org/10.1016/0308-521x\(87\)90056-4](https://doi.org/10.1016/0308-521x(87)90056-4)
- Coupe, R. H., Barlow, J. R. B., & Capel, P. D. (2012). Complexity of human and ecosystem interactions in an agricultural landscape. *Environmental Development*, 4, 88–104. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2012.09.009>
- Crews, T. E., Carton, W., & Olsson, L. (2018). Is the future of agriculture perennial? Imperatives and opportunities to reinvent agriculture by shifting from annual monocultures to perennial polycultures. *Global Sustainability*, 1. <https://doi.org/10.1017/sus.2018.11>
- Dale, V. H., & Polasky, S. (2007). Measures of the effects of agricultural practices on ecosystem services. *Ecological Economics*, 64(2), 286–296. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.05.009>
- Daniel, T. C., Muhar, A., Arnberger, A., Aznar, O., Boyd, J. W., Chan, K. M. A., Costanza, R., Elmqvist, T., Flint, C. G., Gobster, P. H., Gret-Regamey, A., Lave, R., Muhar, S., Penker, M., Ribe, R. G., Schauppenlehner, T., Sikor, T., Soloviy, I., Spierenburg, M., & Taczanowska, K. (2012). Contributions of cultural services to the ecosystem services agenda. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(23), 8812–8819. <https://doi.org/10.1073/pnas.1114773109>
- Dardonville, M., Legrand, B., Clivot, H., Bernardin, C., Bockstaller, C., & Therond, O. (2022). Assessment of ecosystem services and natural capital dynamics in agroecosystems. *Ecosystem Services*, 54, 101415. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2022.101415>
- Davari, M., Ram, M., Tewari, J., & Kaushish, S. (2010). Impact of agricultural practice on ecosystem services. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 1(1), 11–23.
- de Groot, R. S., Alkemade, R., Braat, L., Hein, L., & Willemen, L. (2010). Challenges in

- integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological Complexity*, 7(3), 260–272. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2009.10.006>
- DeClerck, F., Jones, S., Attwood, S., Bossio, D., Girvetz, E., Chaplin-Kramer, B., Enfors, E., Fremier, A., Gordon, L., Kizito, F., Lopez Noriega, I., Matthews, N., McCartney, M., Meacham, M., Noble, A., Quintero, M., Remans, R., Soppe, R., Willems, L., & Wood, S. (2016). Agricultural ecosystems and their services: the vanguard of sustainability? *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 23, 92–99. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2016.11.016>
- DeLonge, M. S., Miles, A., & Carlisle, L. (2016). Investing in the transition to sustainable agriculture. *Environmental Science & Policy*, 55, 266–273. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.09.013>
- Demestihias, C., Plénet, D., Génard, M., Garcia de Cortazar-Atauri, I., Launay, M., Ripoché, D., Beaudoin, N., Simon, S., Charreyron, M., Raynal, C., & Lescourret, F. (2018). Analyzing ecosystem services in apple orchards using the STICS model. *European Journal of Agronomy*, 94, 108–119. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.01.009>
- Demestihias, C., Plénet, D., Génard, M., Raynal, C., & Lescourret, F. (2017). Ecosystem services in orchards. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(2). <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0422-1>
- Demestihias, C., Plénet, D., Génard, M., Raynal, C., & Lescourret, F. (2019). A Simulation Study of Synergies and Tradeoffs between Multiple Ecosystem Services in Apple Orchards. *Journal of Environmental Management*, 236, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.01.073>.
- Dijk, van, Saghai, Y., Rau, M., & Morley, T. (2020). Global Food Demand Projections: A Review. In *Feeding the World Well: A Framework for Ethical Food Systems* (pp. 98–124). Johns Hopkins University Press.
- European Union. (2022a). *CAP at a glance*. https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy/cap-overview/cap-glance_en
- European Union. (2022b). *From farm to fork*. <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/from-farm-to-fork/>
- Eyhorn, F., Muller, A., Reganold, J. P., Frison, E., Herren, H. R., Luttikholt, L., Mueller, A., Sanders, J., Scialabba, N. E.-H., Seufert, V., & Smith, P. (2019). Sustainability in global agriculture driven by organic farming. *Nature Sustainability*, 2(4), 253–255. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0266-6>
- FAO. (2022). *Land use statistics and indicators. Global, regional and country trends, 2000–*

2020. *FAOSTAT Analytical Brief, no. 48*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0963en>
- Flies, E. J., Brook, B. W., Blomqvist, L., & Buettel, J. C. (2018). Forecasting future global food demand: A systematic review and meta-analysis of model complexity. *Environment International*, *120*, 93–103. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.07.019>
- Folke, C., Carpenter, S., Elmqvist, T., Gunderson, L., Holling, C. S., & Walker, B. (2002). Resilience and Sustainable Development: Building Adaptive Capacity in a World of Transformations. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, *31*(5), 437–440. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-31.5.437>
- Fu, Q., Li, B., Hou, Y., Bi, X., & Zhang, X. (2017). Effects of land use and climate change on ecosystem services in Central Asia's arid regions: A case study in Altay Prefecture, China. *Science of the Total Environment*, *607-608*, 633–646. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.241>
- Galic, N., Schmolke, A., Forbes, V., Baveco, H., & van den Brink, P. J. (2012). The role of ecological models in linking ecological risk assessment to ecosystem services in agroecosystems. *Science of the Total Environment*, *415*, 93–100. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.05.065>
- Garbach, K., Milder, J. C., Montenegro, M., Karp, D. S., & DeClerck, F. A. J. (2014). Biodiversity and Ecosystem Services in Agroecosystems. *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*, 21–40. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-52512-3.00013-9>
- Garnett, T., Appleby, M. C., Balmford, A., Bateman, I. J., Benton, T. G., Bloomer, P., Burlingame, B., Dawkins, M., Dolan, L., Fraser, D., Herrero, M., Hoffmann, I., Smith, P., Thornton, P. K., Toulmin, C., Vermeulen, S. J., & Godfray, H. C. J. (2013). Sustainable Intensification in Agriculture: Premises and Policies. *Science*, *341*(6141), 33–34. <https://doi.org/10.1126/science.1234485>
- Gavrilescu, M. (2021). Water, Soil, and Plants Interactions in a Threatened Environment. *Water*, *13*(19), 2746. <https://doi.org/10.3390/w13192746>
- Gibbons, D., Morrissey, C., & Mineau, P. (2014). A review of the direct and indirect effects of neonicotinoids and fipronil on vertebrate wildlife. *Environmental Science and Pollution Research*, *22*(1), 103–118. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3180-5>
- Gladstone-Gallagher, R. V., Tylianakis, J. M., Yletyinen, J., Dakos, V., Douglas, E. J., Greenhalgh, S., Hewitt, J. E., Hikuroa, D., Lade, S. J., Heron, L., Norkko, A., George, P., Pilditch, C. A., Schiel, D., Siwicka, E., Warburton, H., & Thrush, S. F. (2022). Social–ecological connections across land, water, and sea demand a reprioritization

- of environmental management. *Elementa: Science of the Anthropocene*, 10, 1. <https://doi.org/10.1525/elementa.2021.00075>
- Gordon, L. J., Finlayson, C. M., & Falkenmark, M. (2010). Managing water in agriculture for food production and other ecosystem services. *Agricultural Water Management*, 97(4), 512–519. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.03.017>
- Haines-Young, R., & Potschin, M. (2018). *Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure* (p. 53). Fabis Consulting. <https://cices.eu/content/uploads/sites/8/2018/01/Guidance-V51-01012018.pdf>
- Howden, S. M., Soussana, J. F., Tubiello, F. N., Chhetri, N., Dunlop, M., & Meinke, H. (2007). Adapting agriculture to climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(50), 19691–19696. <https://doi.org/10.1073/pnas.0701890104>
- Iverson, A. L., Marín, L. E., Ennis, K. K., Gonthier, D. J., Connor-Barrie, B. T., Remfert, J. L., Cardinale, B. J., & Perfecto, I. (2014). REVIEW: Do polycultures promote win-wins or trade-offs in agricultural ecosystem services? A meta-analysis. *Journal of Applied Ecology*, 51(6), 1593–1602. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12334>
- Kennedy, C. M., Lonsdorf, E., Neel, M. C., Williams, N. M., Ricketts, T. H., Winfree, R., Bommarco, R., Brittain, C., Burley, A. L., Cariveau, D., Carvalheiro, L. G., Chacoff, N. P., Cunningham, S. A., Danforth, B. N., Dudenhöffer, J.-H., Elle, E., Gaines, H. R., Garibaldi, L. A., Gratton, C., & Holzschuh, A. (2013). A global quantitative synthesis of local and landscape effects on wild bee pollinators in agroecosystems. *Ecology Letters*, 16(5), 584–599. <https://doi.org/10.1111/ele.12082>
- Kopittke, P. M., Menzies, N. W., Wang, P., McKenna, B. A., & Lombi, E. (2019). Soil and the intensification of agriculture for global food security. *Environment International*, 132. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105078>
- Lasanta, T., Errea, M. P., & Nadal-Romero, E. (2017). Traditional Agrarian Landscape in the Mediterranean Mountains. A Regional and Local Factor Analysis in the Central Spanish Pyrenees. *Land Degradation & Development*, 28, 1626–1640. <https://doi.org/10.1002/ldr.2695>
- Lassaletta, L., Billen, G., Garnier, J., Bouwman, L., Velazquez, E., Mueller, N. D., & Gerber, J. S. (2016). Nitrogen use in the global food system: past trends and future trajectories of agronomic performance, pollution, trade, and dietary demand. *Environmental Research Letters*, 11(9), 095007. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/9/095007>
- Lescourret, F., Magda, D., Richard, G., Adam-Blondon, A.-F., Bardy, M., Baudry, J.,

- Doussan, I., Dumont, B., Lefèvre, F., Litrico, I., Martin-Clouaire, R., Montuelle, B., Pellerin, S., Plantegenest, M., Tancoigne, E., Thomas, A., Guyomard, H., & Soussana, J.-F. (2015). A social–ecological approach to managing multiple agroecosystem services. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, *14*, 68–75. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2015.04.001>
- Letourneau, D. K., Armbrecht, I., Rivera, B. S., Lerma, J. M., Carmona, E. J., Daza, M. C., Escobar, S., Galindo, V., Gutiérrez, C., López, S. D., Mejía, J. L., Rangel, A. M. A., Rangel, J. H., Rivera, L., Saavedra, C. A., Torres, A. M., & Trujillo, A. R. (2011). Does plant diversity benefit agroecosystems? A synthetic review. *Ecological Applications*, *21*(1), 9–21. <https://doi.org/10.1890/09-2026.1>
- Loboguerrero, A. M., Campbell, B., Cooper, P., Hansen, J., Rosenstock, T., & Wollenberg, E. (2019). Food and Earth Systems: Priorities for Climate Change Adaptation and Mitigation for Agriculture and Food Systems. *Sustainability*, *11*(5), 1372. <https://doi.org/10.3390/su11051372>
- Lü, Y., Lü, D., Gao, G., & Fu, B. (2021). A holistic framework for facilitating environmental and human health. *Geography and Sustainability*, *2*(4), 298–303. <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2021.12.001>
- Manolaki, P., Zotos, S., & Vogiatzakis, I. N. (2020). An Integrated Ecological and Cultural Framework for Landscape Sensitivity Assessment in Cyprus. *Land Use Policy*, *92*, 104336. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104336>
- Markhi, A., Laftouhi, N., Grusson, Y., & Soulaïmani, A. (2019). Assessment of Potential Soil Erosion and Sediment Yield in the Semi-Arid N0fis Basin (High Atlas, Morocco) Using the SWAT Model. *Acta Geophys.*, *67*, 263–272. <https://doi.org/10.1007/s11600-019-00251-z>.
- Marshall, E. J. P. (2004). Agricultural Landscapes. *Journal of Crop Improvement*, *12*(1-2), 365–404. https://doi.org/10.1300/j411v12n01_05
- Masseroni, D., Arbat, G., & de Lima, I. P. (2020). Editorial—Managing and Planning Water Resources for Irrigation: Smart-Irrigation Systems for Providing Sustainable Agriculture and Maintaining Ecosystem Services. *Water*, *12*(1), 263. <https://doi.org/10.3390/w12010263>
- Massol, F., & Petit, S. (2013). Chapter five - Interaction networks in agricultural landscape mosaics. In G. Woodward & D. A. Bohan (Eds.), *Ecological Networks in an Agricultural World* (Vol. 49, pp. 291–338). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-420002-9.00005-6>
- Maxwell, S. (1986). Farming systems research: hitting a moving target. *World Development*,

14(1), 65–77.

- McKenna, T. P., Crews, T. E., Kemp, L., & Sikes, B. A. (2020). Community structure of soil fungi in a novel perennial crop monoculture, annual agriculture, and native prairie reconstruction. *PLOS ONE*, 15(1), e0228202. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0228202>
- Mendivil-Garcia, K., Amabilis-Sosa, L. E., Rodríguez-Mata, A. E., Rangel-Peraza, J. G., Gonzalez-Huitron, V., & Cedillo-Herrera, C. I. G. (2020). Assessment of intensive agriculture on water quality in the Culiacan River basin, Sinaloa, Mexico. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(23), 28636–28648. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08653-z>
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press.
- Montanaro, G., Xiloyannis, C., Nuzzo, V., & Dichio, B. (2017). Orchard management, soil organic carbon and ecosystem services in Mediterranean fruit tree crops. *Scientia Horticulturae*, 217, 92–101. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.01.012>
- Muiruri, V., Marchant, R., Rucina, S. M., Scott, L., & Lane, P. J. (2021). Late Holocene environmental change and anthropogenic: Ecosystem interaction on the Laikipia Plateau, Kenya. *Ambio*, 51(3), 785–798. <https://doi.org/10.1007/s13280-021-01554-6>
- Poggi, S., Vinatier, F., Hannachi, M., Sanz Sanz, E., Rudi, G., Zamberletti, P., Tixier, P., & Papaix, J. (2021). How can models foster the transition towards future agricultural landscapes? *Advances in Ecological Research*, 305–368. <https://doi.org/10.1016/bs.aecr.2020.11.004>
- Qi, X., Wang, R. Y., Li, J., Zhang, T., Liu, L., & He, Y. (2018). Ensuring food security with lower environmental costs under intensive agricultural land use patterns: A case study from China. *Journal of Environmental Management*, 213, 329–340. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.02.048>
- Randall, N., & Smith, B. (2019). *The Biology of Agroecosystems*. Oxford University Press.
- Reganold, J. P., & Wachter, J. M. (2016). Organic agriculture in the twenty-first century. *Nature Plants*, 2(2). <https://doi.org/10.1038/nplants.2015.221>
- Rehman, A., Farooq, M., Lee, D.-J., & Siddique, K. H. M. (2022). Sustainable agricultural practices for food security and ecosystem services. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(56), 84076–84095. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23635-z>
- Samnegård, U., Alins, G., Boreux, V., Bosch, J., García, D., Happe, A., Klein, A., Miñarro,

- M., Mody, K., Porcel, M., Rodrigo, A., Roquer-Beni, L., Tasin, M., & Hambäck, P. A. (2018). Management trade-offs on ecosystem services in apple orchards across Europe: Direct and indirect effects of organic production. *Journal of Applied Ecology*, *56*(4), 802–811. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13292>
- Sánchez-Bayo, F., & Wyckhuys, K. A. G. (2019). Worldwide Decline of the entomofauna: a Review of Its Drivers. *Biological Conservation*, *232*(232), 8–27. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.01.020>
- Shipley, N. J., Johnson, D. N., van Riper, C. J., Stewart, W. P., Chu, M. L., Suski, C. D., Stein, J. A., & Shew, J. J. (2020). A deliberative research approach to valuing agroecosystem services in a worked landscape. *Ecosystem Services*, *42*, 101083. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101083>
- Spangenberg, J. H., Görg, C., Truong, D. T., Tekken, V., Bustamante, J. V., & Settele, J. (2014). Provision of ecosystem services is determined by human agency, not ecosystem functions. Four case studies. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, *10*(1), 40–53. <https://doi.org/10.1080/21513732.2014.884166>
- Stallman, H. R. (2011). Ecosystem services in agriculture: Determining suitability for provision by collective management. *Ecological Economics*, *71*, 131–139. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.08.016>
- Stuligross, C., & Williams, N. M. (2020). Pesticide and resource stressors additively impair wild bee reproduction. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, *287*(1935), 20201390. <https://doi.org/10.1098/rspb.2020.1390>
- Swift, D. M., Boone, R. B., Coughenour, M. B., & Newman, G. (2021). Humans in Ecosystems. *Natural Resource Management Reimagined*, 279–299. <https://doi.org/10.1017/9781108655354.010>
- Tahat, M. M., Alananbeh, K. M., Othman, Y. A., & Leskovar, D. I. (2020). Soil Health and Sustainable Agriculture. *Sustainability*, *12*(12), 4859. <https://doi.org/10.3390/su12124859>
- Tancoigne, E., Barbier, M., Cointet, J.-P., & Richard, G. (2014). The place of agricultural sciences in the literature on ecosystem services. *Ecosystem Services*, *10*, 35–48. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.07.004>
- Tian, X., Engel, B. A., Qian, H., Hua, E., Sun, S., & Wang, Y. (2021). Will reaching the maximum achievable yield potential meet future global food demand? *Journal of Cleaner Production*, *294*, 126285. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126285>
- Tsiafouli, M. A., Thébault, E., Sgardelis, S. P., de Ruiter, P. C., van der Putten, W. H.,

- Birkhofer, K., Hemerik, L., de Vries, F. T., Bardgett, R. D., Brady, M. V., Bjornlund, L., Jørgensen, H. B., Christensen, S., Hertefeldt, T. D., Hotes, S., Gera Hol, W. H., Frouz, J., Liiri, M., Mortimer, S. R., & Setälä, H. (2015). Intensive agriculture reduces soil biodiversity across Europe. *Global Change Biology*, *21*(2), 973–985. <https://doi.org/10.1111/gcb.12752>
- Tusznio, J., Pietrzyk-Kaszyńska, A., Rechciński, M., Olszańska, A., & Grodzińska-Jurczak, M. (2020). Application of the ecosystem services concept at the local level – Challenges, opportunities, and limitations. *Ecosystem Services*, *42*, 101077. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101077>
- Tzilivakis, J., Lewis, K. A., Green, A., & Warner, D. J. (2011). A novel technique for identifying environmental outcomes from agricultural practices. *Impact Assessment and Project Appraisal*, *29*(1), 2–10. <https://doi.org/10.3152/146155111x12913679730791>
- United Nations. (2022). *The 17 Sustainable Development Goals*. United Nations. <https://sdgs.un.org/goals>
- Velten, S., Leventon, J., Jager, N., & Newig, J. (2015). What Is Sustainable Agriculture? A Systematic Review. *Sustainability*, *7*(6), 7833–7865. <https://doi.org/10.3390/su7067833>
- Vermeulen, S. J., Campbell, B. M., & John S.I. Ingram. (2012). Climate Change and Food Systems. *Annual Review of Environment and Resources*, *37*(1), 195–222. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-020411-130608>
- Viana, C. M., Freire, D., Abrantes, P., Rocha, J., & Pereira, P. (2022). Agricultural land systems importance for supporting food security and sustainable development goals: A systematic review. *Science of the Total Environment*, *806*, 150718. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150718>
- Vitousek, P. M., Naylor, R., Crews, T., David, M. B., Drinkwater, L. E., Holland, E., Johnes, P. J., Katzenberger, J., Martinelli, L. A., Matson, P. A., Nziguheba, G., Ojima, D., Palm, C. A., Robertson, G. P., Sanchez, P. A., Townsend, A. R., & Zhang, F. S. (2009). Nutrient Imbalances in Agricultural Development. *Science*, *324*(5934), 1519–1520. <https://doi.org/10.1126/science.1170261>
- Webber, S. M., Bailey, A. P., Huxley, T., Potts, S. G., & Lukac, M. (2022). Traditional and cover crop-derived mulches enhance soil ecosystem services in apple orchards. *Applied Soil Ecology*, *178*, 104569. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104569>
- Xia, C., Liu, Z., Suo, X., & Cao, S. (2020). Quantifying the net benefit of land use of fruit trees in China. *Land Use Policy*, *90*, 104276.

<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104276>

Zhang, Y., Li, Y., Jiang, L., Tian, C., Li, J., & Xiao, Z. (2011). Potential of Perennial Crop on Environmental Sustainability of Agriculture. *Procedia Environmental Sciences*, *10*, 1141–1147. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2011.09.182>

Zhu, W., Wang, S., & Caldwell, C. D. (2012). Pathways of assessing agroecosystem health and agroecosystem management. *Acta Ecologica Sinica*, *32*(1), 9–17. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2011.11.001>

Κεφάλαιο 2

Εννοιολογικό πλαίσιο και βασικά ζητήματα

2.1 Αγροοικοσυστήματα

2.1.1 Γενικά

Ένα φυσικό οικοσύστημα ορίζεται ως ένα δυναμικό, πολύπλοκο σύστημα φυτών, ζώων, κοινοτήτων μικροοργανισμών και αβιοτικών στοιχείων, τα οποία αλληλεπιδρούν ως μια λειτουργική μονάδα (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Ένα υγιές και καλά οργανωμένο οικοσύστημα έχει την ικανότητα να διατηρεί μια δυναμική ισορροπία στο χώρο και στο χρόνο, υποστηρίζοντας τη δομή (οργάνωση) και τις λειτουργίες του (ζωτικότητα), εν μέσω εξωτερικών πιέσεων, (Hernández-Blanco et al., 2022) παρέχοντας ένα εύρος οικοσυστημικών υπηρεσιών (ΟΥ) που αξιοποιούνται για την κάλυψη των κοινωνικών αναγκών (Peng et al., 2015). Η πολυπλοκότητα και ποικιλομορφία των λειτουργιών και υπηρεσιών συχνά χαρακτηρίζει κάθε οικοσύστημα στο οποίο αναπτύσσονται σχέσεις μεταξύ των βιοτικών στοιχείων και του περιβάλλοντός τους (Manning et al., 2018). Τα φυσικά οικολογικά συστήματα παρέχουν ένα μοντέλο επιβίωσης και σταθερότητας στο οποίο τα δεδομένα και οι πληροφορίες από τις αλληλεπιδράσεις που συλλέγονται από αυτά μπορούν να συνδυαστούν με προσεκτικές ανθρώπινες παρεμβάσεις για το σχεδιασμό μελλοντικών αγροοικοσυστημάτων (Desai & Pujari, 2014).

Τα αγροοικοσυστήματα αποτελούν διαχειριζόμενα συστήματα από τον άνθρωπο με σκοπό τη γεωργική παραγωγή, τα οποία παρέχουν και στηρίζονται σε ένα πλήθος ΟΥ (Nieto-Romero et al., 2014). Όπως αναφέρει ο Marten (1988) ένα αγροτικό οικοσύστημα είναι ένα σύμπλεγμα που αποτελείται από τον αέρα, το νερό, το έδαφος, τα φυτά, τα ζώα, τους μικροοργανισμούς και οτιδήποτε άλλο σε μια περιορισμένη περιοχή που ο άνθρωπος έχει τροποποιήσει με σκοπό την παραγωγή τροφής. Όπως και στα φυσικά οικοσυστήματα, κάθε

χωρικά και λειτουργικά συνεκτική μονάδα γεωργικής δραστηριότητας χαρακτηρίζεται από τη βιοφυσική δομή της. Αυτή περιλαμβάνει τα βιοτικά και αβιοτικά στοιχεία και τις αλληλεπιδράσεις τους που συνδέονται με κύκλους θρεπτικών στοιχείων και δυναμικές ροές ενέργειας, στοιχεία απαραίτητα για τη σίτιση του παγκόσμιου πληθυσμού (Gingrich et al., 2018; Karimi et al., 2020). Τα αγροοικοσυστήματα μπορεί να κυμαίνονται από αρδευόμενες έως ξηρικές εκτάσεις με οπωρώνες, βοσκοτόπια, σιτηρά, κτηνοτροφικά φυτά, αμπελώνες και άλλους τύπους καλλιεργειών (Ramankutty et al., 2018; Timsuksai & Rambo, 2016). Οργανώνονται για την παραγωγή τροφίμων, ινών, καύσιμων και άλλων προϊόντων για ανθρώπινη κατανάλωση και μεταποίηση (Allen et al., 2022; Wratten et al., 2013).

Οι βασικές διεργασίες των φυσικών οικοσυστημάτων όπως η ροή ενέργειας, ο κύκλος των θρεπτικών στοιχείων, οι μηχανισμοί ρύθμισης πληθυσμών και η δυναμική ισορροπία, μεταβάλλονται συχνά και απρόβλεπτα κατά τη μετατροπή τους σε αγροοικοσυστήματα (Frow et al., 2016; Harris, 2017). Τα αγροοικοσυστήματα είναι ανοικτά συστήματα, με εισροές όπως ορυκτών καυσίμων, λιπασμάτων και αγροχημικών και εκροές τροφής αλλά και εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και άλλων ρύπων (Gliessman, 2016; Smith, 2013). Επιπρόσθετα, χαρακτηρίζονται από τη διατάραξη της βιοποικιλότητας καθώς κατά τη μετατροπή των φυσικών οικοσυστημάτων σε αγροοικοσυστήματα η ποικιλότητα άγριας ζωής περιορίζεται σε ορισμένα είδη φυτών, εντόμων και ζιζανίων, αλλά επιπλέον, η βιοποικιλότητα μεταβάλλεται και κατά τη διαχείριση τους (Chopin et al., 2019; Eyre et al., 2016).

Δύο σημαντικές ιδιότητες που σχετίζονται με τα αγροοικοσυστήματα και την υγεία τους είναι η παραγωγικότητα και η αειφορία (Lu et al., 2015). Η παραγωγικότητα ορίζεται ως η αξία των προϊόντων ανά μονάδα εισροών των πόρων μετρούμενη ως παραγωγή ή/το εισόδημα ανά εκτάριο. Η αειφορία σχετίζεται με την ικανότητα του αγροοικοσυστήματος να διατηρήσει την παραγωγικότητα του σε βάθος χρόνου χωρίς να υποβαθμίζεται σημαντική υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Η παραγωγικότητα συνδέεται με την ικανότητα αξιόπιστης παραγωγής αρκετών τροφίμων, καυσίμων και ινών ενώ, από την άλλη πλευρά η αειφορία σχετίζεται με τη μακροπρόθεσμη διατήρηση των υπηρεσιών και αγαθών του οικοσυστήματος (Peterson et al., 2018).

Όταν επεκτείνουμε την έννοια του φυσικού οικοσυστήματος στη γεωργία, μπορούμε πέρα από την αρχική εστίαση στις εύκολα μετρήσιμες εκροές του αγροοικοσυστήματος (απόδοση ή οικονομική απόδοση), να εξετάσουμε περαιτέρω ένα σύνθετο σύνολο αλληλεπιδράσεων

(βιολογικών, φυσικών, χημικών, οικολογικών και πολιτιστικών) που καθορίζουν τις διεργασίες που είναι απαραίτητες για τη διατήρηση των αποδόσεων (Ford Denison & McGuire, 2015; Gliessman, 2016). Οι βασικές οικολογικές διεργασίες (ανταγωνισμός, θήρευση κ.α.) παραμένουν ακόμη στα αγροοικοσυστήματα, αλλά πλέον επικαλύπτονται και ρυθμίζονται από τις γεωργικές πρακτικές της εκάστοτε καλλιέργειας, όπως η κατεργασία, η συγκομιδή κ.ά. και απαιτούν ορθό σχεδιασμό για τη μεγιστοποίηση των ωφελειών και των ΟΥ που παρέχουν (Lescouret et al., 2015).

Τα φυσικά οικοσυστήματα και τα αγροοικοσυστήματα συμβάλουν στην ανθρώπινη ευημερία παρέχοντας υπηρεσίες, όπως, μεταξύ άλλων, την παραγωγή των τροφίμων και ινών, την αναγέννηση και γονιμότητα του εδάφους, την παροχή νερού, τον έλεγχο των πλημμυρών, την ανακύκλωση των θρεπτικών στοιχείων και την επικονίαση των καλλιεργειών (Costanza et al., 2014; Dardonville et al., 2022; Shipley et al., 2020). Παρόλο που τα αγροοικοσυστήματα έχουν σαφή φυσικά όρια λόγω του τρόπου με τον οποίο ο άνθρωπος ορίζει τις δραστηριότητες του και τα όρια που καθορίζει στα αγροτεμάχια, δεν περιορίζονται στον άμεσο χώρο της γεωργικής δραστηριότητας και επεκτείνονται πέρα από αυτά. Ένα αγροοικοσύστημα περιλαμβάνει τόσο τον φυσικό χώρο, τις υποδομές, τους αγρότες, αλλά και την περιοχή που επηρεάζεται από τη εν λόγω δραστηριότητα και τείνει να τροποποιείται από την ποικιλότητα των πληθυσμών των ειδών και των ενεργειακών ροών, καθώς και από το ισοζύγιο θρεπτικών συστατικών (Cabell & Oelofse, 2012). Η χρήση και βιώσιμη διαχείριση της γεωργικής γης, μια βασική συνιστώσα του οικολογικού περιβάλλοντος μιας χώρας, είναι απαραίτητη καθώς επηρεάζει τον τρόπο με τον οποίο τα αγροοικοσυστήματα αλληλοεπιδρούν με την ατμόσφαιρα, τα υδάτινα συστήματα και τη γύρω γη (Hasan et al., 2020).

Πολλές από τις αρχές της οικολογίας μπορούν να εφαρμοστούν στα γεωργικά συστήματα για τη βελτίωση της λειτουργίας, της βιωσιμότητας και της απόδοσής τους, όπου η ενσωμάτωση της βιώσιμης γεωργίας σε ευρεία κλίμακα δύναται να επιτύχει μηδενική πείνα και άλλους σημαντικούς στόχους της βιώσιμης ανάπτυξης (United Nations, 2022). Κάθε γεωργικό σύστημα πέρα από την αλληλεπίδραση του με το φυσικό περιβάλλον, αλληλεπιδρά και με την κοινωνία και απαιτείται προσοχή κατά όλη τη διαδικασία μετατροπής των φυσικών πόρων σε τροφή (αλυσίδα εφοδιασμού), και μεταφορά της από το αγρόκτημα στο τραπέζι των καταναλωτών (Francis et al., 2003; Ritchie & Roser, 2020)

2.1.2 Κύριοι Τύποι Καλλιεργητικών Συστημάτων

Κάθε μορφή γεωργίας σε αρκετές περιπτώσεις έχει ως πρωταρχικό στόχο τη μέγιστη παραγωγή γεωργικών προϊόντων ανά εδαφική επιφάνεια προς την ικανοποίηση των παγκόσμιων αναγκών σε τρόφιμα (Bommarco et al., 2013). Έτσι, συχνά εφαρμόζονται πρακτικές υψηλής εντάσεως, κυρίως κατά την άσκηση της συμβατικής γεωργίας (Struik & Kuiper, 2017). Οι εντατικές γεωργικές πρακτικές χαρακτηρίζονται από υψηλές εισροές συνθετικών αγροχημικών και λιπασμάτων, καθώς και από υπερεκμετάλλευση των φυσικών πόρων (νερό, ενέργεια) (Korittke et al., 2019; Tschamtkke et al., 2012). Η παρεμβατική ανάπτυξη της γεωργίας για την επίτευξη υψηλότερων αποδόσεων έχει προκαλέσει αλλαγές στη δομή και στα λειτουργικά χαρακτηριστικά των αγροοικοσυστημάτων, γεγονός που εντείνει την ανάγκη για έρευνα σχετικά με την υγεία και τη διαχείριση τους (Zhu et al., 2012). Ως εκ τούτου, η εντατική άσκηση γεωργικών πρακτικών υπονομεύει την περιβαλλοντική υγεία, καθώς επιδρά αρνητικά στις ΟΥ, αντανακλώντας σε μείωση ή/και στην υποβάθμισή τους (Carvalho, 2017; Lassaletta et al., 2016; Mendivil-Garcia et al., 2020). Ηπιότερες μορφές γεωργίας, όπως η βιολογική γεωργία, που χαρακτηρίζονται από τις μειωμένες εισροές, επιφέρουν λιγότερες αρνητικές επιπτώσεις στο αγροοικοσύστημα ενώ διατηρούν την ισορροπία και τη σταθερότητα του (Reganold & Wachter, 2016; Seufert et al., 2017).

Η βιώσιμη διατήρηση των επιπέδων της παραγωγής καθίσταται πολύ σημαντική παράμετρος σε ένα αγροοικοσύστημα, καθώς η ανάγκη διατροφής του πληθυσμού της γης απαιτεί σταθερή παραγωγή τροφής (Wezel et al., 2013). Διάφορες μελέτες που εξετάζουν τις χρήσεις γης, επισημαίνουν τις παρατεταμένες επιπτώσεις παρελθοντικής χρήσης γης, υποδεικνύοντας ότι τα καλλιεργητικά συστήματα και οι πρακτικές διαχείρισης που εφαρμόζονται δύνανται να επηρεάσουν τα αγροοικοσυστήματα και τις παρεχόμενες οικοσυστημικές υπηρεσίες μακροπρόθεσμα (de Baan, Alkemade and Koellner, 2012; Hasan et al., 2020). Η σχέση μεταξύ της γεωργικής δραστηριότητας και του περιβάλλοντος είναι άρρηκτα συνδεδεμένη, καθώς ο τρόπος με τον οποίο ασκείται η πρώτη επιδρά και διαμορφώνει το περιβάλλον, αλλά ταυτόχρονα το φυσικό τοπίο κάθε περιοχής καθορίζει ορισμένες από τις γεωργικές δραστηριότητες οι οποίες μπορούν να πραγματοποιηθούν εντός αυτού.

Η κυρίαρχη μορφή γεωργίας σήμερα, η **συμβατική γεωργία**, είναι πλήρως βιομηχανοποιημένη και χαρακτηρίζεται από μηχανοποίηση και υψηλές απαιτήσεις σε εισροές όπως ενέργεια, νερό, συνθετικά λιπάσματα και χημικά φυτοπροστατευτικά

προϊόντα με σκοπό τη μεγιστοποίηση της παραγωγής γεωργικών προϊόντων (Meier et al., 2015). Όπως προαναφέρθηκε, η διαχείριση των αγροτεμαχίων κατά την άσκηση της συμβατικής γεωργίας, στην προσπάθειά της να βελτιώσει την παραγωγικότητα, επιδείνωσε τα υφιστάμενα περιβαλλοντικά προβλήματα και προκάλεσε νέα, με βαθιές παρεμβάσεις στα αγροοικοσυστήματα.

Η ευρεία χρησιμοποίηση των χημικών φυτοπροστατευτικών σκευασμάτων, συνθετικών λιπασμάτων και ενεργειακών εισροών, σε συνδυασμό με την εφαρμογή νέων τεχνολογιών, έδωσε στη συμβατική γεωργία το βασικό πλεονέκτημα της αυξημένης γεωργικής παραγωγής (Uhlir, 1999). Ταυτόχρονα, η αλόγιστη χρήση των φυσικών και συνθετικών αυτών πόρων, έχει οδηγήσει σε εντεινόμενα περιβαλλοντικά προβλήματα όπως η υποβάθμιση της ποιότητας του εδάφους, η ρύπανση επιφανειακών και υπόγειων υδάτων, η εμφάνιση ευτροφισμού σε λίμνες, η μείωση της βιοποικιλότητας των οικοσυστημάτων, η εμφάνιση ανθεκτικότητας εχθρών των καλλιεργειών στα φυτοπροστατευτικά προϊόντα, η διατάραξη της φυσικής ισορροπίας των οικοσυστημάτων, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κ.α. (Chabbi et al., 2017; Gibbons et al., 2014; Tsiafouli et al., 2015). Οι πιο πάνω επιπτώσεις της συμβατικής γεωργίας είναι απόρροια των πρακτικών που εφαρμόζονται κατά τη άσκησή της. Αν και τα συστήματα συμβατικής γεωργίας διαφέρουν ανάλογα με το καλλιεργούμενο είδος και την τοποθεσία στην οποία ασκούνται, παρουσιάζουν πολλά κοινά χαρακτηριστικά στις εντατικοποιημένες γεωργικές πρακτικές που εφαρμόζουν.

Σύμφωνα με τους Pretty και Bharucha (2014), η εντατικοποίηση της γεωργίας ορίζεται παραδοσιακά με την αύξηση των αποδόσεων ανά εδαφική μονάδα γης ή/και με την αύξηση της έντασης καλλιέργειας ανά μονάδα γης ή άλλων εισροών (π.χ. νερό). Η αυξημένη ζήτηση για τρόφιμα οδήγησε στην εξάρτηση των αγροτών από τις επιδοτήσεις οι οποίες δίνονταν αναλογικά με το ύψος της παραγωγής (European Union, 2022b), με αποτέλεσμα να εφαρμόζουν ολοένα και εντονότερες πρακτικές διαχείρισης στα αγροτεμάχιά τους. Η βιωσιμότητα των φυσικών πόρων (έδαφος, νερό, ενέργεια), στο πλαίσιο των αυξανόμενων περιβαλλοντικών ζητημάτων που συνδέονται με την κλιματική αλλαγή και η ικανότητα των αγροοικοσυστημάτων να στηρίζουν και να παρέχουν υπηρεσίες, θα πρέπει να αναγνωρίζονται στα ολοένα και πιο εντατικά γεωργικά συστήματα (Kopittke et al., 2019)

Η **βιολογική γεωργία** περιγράφεται ως ένα οικολογικό σύστημα διαχείρισης παραγωγής που προωθεί και ενισχύει τη βιοποικιλότητα, τους βιολογικούς κύκλους και τη βιολογική

δραστηριότητα του εδάφους, σε μεγαλύτερο βαθμό σε σχέση με τη συμβατική γεωργία (Gomiero et al., 2011). Στηρίζεται στην ενοποίηση και ενσωμάτωση ποικίλων στοιχείων σε μια αγροτική εκμετάλλευση (ανακύκλωση θρεπτικών στοιχείων και άλλων πόρων, διαχείριση εδάφους) (Wachter et al., 2014) και βασίζεται στην ελάχιστη χρήση εισροών και σε πρακτικές διαχείρισης που αποκαθιστούν, διατηρούν και ενισχύουν την οικολογική ισορροπία (Seufert et al., 2017). Τα βιολογικά καλλιεργητικά συστήματα χαρακτηρίζονται γενικά από την αντικατάσταση αγροχημικών εισροών με φυσικές εισροές (χρήση οργανικών λιπασμάτων, όπως κομπόστα, κοπριά και φυτικά υπολείμματα καλλιεργειών) ή με αξιοποίηση οικοσυστημικών υπηρεσιών όπως ο έλεγχος των παρασίτων (Clark & Tilman, 2017; Muller et al., 2017).

Οι πρακτικές που εφαρμόζονται κατά την άσκηση της βιολογικής γεωργίας προσφέρουν πολλαπλά οφέλη στο αγροοικοσύστημα. Χαρακτηριστικά αναφέρονται: η αύξηση της οργανικής ουσίας στο έδαφος, η αποκατάσταση θρεπτικών στοιχείων που αφαιρούνται από τις καλλιέργειες και η μεγιστοποίηση πληθυσμών ωφέλιμων οργανισμών, όπως οι γαιοσκώληκες και οι μικροοργανισμοί που συμβάλλουν στη σταθεροποίηση της δομής του εδάφους (Lorenz & Lal, 2016). Συνήθως, χρησιμοποιούνται πρακτικές, όπως για παράδειγμα η εκτεταμένη αμειψισπορά, για να διαταράξουν τους κύκλους παρασίτων και ασθενειών στο έδαφος και να προωθήσουν τη βιοποικιλότητα, πρακτική η οποία σε βιολογικά συστήματα θεωρείται ότι ενθαρρύνει την ισορροπία μεταξύ ωφέλιμων και επιβλαβών οργανισμών, εμποδίζοντας την αύξηση παρασίτων και ασθενειών (Barbieri et al., 2017). Αυτή η αρχή επεκτείνεται στην μικροβιακή κοινότητα του εδάφους, όπου πιστεύεται ότι πολλοί δραστηριοί και ποικίλοι μικροβιακοί πληθυσμοί καταστέλλουν τα ζιζάνια και τις ασθένειες και βελτιώνουν την αμυντική απόκριση του φυτού και την αποδοτικότητα πρόσληψης θρεπτικών συστατικών (Bedini et al., 2013; Kuepper et al., 2004). Οι μικροβιακές κοινότητες βρίσκουν περαιτέρω εφαρμογή στο πλαίσιο της βιολογικής γεωργίας, όπου χωρίς επέκταση των καλλιεργήσιμων εκτάσεων, δύναται να χρησιμοποιηθούν για τη διασφάλιση υψηλότερης παραγωγικότητας, ειδικότερα σε συνθήκες κλιματικής αλλαγής (Azarbad, 2022).

Ως έννοια, η βιολογική γεωργία προέρχεται από τις ανησυχίες για τη βιώσιμη παραγωγή τροφίμων, με παράλληλη διατήρηση της γονιμότητας του εδάφους και ευημερίας των ζώων και οργανώνεται από τη Διεθνή Ομοσπονδία Βιολογικών Αγροτικών Κινήματων (IFOAM; International Federation of Organic Agricultural Movements), (Nielsen & Fath, 2019). Αποτελεί το μόνο σύστημα που ορίζεται νομοθετικά στην Ευρωπαϊκή Ένωση αλλά και σε

πολλές άλλες χώρες ανά το παγκόσμιο. Η παραγωγή, η διανομή και η εμπορία βιολογικών προϊόντων στην Ευρωπαϊκή Ένωση διέπονται από μια σειρά από κανόνες και κανονισμούς, διατηρώντας παράλληλα ένα αυστηρό σύστημα ελέγχου, έτσι ώστε οι καταναλωτές να εμπιστεύονται ότι τηρούνται οι κανόνες για τη βιολογική παραγωγή (European Union, 2022c). Η δημοφιλία και η ζήτηση των βιολογικών τροφίμων από τους καταναλωτές αυξάνεται ολοένα και περισσότερο, καθώς θεωρούν ότι τα βιολογικά τρόφιμα είναι πιο υγιεινά και πιο βιώσιμα για το περιβάλλον από τα τρόφιμα που παράγονται από τη συμβατική γεωργία (Gomiero, 2018; Meemken & Qaim, 2018)

Όπως αναφέρει ο Edwards (1990, p. 4), ως **αιφορική γεωργία** ορίζεται: «μια γεωργία που μπορεί να εξελίσσεται επ' αόριστον προς την κατεύθυνση μεγαλύτερης χρησιμότητας για τον άνθρωπο, μεγαλύτερης αποδοτικότητας της χρήσης των πόρων και μιας ισορροπίας με το περιβάλλον που είναι ευνοϊκή τόσο για τον άνθρωπο όσο και για τα περισσότερα άλλα είδη». Συνοπτικά, κάθε αιφορικό γεωργικό σύστημα είναι ένα βιώσιμο σύστημα εισροών στο οποίο εφαρμόζονται πρακτικές με οικολογικές αρχές το οποίο ωστόσο λαμβάνει υπόψη τις κοινωνικές ανάγκες (Gliessman, 2014). Κάθε βιώσιμο σύστημα απαρτίζεται από ένα σύνολο γεωργικών πρακτικών που αποσκοπούν στη διατήρηση της παραγωγικότητας με τον καλύτερο δυνατό τρόπο και στη χρήση των φυσικών πόρων σε αρμονία με το περιβάλλον.

Σε μια ευρύτερη έννοια, η αιφορική γεωργία αναφέρεται σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα πρακτικών φυτικής ή/και ζωικής παραγωγής, όπου μακροπρόθεσμα ικανοποιεί τις ανθρώπινες ανάγκες διατροφής, βελτιώνει την ποιότητα του περιβάλλοντος και τους φυσικούς πόρους, καθιστά αποτελεσματικότερη τη χρήση μη ανανεώσιμων πόρων, διατηρεί την οικονομική βιωσιμότητα της γεωργικής εκμετάλλευσης και βελτιώνει την ποιότητα ζωής των γεωργών και της κοινωνίας στο σύνολό της (Velten et al., 2015). Ωστόσο, η εφαρμογή της αιφορικής γεωργίας συχνά δεν είναι εύκολη καθώς από πολλούς είναι διαφορούμενη ως προς την έννοιά της. Δεν καθορίζεται από συγκεκριμένες αιφορικές πρακτικές, αλλά από ένα σύνολο πρακτικών, εφαρμογών και τεχνολογικών επιτευγμάτων όπου λειτουργούν προς αιφορική κατεύθυνση. Χαρακτηριστικά αναφέρονται: η σύνθεση και χρήση αμμωνιακών λιπασμάτων με βάση ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και πρώτες ύλες (Pfromm, 2017), η ανάπτυξη καλλιεργειών ανθεκτικών στις φυσικές καταπονήσεις για να εξασφαλιστεί η σταθερότητα της παραγωγικότητας και να μειωθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της γεωργίας (Zhang et al., 2018), η χρήση φυτικών μικροοργανισμών που δεσμεύουν άζωτο ως βιο-λιπάσματα προς αντικατάσταση των συνθετικών λιπασμάτων (Kour et al., 2020).

Συνδεδεμένοι με τον όρο αειφορική γεωργία είναι και οι όροι «εναλλακτική», «βιώσιμη», «υποστηρικτική» και «αναγεννητική» γεωργία, όπου σε κάποιες περιπτώσεις συνταυτίζονται ή αλληλεπικαλύπτονται. Αρκετοί άλλοι όροι, όπως η γεωργία ακριβείας, η γεωργία χαμηλών εισροών, η ολοκληρωμένη γεωργία, (Balafoutis et al., 2017; Du et al., 2022; Falloon & Betts, 2010) αλλά και η βιολογική γεωργία και η γεωργία διατήρησης Gomiero et al., 2011; Lal, 2015) συνδέονται εμμέσως με την έννοια της αειφορικής γεωργίας και αρκετοί από αυτούς αποτελούν συνδυασμό των προσεγγίσεων προς αυτήν. Οι περισσότεροι όροι και μορφές άσκησης γεωργίας βρίσκονται υπό την κάλυψη του ορισμού της αειφορικής γεωργίας και συνδέονται με αυτή κατά διάφορους τρόπους.

Συμπερασματικά, κατά την αειφορική γεωργία οι αγρότες συμπεριλαμβάνουν κατά την άσκηση της όσο το δυνατόν φυσικές λύσεις και τους διαθέσιμους πόρους στο αγρόκτημα, μειώνοντας την εξάρτηση από τις εξωτερικές εισροές εντός του αγροκτήματός, διατηρώντας την παραγωγικότητα του εδάφους και την περιβαλλοντική υγεία για μεγάλο χρονικό διάστημα. Ως εκ τούτου, οι γεωργοί εξοικονομούν πόρους και χρήματα ελαχιστοποιώντας τις εισροές στο αγρόκτημα [π.χ. διαχειριζόμενοι τα παράσιτα (ζιζάνια, έντομα, παθογόνα) μέσω εσωτερικά ρυθμιζόμενων μηχανισμών και γεωργικών πρακτικών που βασίζονται στις αρχές της οικολογίας].

2.1.3 Γεωργικές Πρακτικές

Οι γεωργικές πρακτικές περιλαμβάνουν ένα σύνολο τεχνικών και καλλιεργητικών δραστηριοτήτων που εφαρμόζει ο αγρότης στο αγροτεμάχιο του με σκοπό την παραγωγικότητα. Διαφέρουν ανάλογα κυρίως σε συνάρτηση διαφόρων παραγόντων όπως: το είδος της καλλιέργειας (π.χ. ετήσιες-πολυετείς καλλιέργειες), οι επικρατούσες κλιματικές συνθήκες και η τοποθεσία στην οποία ασκούνται (ορεινά, ημιορεινά, πεδινά), το μέγεθος της έκτασης στην οποία εφαρμόζονται (ενιαία αγροτεμάχια έναντι μικρού πολυτεμαχισμένου γεωργικού κλήρου) και η μορφή που εφαρμόζονται (εντατικές έναντι εκτατικών). Οι πολιτικές πιέσεις πλέον έχουν ενταθεί και ως ζητούμενο από τους αγρότες είναι η εφαρμογή βιώσιμων γεωργικών πρακτικών που στοχεύουν στη μεγιστοποίηση των ωφελειών (οικοσυστημικές υπηρεσίες) που λαμβάνει η κοινωνία από τη γεωργική παραγωγή (Rust et al., 2021).

Η ορθολογική διαχείριση των φυσικών πόρων και των εισροών με σκοπό την εξασφάλιση της οικονομικής βιωσιμότητας της γεωργικής εκμετάλλευσης και της αειφορίας του

περιβάλλοντος, υποστηρίζεται από ένα σύνολο ορθών γεωργικών πρακτικών, στόχων και σκοπών. Οι πρακτικές αυτές διέπονται από ένα κρίσιμο σύνολο κανόνων και κανονισμών της Κοινής Αγροτικής Πολιτικής (ΚΑΠ) της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η οποία στοχεύει με την εφαρμογή τους στην περιβαλλοντική, οικονομική και κοινωνική αειφορία κατά τις γεωργικές διαδικασίες (European Union, 2022a). Η γεωργία και οι αγροτικές περιοχές αποτελούν κεντρικά στοιχεία της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας (The Green Deal), η οποία αφορά στην προώθηση της αποδοτικότητας των πόρων και στην προστασία του φυσικού κεφαλαίου και της ανθρώπινης υγείας (Konstantonis, 2021). Επίσης, η ΚΑΠ αποτελεί βασικό εργαλείο για την επίτευξη της στρατηγικής «από το Αγρόκτημα στο Πιάτο» (from Farm to Fork Strategy), μια στρατηγική που δίνει έμφαση στον κρίσιμο ρόλο των γεωργών, έτσι ώστε να διασφαλίζεται η ασφάλεια και βιωσιμότητα του αγρό-διατροφικού συστήματος. Πολλές δράσεις και γεωργικές πρακτικές που περιλαμβάνονται στη στρατηγική «από το Αγρόκτημα στο Πιάτο» είναι κοινές με αυτές της στρατηγικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τη βιοποικιλότητα, (π.χ. μείωση χρήσης αγροχημικών κατά 50% και λιπασμάτων κατά 20% έως το 2030, διάθεση τουλάχιστον 25% της γεωργικής γης για βιολογική γεωργία) (Alexoaei et al., 2022).

Στο πλαίσιο της ΚΑΠ, οι γεωργικές πρακτικές που εφαρμόζονται επιδιώκουν τη βελτίωση της παραγωγικότητας και ένα σταθερό, ασφαλή και υγιή εφοδιασμό τροφίμων για τους πολίτες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Serebrennikov et al., 2020). Για να καταστεί η ευρωπαϊκή γεωργία πιο βιώσιμη η «Πολλαπλή Συμμόρφωση» (Cross-compliance) αποτελεί βασικό πυλώνα της Ευρωπαϊκής αγροτικής πολιτικής με καθορισμένες υποχρεώσεις, όπου κάθε γεωργός που λαμβάνει ενισχύσεις οφείλει να εφαρμόζει τις «Κανονιστικές Απαιτήσεις Διαχείρισης» και «Ορθές Γεωργικές και Περιβαλλοντικές Συνθήκες». Οι «Κανονιστικές Απαιτήσεις Διαχείρισης» αποτελούνται από 13 Κανονισμούς και Οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης και κατατάσσονται σε τρεις τομείς (MOA, 2022): 1) περιβάλλον, κλιματική αλλαγή και καλή γεωργική κατάσταση των εκτάσεων (περιλαμβάνει τις οδηγίες για τα ύδατα, τη βιοποικιλότητα και τη διατήρηση φυσικών οικοτόπων και άγριας πανίδας και χλωρίδας), 2) δημόσια υγεία και υγεία των ζώων και των φυτών (περιλαμβάνει ανάμεσα σε άλλα τον κανονισμό για την ασφάλεια τροφίμων, τις οδηγίες για τις ασθένειες ζώων και τα φυτοπροστατευτικά προϊόντα), 3) καλή μεταχείριση των ζώων (περιλαμβάνει οδηγίες που αφορούν στην προστασία των ζώων). Οι «Ορθές Γεωργικές και Περιβαλλοντικές Συνθήκες» αφορούν στα πρότυπα για την καλή γεωργική και περιβαλλοντική κατάσταση, τα οποία πρέπει να τηρούνται κατά την άσκηση τις γεωργικής δραστηριότητας. Τα πρότυπα και κατευθυντήριες γραμμές συνοψίζονται σε κύρια θέματα που αφορούν (MOA, 2022): 1)

στα ύδατα (π.χ. πρότυπα τήρησης των διαδικασιών έγκρισης για τη χρήση υδάτων για άρδευση, προστασίας των υπογείων υδάτων από τη ρύπανση), 2) στο έδαφος και την αποθήκευση άνθρακα (π.χ. ελάχιστη εδαφοκάλυψη, διατήρηση των επιπέδων της οργανικής ύλης του εδάφους μέσω κατάλληλων πρακτικών), και 3) στο τοπίο (διατήρηση των χαρακτηριστικών του τοπίου).

Συνοψίζοντας, η αναζήτηση αειφορικής γεωργικής παραγωγής παρέχει ένα κλασικό παράδειγμα-κλειδί, όπου υπάρχει αυξανόμενη πίεση για βελτιωμένες γεωργικές πρακτικές έτσι ώστε να εξασφαλιστεί βιώσιμη γεωργική βιομηχανία (Dudeja & Singh, 2018; Tzilivakis et al., 2011). Σε κάποιες περιπτώσεις οι γεωργικές πρακτικές βασίζονται στην παραδοσιακή γνώση που αποκτούν οι αγρότες από γενιά σε γενιά (Kurmi et al., 2022), με αποτέλεσμα να αποκλίνουν από την βέλτιστη εφαρμογή τους. Διαφαίνεται επίσης σε άλλες περιπτώσεις ότι οι ορθές γεωργικές πρακτικές είναι μειωμένες (κυρίως σε μειονεκτικές αγροτικές δομές), με αποτέλεσμα οι αγρότες να αντιμετωπίζουν δυσκολίες να ανταπεξέλθουν στα οικο-σχήματα (eco-schemes) τα οποία λαμβάνονται ως μέτρα για τη μεταρρύθμιση των περιβαλλοντικών και κλιματικών στόχων της Κοινής Αγροτικής Πολιτικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Kiryluk-Dryjska et al., 2022). Ως εκ τούτου, ο ρόλος των αγροτών και των πρακτικών που ασκούν κρίνεται σημαντικός και πολυδιάστατος, καθώς η δραστηριότητά τους καθορίζει και καθορίζεται από οικονομικούς, κοινωνικούς αλλά και περιβαλλοντικούς παράγοντες.

2.2 Οικοσυστημικές Υπηρεσίες

2.2.1 Ιστορική αναδρομή και ορισμοί

Η ιδέα ότι τα φυσικά συστήματα υποστηρίζουν την ανθρώπινη ευημερία δεν είναι καινούρια. Οι «οικοσυστημικές υπηρεσίες» (OY) εμφανίστηκαν κατά τη δεκαετία του 1970 (SCEP, 1970, Ehrlich & Ehrlich, 1981) και από τότε μέχρι σήμερα λαμβάνει αυξανόμενης προσοχής στην επιστημονική κοινότητα (Costanza et al., 1997; Costanza et al., 2014; Daily, 1997; de Groot et al., 2002, Pecl et al., 2017; Perrings et al., 1993). Αναγνωρίστηκε από τους φορείς χάραξης πολιτικής όταν τα Ηνωμένα Έθνη δημοσίευσαν την «Αξιολόγηση οικοσυστημάτων της χιλιετίας» (MEA; Millennium Ecosystem Assessment) το 2005.

Οι ορισμοί των οικοσυστημικών υπηρεσιών ποικίλουν από τους πιο απλούς ως: «οι άμεσες ή έμμεσες συνεισφορές των οικοσυστημάτων που συμβάλλουν στη στήριξη, τη διατήρηση και τον εμπλουτισμό της ανθρώπινης ζωής» (Louis et al., 2010), σε πιο σύνθετους: «Οι οικοσυστημικές υπηρεσίες είναι τα πολλά και ποικίλα οφέλη για τον άνθρωπο που παρέχονται

από το φυσικό περιβάλλον και τα οικοσυστήματα, όπως η παραγωγή τροφίμων, ο μετριασμός του κλίματος και η ανακύκλωση θρεπτικών ουσιών και αποτελούν μέρος της έννοιας της συμβολής της φύσης στον άνθρωπο, όταν ενσωματώνονται με δυσλειτουργίες και τις ποικίλες και περιεκτικές κοσμοθεωρίες» (Allen et al., 2022). Ο πιο δημοφιλής ορισμός των οικοσυστημικών υπηρεσιών αφορά αυτόν κατά τη δημοσίευση της «Αξιολόγησης των Οικοσυστημάτων της Χιλιετίας» ως εξής: «Οι λειτουργίες και τα προϊόντα των οικοσυστημάτων που ωφελούν τον άνθρωπο ή αποφέρουν ευημερία στην ανθρωπότητα». (Millennium Ecosystem Assessment, 2005)

Η έννοια των ΟΥ, πρωτοεμφανίστηκε και αναπτύχθηκε στη διεθνή βιβλιογραφία περί τα τέλη της δεκαετίας του 1970 (Vihervaara et al., 2010) κατόπιν αναφοράς στο πλαίσιο της «Μελέτης Κρίσιμων Περιβαλλοντικών Προβλημάτων» (SCEP; Study of Critical Environmental Problems), όταν αναφέρθηκε για πρώτη φορά η έννοια των «περιβαλλοντικών υπηρεσιών». Μετονομάστηκε σε «οικοσυστημικές υπηρεσίες» στα μέσα της δεκαετίας 1980, αλλά σημαντικό ορόσημο στην αξιολόγηση τους αποτέλεσαν οι δημοσιεύσεις των de Groot «Functions of Nature» (1992), Costanza et al. (1997) και Daily (1997), οι οποίοι ανέπτυξαν και προώθησαν την έννοια σε παγκόσμιο πλαίσιο.

Η διάδοσή της έννοιας στην επιστημονική κοινότητα και το δημόσιο διάλογο προέκυψε από θεσμοθέτησή της μέσα από τη «Σύνοδο Κορυφής για τη Γη» (The Earth Summit) που πραγματοποιήθηκε στο Ρίο το 1992, η οποία έθεσε τις βάσεις για τη διατήρηση της βιοποικιλότητας και την προστασία του περιβάλλοντος στο Διεθνές Δίκαιο (Tancoigne et al. 2014). Περαιτέρω ώθηση απέκτησε από το 1997 και έπειτα όταν το πρωτόκολλο του Κιότο, όρισε τους ανθρώπους υπεύθυνους για τα περιβαλλοντικά ζητήματα (United Nations, 1998). Παρόλο που διεθνείς πρωτοβουλίες σχετικά με την οικοσυστημική προσέγγιση εξαγγέλθηκαν το 1996 από τα Ηνωμένα Έθνη στο πλαίσιο της εφαρμογής της Σύμβασης για τη Βιολογική Ποικιλότητα (Convention on Biological Diversity) (SCBD, 2011), η επιχειρησιακή χρήση της εν λόγω προσέγγισης όσον αφορά τις ΟΥ, πήρε μόλις μορφή το 2004 στο πλαίσιο του προγράμματος «Αξιολόγηση των Οικοσυστημάτων της Χιλιετίας» (MEA; Millennium Ecosystem Assessment), το οποίο καθοδηγούμενο από μια ομάδα διεθνών επιστημονικών εμπειρογνομόνων, είχε ως σκοπό τον καλύτερο προσδιορισμό και την αξιολόγηση της σπουδαιότητας των οικοσυστημάτων προς την ανθρώπινη ευημερία (Braat & de Groot, 2012; Chaudhary et al., 2015).

Η πρωτοβουλία αυτή, η οποία αποτέλεσε μια ευρεία αξιολόγηση των ανθρώπινων επιπτώσεων στο περιβάλλον, δρομολογήθηκε το 2000 από τον Γενικό Γραμματέα των Ηνωμένων Εθνών Κόφι Ανάν, ξεκίνησε το 2001 και δημοσιεύθηκε το 2005. Πέραν των 1300 διεθνών εμπειρογνομόνων από 70 έθνη είχαν εμπλακεί σε μια εντατική προσπάθεια για αξιολόγηση των ανθρώπινων επιπτώσεων στην κατάσταση των οικοσυστημάτων του πλανήτη. Οι συνέπειες των αλλαγών των οικοσυστημάτων προς την ανθρώπινη ευημερία και το πλαίσιο για προσδιορισμό και κατηγοριοποίηση των υπηρεσιών οικοσυστήματος προέκυψαν από την αξιολόγηση αυτή (Sandhu et al., 2012) Το βασικότερο συμπέρασμα ήταν ότι το 60% των υπό μελέτη οικοσυστημικών υπηρεσιών υποβαθμίζονταν ή χρησιμοποιούνταν με μη βιώσιμο τρόπο (Yang et al., 2013). Τα αποτελέσματα του προγράμματος Millennium Ecosystem Assessment, χρησίμευσαν ως βάση για τις μελλοντικές εκτιμήσεις και αποτελούν ένα σχέδιο δράσης για τη διατήρηση των οικοσυστημικών υπηρεσιών από τις οποίες εξαρτάται η ευημερία όλων μας (Reid & Mooney, 2016). Η αξιολόγηση της παροχής αγαθών από τα οικοσυστήματα αποτέλεσε κινητήριο μοχλό έτσι ώστε οι οικοσυστημικές υπηρεσίες να καταστούν ένα δημοφιλές πεδίο έρευνας (Schröter et al., 2016). Επίσης, αποτέλεσε το εννοιολογικό πλαίσιο για πολλά επιστημονικά προγράμματα, ενώ ταυτόχρονα προτείνονται διάφορες θέσεις σε σχέση με ταξινομήσεις, απεικονίσεις και αποτιμήσεις των ΟΥ τόσο σε παγκόσμιο όσο σε περιφερειακό και τοπικό επίπεδο (Abson et al., 2014; Schneiders et al., 2012).

2.2.2 Ταξινόμηση των ΟΥ

Η ταξινόμηση των οικοσυστημικών υπηρεσιών είναι αναγκαία καθώς η κατηγοριοποίηση τους αποτελεί προϋπόθεση για κάθε προσπάθεια μέτρησης, χαρτογράφησης ή αποτίμησής τους και για την επικοινωνία των ευρημάτων με διαφανή τρόπο (Burkhard & Maes, 2017). Σε σχέση με την ταξινόμηση των ΟΥ έχουν αναπτυχθεί διάφορες προσεγγίσεις με τη χρήση διαφορετικών κριτηρίων, (π.χ. η κλίμακα στην οποία εφαρμόζονται, αν ο δικαιούχος της οικοσυστημικής υπηρεσίας είναι ιδιώτης ή δημόσιος, ή αν η χρήση μιας υπηρεσίας από ένα άτομο ή μια ομάδα επηρεάζει τη χρήση από άλλους), καθώς τα συστήματα ταξινόμησης επιτρέπουν συζητήσεις, αξιολογήσεις, μοντελοποίηση και αποτίμηση τους (Costanza et al., 2017).

Η προσέγγιση στην ταξινόμηση των οικοσυστημικών υπηρεσιών με βάση την Αξιολόγηση των Οικοσυστημάτων της Χιλιετίας (2005), αφορούσε την ευαισθητοποίηση της κοινωνίας σχετικά με τα διάφορα οφέλη που αποκομίζει ο άνθρωπος από το οικοσύστημα. Έτσι, σύμφωνα με την προσέγγιση αυτή οι οικοσυστημικές υπηρεσίες μπορούν να χωριστούν σε

τέσσερις κύριες κατηγορίες: **παροχής**, όπως είναι η τροφή και το νερό, **ρυθμιστικές**, όπως η ρύθμιση του κλίματος και ο έλεγχος των ασθενειών, υπηρεσίες παροχής **πολιτιστικού χαρακτήρα**, όπως πνευματικές και πολιτιστικές αξίες και τέλος σε εκείνες που είναι απαραίτητες για την υποστήριξη της λειτουργίας του οικοσυστήματος ίδιου (**υποστηρικτικές**), όπως υπηρεσίες πρωτογενούς παραγωγικότητας και ανακύκλωσης των στοιχείων (π.χ. άζωτο).

Η πρωτοβουλία «Τα Οικονομικά των Οικοσυστημάτων και της Βιοποικιλότητας» (TEEB; The Economics of Ecosystems and Biodiversity) εφαρμόζοντας παρόμοια προσέγγιση ταξινόμησης με αυτήν της ΜΕΑ, διακρίνει τις ΟΥ σε **παροχής**, **ρύθμισης** και **πολιτιστικές**, ενώ η τέταρτη κατηγορία χαρακτηρίζεται ως **υπηρεσίες ενδιαίτηματος ή υποστήριξης**. Η ταξινόμηση αυτή έγινε στο πλαίσιο μιας προσπάθειας αξιολογήσεων οικονομικής σημασίας των οικοσυστημικών υπηρεσιών και της βιοποικιλότητας, αλλά και το κόστος που προκύπτει λόγω της απώλειας τους (Albert et al., 2017; Kumar, 2012)

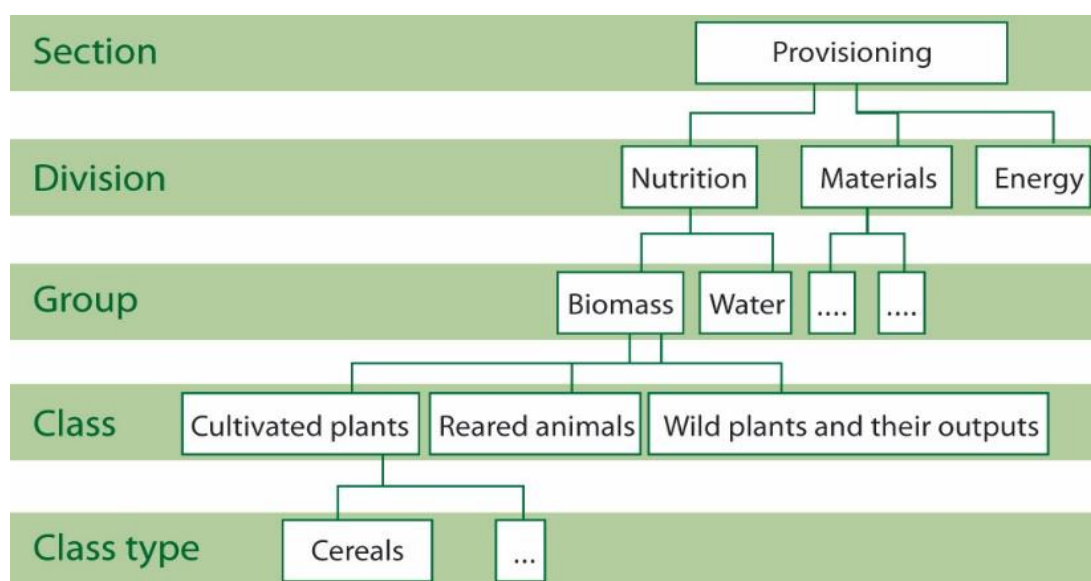
Το Εθνικό Σύστημα Ταξινόμησης Οικοσυστημικών Υπηρεσιών των ΗΠΑ (NESCO; U.S. National Ecosystem Services Classification System) εξετάζει τέσσερις ομάδες ΟΥ οι οποίες διακρίνονται σε δύο κατηγορίες. Στην κατηγορία της **προσφοράς** α) μια ομάδα συνιστωσών του οικοσυστήματος (αέρας - νερό) και β) μια ομάδα για τα τελικά προϊόντα της φύσης ή τις τελικές υπηρεσίες του οικοσυστήματος, ενώ στην κατηγορία της **ζήτησης** α) μια ομάδα από πλευράς εκμετάλλευσης, δηλαδή οι υπηρεσίες χρησιμοποιούνται άμεσα ή έμμεσα και β) μια ομάδα για τις χρήσεις των υπηρεσιών (Landers, 2015). Στο σύστημα NESCO η προσέγγιση ταξινόμησης αφορά σε ένα πλαίσιο σύνδεσης των **τελικών οικοσυστημικών αγαθών και υπηρεσιών** με τα οικονομικά αγαθά και υπηρεσίες και **τους τελικούς χρήστες** (La Notte et al., 2017). Οι σχέσεις και οι ροές των μεταξύ του φυσικού περιβάλλοντος και της ανθρώπινης ευημερίας ανιχνεύονται εύκολα και οι ΟΥ συνδέονται άμεσα σε ένα εθνικό λογιστικό πλαίσιο το οποίο μπορεί να βοηθήσει στην ανάλυση διαφόρων τύπων δράσεων, πολιτικών και κανονισμών περιβαλλοντικής διαχείρισης (Newcomer- Johnson et al., 2020).

Το 2009 προτάθηκε η Κοινή Διεθνής Ταξινόμηση των Οικοσυστημικών Υπηρεσιών (CICES; Common International Classification of Ecosystem Services), με σκοπό να γεφυρωθεί η σύγχυση μεταξύ των διάφορων ταξινομητικών των συστημάτων, των οποίων η συμπερίληψη διάφορων προοπτικών ή/και ορισμών καθιστά δύσκολη τη σύγκρισή τους. Σε πρώτο στάδιο η ταξινόμηση αναπτύχθηκε στο πλαίσιο των εργασιών για το «Σύστημα

Περιβαλλοντικής-Οικονομικής Λογιστικής» (SEEA; The System of Environmental-Economic Accounting) (United Nations, 2014), με στόχο τη συλλογή διεθνώς συγκρίσιμων οικονομικών στατιστικών δεδομένων για το περιβάλλον και τη δημιουργία στη συνέχεια μιας βάσης για το σύστημα λογιστικής των ΟΥ.

Η ιεραρχική οργάνωση του συστήματος ταξινόμησης CICES κινείται γύρω από τον άξονα τριών μεγάλων **κατηγοριών** των υπηρεσιών: «**παροχής**», «**ρύθμισης**» και «**πολιτισμού**» και στη συνέχεια διαχωρίζονται περαιτέρω σε **ομάδες**, **κλάσεις** και **τάξεις/κωδικοί** (Σχήμα 2.1) (Haines-Young & Potschin, 2018). Η ιεραρχική δομή επιτρέπει την εύκολη σύγκριση και λεπτομερή ανάλυση στο καταλληλότερο επίπεδο που απαιτείται από την εφαρμογή τους. Αφορά σε ένα «μοντέλο καταρράκτη» (cascade model) που η ταξινόμηση στοχεύει στις «τελικές υπηρεσίες» - τα «τελικά προϊόντα» της φύσης από τα οποία προέρχονται αγαθά και οφέλη (Czúcz et al., 2018).

Το CICES αποκλείει κατά την ταξινόμηση τις υποστηρικτικές υπηρεσίες, που αφορούν στη δομή, διεργασίες και λειτουργίες των οικοσυστημάτων (π.χ. φωτοσύνθεση, κύκλοι των θρεπτικών στοιχείων), καθώς η κοινωνία δεν είναι άμεσος αποδέκτης των ωφελειών τους. Ωστόσο, δεν υποβαθμίζεται ο ρόλος των υποστηρικτικών υπηρεσιών, αλλά η μη συμπερίληψη τους κρίθηκε απαραίτητη για την αποφυγή διπλής λογιστικής κατά την αποτίμηση των υπηρεσιών του οικοσυστήματος, καθώς ενσωματώνονται ή στηρίζουν μια σειρά άλλων εκροών υπηρεσιών (Burkhard & Maes, 2017).



Σχήμα 2.1: Η ιεραρχική δομή του συστήματος ταξινόμησης οικοσυστημικών υπηρεσιών κατά CICES (Potschin et al., 2016).

Το CICES βρίσκει εφαρμογή στην αξιολόγηση ΟΥ σε εθνική, περιφερειακή και διεθνή κλίμακα. Επιπρόσθετα, αποτελεί τμήμα του πλαισίου αξιολόγησης και χαρτογράφησης οικοσυστημικών υπηρεσιών, το οποίο αναπτύχθηκε από την ομάδα εργασίας «Χαρτογράφηση και αξιολόγηση οικοσυστημικών υπηρεσιών» (MAES; Mapping and Assessing Ecosystem Services) για την υποστήριξη της εφαρμογής της στρατηγικής της Ευρωπαϊκής ένωσης για τη βιοποικιλότητα 2020. Η τελευταία έκδοση 5.1, είναι πλέον διαθέσιμη στον ιστότοπο του CICES, συμπεριλαμβανομένου και ενός εγγράφου καθοδήγησης (Haines-Young & Potschin, 2018).

2.2.3 Οικονομική αποτίμηση ΟΥ

Οι πρώτες προσπάθειες εκτίμησης της χρηματικής/οικονομικής αξίας των οικοσυστημικών υπηρεσιών σε παγκόσμιο επίπεδο έγιναν από τους Constanza et al. (1997), οι οποίοι υπολόγισαν τη συμβολή των ΟΥ σε 33 τρισεκατομμύρια ετησίως και στη συνέχεια αναθεώρησαν την εκτίμηση αυτή σε 125 τρισεκατομμύρια ετησίως το 2011. Στη συνέχεια καταβλήθηκε μία σειρά προσπαθειών για τον υπολογισμό των αξιών των ΟΥ και προς αυτή την κατεύθυνση η διεθνής πρωτοβουλία «Τα Οικονομικά των Οικοσυστημάτων και της Βιοποικιλότητας» (TEEB; The Economics of Ecosystems and Biodiversity) σημείωσε σημαντική πρόοδο (TEEB , 2010). Στο πλαίσιο της πρωτοβουλίας αυτής εισάχθηκε η οικονομική προοπτική των οικοσυστημικών υπηρεσιών στη συζήτηση για την πολιτική και στόχευε στην ανάδειξη της οικονομικής αξίας της βιοποικιλότητας, στο κόστος που προκύπτει από την απώλεια της και την συνεπακόλουθη υποβάθμιση των οικοσυστημάτων (Sukhdev et al., 2014).

Ταυτόχρονα ανά το παγκόσμιο δημιουργούνται διάφορες διεθνείς πλατφόρμες συνεργασίας σε μια προσπάθεια σύνδεσης ερευνητών, ερευνητικών οργανισμών και εθνικών αρχών που ασχολούνται με την αξιολόγηση των οικοσυστημικών υπηρεσιών. Για παράδειγμα, η «Σύμπραξη Οικοσυστημικών Υπηρεσιών» (ESP; Ecosystem Service Partnership), ένα δίκτυο εμπειρογνομόνων, ξεκίνησε το 2008 από το Ινστιτούτο Οικολογικών Οικονομικών Gund (Πανεπιστήμιο του Βερμόντ, ΗΠΑ), αποτελείται από θεσμικά και ατομικά μέλη από όλο τον κόσμο με στόχο την ενίσχυση της επικοινωνίας και συνεργασίας στον τομέα των οικοσυστημικών υπηρεσιών μέσω διοργάνωσης διεθνών συνεδρίων, εκπαιδεύσεων, ανταλλαγής δεδομένων και εμπειριών (Foundation for Sustainable Development, 2022). Επίσης η «Διακυβερνητική Πλατφόρμα Επιστήμης-Πολιτικής για τη Βιοποικιλότητα και τις Υπηρεσίες Οικοσυστημάτων» (IPBES; Intergovernmental Science-Policy Platform on

Biodiversity and Ecosystem Services) ιδρύθηκε το 2012 όπου μια από τις κύριες κατευθύνσεις του προγράμματος εργασίας της είναι η αξιολόγηση της βιοποικιλότητας και των υπηρεσιών οικοσυστήματος σε περιφερειακό και παγκόσμιο επίπεδο (IPBES, 2019).

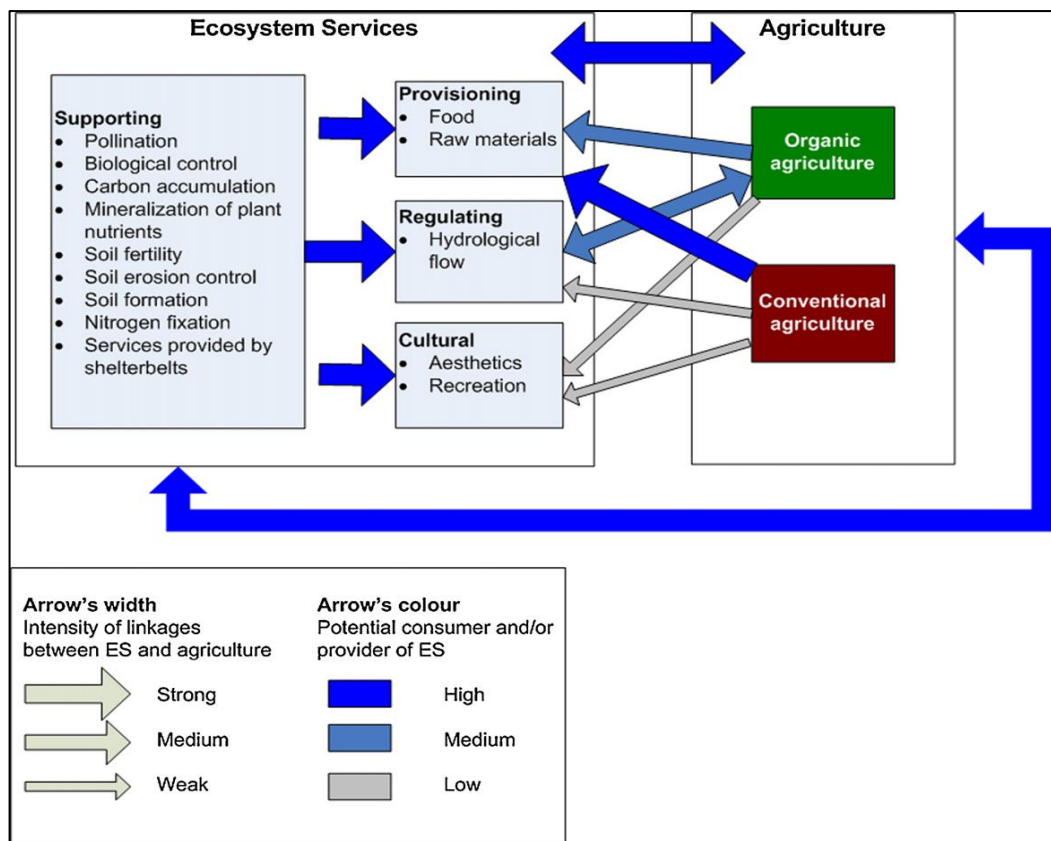
2.2.4 Χαρτογράφηση και Αξιολόγηση των ΟΥ

Η χαρτογράφηση και η αξιολόγηση των οικοσυστημικών υπηρεσιών αποτελούν προτεραιότητα όλων των κρατών μελών της Ευρωπαϊκής ένωσης (ΕΕ), όπως αυτό προέκυψε μετά την έγκριση της στρατηγικής της ΕΕ για τη βιοποικιλότητα. Στο πλαίσιο της στρατηγικής αυτής ο όρος «*χαρτογράφηση*» σημαίνει τη χωρική οριοθέτηση των οικοσυστημάτων καθώς και την ποσοτικοποίηση της κατάστασής τους και της παροχής υπηρεσιών. Παράλληλα, ο όρος «*αξιολόγηση*» αναφέρεται στην ανάλυση και επεξήγηση των επιστημονικών στοιχείων σε πληροφορίες που είναι κατανοητές για τη χάραξη πολιτικής και τη λήψη αποφάσεων (Maes et al., 2016). Μια ομάδα εμπειρογνομόνων της ΕΕ και ερευνητών απαρτίζουν την ομάδα εργασίας για τη «Χαρτογράφηση και αξιολόγηση των οικοσυστημάτων και των υπηρεσιών τους» (MAES; Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services), η οποία συστάθηκε για να παράσχει καθοδήγηση και να υποστηρίξει τη πέμπτη δράση της στρατηγικής της ΕΕ για τη Βιοποικιλότητα 2020. Τα κράτη μέλη καλούνται υπό το αναλυτικό πλαίσιο που παρέχει η ομάδα να προβούν σε χαρτογράφηση και αξιολόγηση της κατάστασης στην εθνική τους επικράτεια. Επιπρόσθετα, καλούνται να εκτιμήσουν την οικονομική αξία των εν λόγω υπηρεσιών και να προωθήσουν την ενσωμάτωση τους στα λογιστικά συστήματα, με παράλληλη υποβολή εκθέσεων σε επίπεδο ΕΕ και σε εθνικό επίπεδο (Heink et al., 2016).

2.2.5 Γεωργία και Οικοσυστημικές Υπηρεσίες

Σύμφωνα με τους Dale και Polasky (2007) η γεωργία και οι υπηρεσίες οικοσυστήματος αλληλοσυνδέονται με τουλάχιστον τρεις τρόπους: α) τα αγροοικοσυστήματα παράγουν οικοσυστημικές υπηρεσίες, όπως η παραγωγή τροφίμων, η εδαφογένεση κ.α. β) τα αγροοικοσυστήματα λαμβάνουν οικοσυστημικές υπηρεσίες από άλλα, όπως είναι η επικονίαση και γ) οι ΟΥ σε μη γεωργικά συστήματα μπορεί να επηρεαστούν από τις γεωργικές πρακτικές. Οι Reid et al. (2005), σύμφωνα με την αποτίμηση του προγράμματος Millennium Ecosystem Assessment, απεικονίζουν τη σύνδεση των υπηρεσιών οικοσυστήματος με δύο μορφές άσκησης της γεωργίας, τη βιολογική και τη συμβατική (Σχήμα 2.2).

Σύμφωνα με τους Reid et al. (2005), οι δυο συνιστώσες του συστήματος (γεωργία και οικοσυστημικές υπηρεσίες), αλληλοσυνδέονται με ισχυρούς δεσμούς και ένταση και κατά τη σύνδεση τους προσφέρουν και λαμβάνουν εξίσου. Σε επίπεδο άσκησης της γεωργίας ανά καλλιεργητικό σύστημα (συμβατική ή βιολογική), καταγράφεται διαφοροποίηση στη ένταση και στη μεταξύ τους ροή με τις οικοσυστημικές υπηρεσίες. Η συμβατική γεωργία εμφανίζει δυνατή σύνδεση και σε μεγάλη ένταση με την κατηγορία ΟΥ παροχής, της οποίας είναι πάροχος. Αδύναμη σύνδεση και χαμηλή ένταση φαίνεται να έχει η συμβατική γεωργία στην παροχή της στις ΟΥ κατηγορίες ρύθμισης και πολιτιστικές. Στην περίπτωση της βιολογικής γεωργίας εμφανίζεται μέτρια σύνδεση με μέτρια ένταση στην προσφορά της στις ΟΥ παροχής. Το ίδιο αποτέλεσμα προκύπτει και στην κατηγορία ρυθμιστικών ΟΥ, με τη διαφορά ότι η σύνδεση των δύο συνιστωσών είναι αμφίδρομη. Τέλος, η βιολογική γεωργία εμφανίζει αδύναμη σύνδεση και χαμηλή ένταση προς την κατηγορία πολιτιστικές ΟΥ.



Σχήμα 2.2: Σύνδεσμοι μεταξύ οικοσυστημικών υπηρεσιών και γεωργίας (Reid et al., 2005). (Το πλάτος του βέλους δείχνει την ένταση στις σύνδεσης μεταξύ ΟΥ και γεωργίας, ενώ το χρώμα του βέλους δείχνει το ενδεχόμενο κατανάλωσης ή/και παροχής υπηρεσιών οικοσυστήματος.)

Η έννοια των οικοσυστημικών υπηρεσιών είναι συχνά ελάχιστα κατανοητή από τους εμπλεκόμενους στη γεωργική παραγωγή, ωστόσο η αλληλεπίδραση τους είναι ζωτικής

σημασίας για την επιβίωση της ανθρωπότητας, καθώς η γεωργία καλύπτει τις βασικές ανάγκες του ανθρώπου σε τρόφιμα και άλλα προϊόντα (Bhattacharyya et al., 2022; Sandhu et al., 2012). Οι υπηρεσίες οικοσυστήματος όπως ο βιολογικός έλεγχος, η επικονίαση, η εδαφογένεση και η ανακύκλωση των θρεπτικών στοιχείων στη γεωργία είναι ζωτικής σημασίας για τη βιώσιμη παροχή τροφίμων και φυτικών ινών (Dardonville et al., 2022; Demestihis et al., 2017; Shipley et al., 2020;). Οι τάσεις μείωσης της ικανότητας των γεωργικών οικοσυστημάτων να παρέχουν υπηρεσίες αποτελούν μεγάλη απειλή για την ασφάλεια των τροφίμων σε παγκόσμιο επίπεδο (Dade et al., 2018; Villamagna et al., 2013)

Ως ένα διαχειριζόμενο οικοσύστημα, το αγροοικοσύστημα διαδραματίζει μοναδικό ρόλο τόσο στην παροχή αλλά και στη στήριξη ΟΥ, ωστόσο οι αλληλεξαρτήσεις μεταξύ της γεωργικής δραστηριότητας και του οικοσυστήματος είναι πολύπλοκες. Συγκεκριμένα άσκηση της γεωργίας «εκρέει» μια σειρά από ΟΥ που παράγει (π.χ. ίνες) από το οικοσύστημα, ενώ απαιτεί «εισροές» υπό τη μορφή ΟΥ (π.χ. επικονίαση). Παράλληλα, συντηρεί περαιτέρω άλλες υπηρεσίες (π.χ., ανακύκλωση θρεπτικών, εδαφογένεση) που ευνοούν την παραγωγή τροφής (Kragt & Robertson, 2014). Αδιαμφισβήτητα, η κατανόηση της συμβολής των διαφόρων γεωργικών πρακτικών στο εύρος των ΟΥ θα βοηθήσει τις επιλογές σχετικά με τις πιο ευεργετικές γεωργικές πρακτικές, ωστόσο για να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει να ξεπεράσει μια μεγάλη πρόκληση: τη διερεύνηση των συνδέσεων και αλληλεξαρτήσεων τους .

Οι ανθρώπινες επεμβάσεις στα οικοσυστήματα συνήθως μεγιστοποιούν την παροχή ορισμένων υπηρεσιών (π.χ., τρόφιμα, ίνες, καύσιμα), αλλά δύναται να εξαντλήσουν ένα φάσμα άλλων υπηρεσιών οι οποίες είναι απαραίτητες για την ανθρώπινη ευημερία (Fu et al., 2017; Tilman, et al., 2002). Ταυτόχρονα, όμως, η σημερινή μορφή της συμβατικής γεωργίας προκάλεσε διάφορα προβλήματα όπως η υποβάθμιση του περιβάλλοντος μέσω της ρύπανσης των υπόγειων και επιφανειακών υδάτων με αγροχημικά και νιτρικά άλατα (Navarrete et al., 2018; Richa & Gupta, 2018), η επιβάρυνση των τροφίμων με κατάλοιπα φυτοφαρμάκων και νιτρικών (Sharma & Singhvi, 2017) με αποτέλεσμα τα προαναφερθέντα να επιφέρουν επιπτώσεις στους ίδιους τους γεωργούς, στους καταναλωτές, αλλά και στο ζωικό κεφάλαιο (Sankhla et al., 2018). Έτσι, ενώ η εντατική γεωργία, η οποία χρησιμοποιεί μεγάλες ποσότητες εισροών με τη μορφή λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων, εργασίας και κεφαλαίου, κατέστησε δυνατό να αυξηθούν τα τρόφιμα για να ανταποκριθούν στις τρέχουσες παγκόσμιες ανάγκες, οι πιο πάνω πρακτικές οδήγησαν σε περιβαλλοντικές ζημιές και στην υποβάθμιση αρκετών υπηρεσιών οικοσυστήματος (Sandhu et al., 2016). Επιπλέον,

η εντατικοποίηση της παραγωγής σε ορισμένες περιοχές και η εγκατάλειψη σε άλλες, παραμένουν η κύρια απειλή για την οικολογία των αγροοικοσυστημάτων, υποβαθμίζοντας το έδαφος, το νερό και τον αέρα και μειώνοντας τη βιοποικιλότητα στα γεωργικά τοπία, υπό την κλιμακούμενη κλιματική αλλαγή (Sánchez-Bayo & Wyckhuys, 2019; Turner et al., 2016; Vermeulen et al., 2012).

Οι παραδοσιακές πρακτικές των γεωργών κατά την άσκηση της γεωργίας επηρεάζονται από τη ραγδαία αύξηση του πληθυσμού και από τη συνακόλουθη ζήτηση τροφίμων (Flies et al., 2018; Tian et al., 2021). Σενάρια προβλέπουν ότι η παγκόσμια παραγωγή τροφίμων θα πρέπει να αυξηθεί κατά 60% μέχρι το 2050 για να καλυφθούν οι διατροφικές ανάγκες του αυξανόμενου παγκόσμιου πληθυσμού (World Bank, 2017). Τα πιο πάνω στοιχεία εγείρουν τεράστιες προκλήσεις για την αιεφορία τόσο της παραγωγής τροφίμων, όσο και των αγροοικοσυστημάτων αλλά και των υπηρεσιών που προσφέρουν στην κοινωνία. Για να αντιμετωπιστεί η πρόκληση της παραγωγής τροφίμων, υπάρχουν δύο επιλογές: η χρήση των τρεχουσών γεωργικών πρακτικών σε συνδυασμό με την επέκταση της γεωργικής γης στον ίδιο ρυθμό της αύξησης του παγκόσμιου πληθυσμού ή η βελτίωση των γεωργικών πρακτικών, έτσι ώστε η απόδοση των καλλιεργειών ανά μονάδα γης να αυξηθεί. Εκτιμήσεις του FAO (2022b), δείχνουν ότι το ένα τρίτο της γης ανά το παγκόσμιο ήδη χρησιμοποιείται για γεωργικούς σκοπούς. Για να αποφευχθεί η ανεπιθύμητη παρέμβαση σε φυσικές περιοχές, θα πρέπει να δοθεί έμφαση στη δεύτερη επιλογή, στη βελτίωση των υφιστάμενων γεωργικών πρακτικών με στόχο τη μεγιστοποίηση της παραγωγής χωρίς περιβαλλοντικό κόστος.

Τα πιο πάνω καταδεικνύουν ότι η άσκηση της γεωργίας με την υφιστάμενη μορφή δεν μπορεί να είναι βιώσιμη. Το αυξανόμενο κόστος παραγωγής, η εξάρτηση από τις μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, η μείωση της βιοποικιλότητας, η ρύπανση του νερού, τα χημικά κατάλοιπα σε τρόφιμα και ζωοτροφές, η υποβάθμιση των εδαφών και οι κίνδυνοι για την υγεία των αγροτών λόγω λανθασμένων χειρισμών φυτοφαρμάκων, θέτουν σε αμφισβήτηση τη βιωσιμότητα των συμβατικών γεωργικών συστημάτων. Οι πληροφορίες σχετικά με τις καλλιέργειες και τις γεωργικές πρακτικές είναι απαραίτητες για την επίλυση πολλών περιβαλλοντικών προβλημάτων. Ο τρόπος με τον οποίο οι αγρότες διαχειρίζονται τη γη επηρεάζει σημαντικά την ανθρώπινη υγεία και ευημερία, το μέλλον της παραγωγικότητας της γης, τα γειτονικά οικοσυστήματα (π.χ. υγρότοποι και δάση) και τη βιωσιμότητα της παγκόσμιας προσφοράς τροφίμων (Foley et al., 2005).

2.3 Πλέγμα «Νερό - Ενέργεια - Τροφή» και Αγροοικοσυστήματα

2.3.1 Γενικά

Το νερό, η ενέργεια και η τροφή είναι οι βασικοί πόροι για τον άνθρωπο και ο χαρακτηρισμός των μεταξύ τους διασυνδέσεων δύναται να συμβάλει στην πληροφόρηση αναφορικά με τη βιώσιμη διαχείριση των πόρων αυτών (Salam et al., 2017; McCarl et al., 2017). Οι αυξανόμενες παγκόσμιες περιβαλλοντικές αλλαγές, απαιτούν μεγαλύτερη κατανόηση και εξέταση τόσο των δεσμών μεταξύ του νερού, της ενέργειας και των τροφίμων όσο και των αλληλεξαρτήσεων τους (Leck et al., 2015). Ωστόσο, η ταυτόχρονη διαχείριση των υδάτινων, ενεργειακών και επισιτιστικών πόρων αποτελεί μεγάλη πρόκληση εξαιτίας της ανάγκης για επίτευξη πολλαπλών και αντικρουόμενων στόχων (Rasul & Sharma, 2015). Επομένως, απαιτείται μια ολοκληρωμένη προσέγγιση κατά την οποία τα συστήματα εξετάζονται ως σύνολο (Purwanto et al., 2021). Προς αυτή την κατεύθυνση το πλέγμα «Νερό-Ενέργεια-Τροφή» (NET) αποτελεί ένα εργαλείο βιώσιμης διαχείρισης των τριών πόρων (Aboelnga & McNamara, 2018; Simpson & Jewitt, 2019).

Οι προσεγγίσεις στις μελέτες του πλέγματος NET ποικίλουν καθώς ορισμένοι φορείς επιχειρούν τη σύνδεση με την πράσινη οικονομία και τη μείωση της φτώχειας, ενώ άλλοι δίνουν έμφαση στην παγκόσμια έλλειψη πόρων και τη διαχείριση της παραγωγής τροφής. Ωστόσο, η σύνδεση των συστημάτων που διέπουν το νερό, την ενέργεια και την τροφή σε ένα ενιαίο πλέγμα αποτελεί κοινό όραμα (Allouche et al., 2015). Η πολυπλοκότητα και το εύρος του πλέγματος NET δημιουργεί επίσης προκλήσεις ως προς την ανάπτυξη, την ανάκτηση, τον υπολογισμό και τη χρήση των δεδομένων (McCarl et al., 2017). Οι στρατηγικές συχνά στηρίζονται στις προσεγγίσεις της ολοκληρωμένης διαχείρισης των υδάτων, του εδάφους και των αποβλήτων (IWRM; Integrated Natural Resources Management - INRM, Integrated Water Resources Management, ISWM; Integrated Solid Waste Management). Το γεγονός αυτό δημιούργησε μια ευρέως αποδεκτή αντίληψη για την ενοποίηση των περιβαλλοντικών συστημάτων (Roidt & Avellán, 2019).

Το πλέγμα «νερό-ενέργεια-τροφή» εξυπηρετεί την εξισορρόπηση των διαφορετικών επιδιώξεων των ενδιαφερόμενων μερών (stakeholders), διατηρώντας παράλληλα την ακεραιότητα του οικοσυστήματος μέσω της ολοκληρωμένης διαχείρισης (Mohtar & Lawford, 2016; Roidt & Avellán, 2019). Η έννοια της διασύνδεσης «πλέγμα» μπορεί να λειτουργήσει καλύτερα ως αναλυτικό εργαλείο χρησιμοποιώντας προσεγγίσεις που

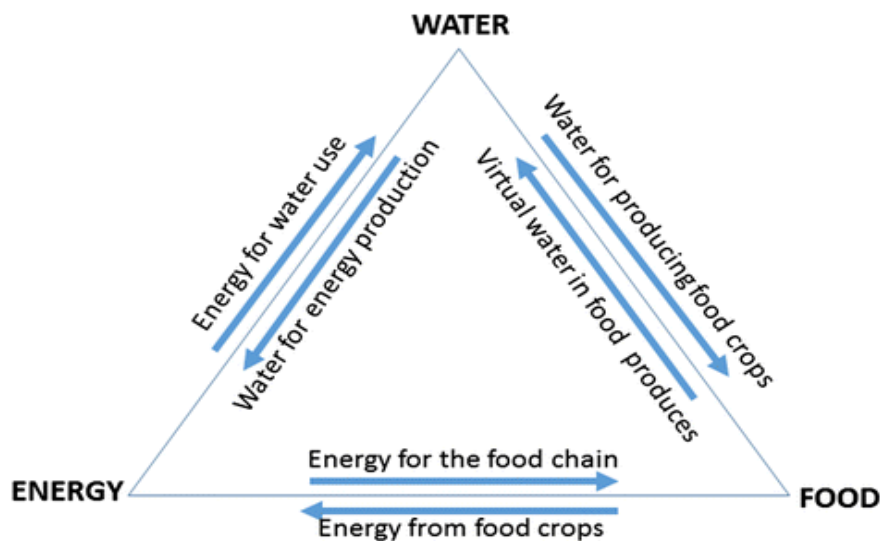
λαμβάνουν υπόψη την καινοτομία, το κοινωνικό και πολιτικό πλαίσιο, τη συνεργασία και την εφαρμογή στην πολιτική και στην πράξη (Albrecht et al., 2018) . στην ουσία, το πλέγμα προσφέρει μια πλατφόρμα για ένα σύνολο συστημάτων συνδέοντας τα υποσυστήματα νερό-ενέργεια-τρόφιμα, και περιλαμβάνει τις διασυνδέσεις, τα καυτά σημεία (hotspots) και τις αντισταθμίσεις (Mohtar, 2022).

Το πλέγμα «νερό-ενέργεια-τροφή» ανέβηκε στη διεθνή ατζέντα το 2010 με την ενσωμάτωση του για πρώτη φορά σε διεθνείς εκδηλώσεις χάραξης πολιτικής (Hoff, 2011; The World Economic Forum Water Initiative, 2012), ενώ ακολούθησε η κοινή διακήρυξη της Ευρωπαϊκής Επιτροπής και του οργανισμού UNESCO των Ηνωμένων Εθνών με τίτλο «Υλοποίηση της σύνδεσης Νερού-Ενέργειας-Τροφίμων-Οικοσυστημάτων και επίτευξη των Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης». Απώτερος στόχος ήταν η εφαρμογή της προσέγγισης του πλέγματος και η ευθυγράμμισή του με βασικούς τομείς πολιτικής που περιγράφονται στη «Νέα Ευρωπαϊκή Συναίνεση για την Ανάπτυξη» (European Consensus on Development) (European Commission, 2017) και την «Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία», έτσι ώστε να διασφαλιστεί αύξηση της ασφάλειας του νερού, της ενέργειας και των τροφίμων χωρίς να διακυβεύονται οι υπηρεσίες των οικοσυστημάτων (European Commission & UNESCO, 2021). Ένας μεγάλος αριθμός φορέων στήριξε το γεγονός αυτό και αναγνώρισε την πολυπλοκότητα και την άρρηκτη σύνδεση του κάθε τομέα (νερό-ενέργεια-τροφή-οικοσυστημικές υπηρεσίες), που στην προσέγγιση του πλέγματος δεν αντιμετωπίζεται πλέον ως ξεχωριστή οντότητα.

Η προσέγγιση πλέγματος «νερό-ενέργεια-τροφή» είναι χρήσιμη για την επίτευξη των «Στόχων της Βιώσιμης Ανάπτυξης» (ΣΒΑ), (SDG; Sustainable Development Goals) καθώς αποτελεί διεπιστημονική προσέγγιση, κατάλληλη για τη μελέτη περίπλοκων συστημάτων, όπως είναι οι διεργασίες που σχετίζονται με τον κύκλο του νερού, την παραγωγή ενέργειας και τροφής (Mohtar & Lawford, 2016; Stephan et al., 2018; Terrapon-Pfaff et al., 2018). Το πλέγμα NET συσχετίζεται άμεσα με τους εξής στόχους της Ατζέντας 2030 των Ηνωμένων Εθνών για τη βιώσιμη ανάπτυξη: «ΣΒΑ6: καθαρό νερό και υγιεινή», «ΣΒΑ7: προσιτή και καθαρή ενέργεια» και «ΣΒΑ2: SDG 2: μηδενική πείνα» (United Nations, 2022). Ως εκ τούτου, η συμβολή του πλέγματος NET στους στόχους της βιώσιμης ανάπτυξης αφορά στην αύξηση της παραγωγικότητας των πόρων με την προώθηση συνεργειών μεταξύ των τριών τομέων, η προστασία και ενίσχυση των φυσικών οικοσυστημάτων μέσω λύσεων βασισμένων στο πλέγμα και η προώθηση επενδύσεων πολλαπλού σκοπού ως βιώσιμες λύσεις (GIZ, 2022).

Υπό την σκιά της πανδημίας COVID-19, η παγκόσμια πείνα αυξήθηκε το έτος 2020. Συγκεκριμένα παρόλο που το ποσοστό υποσιτισμού παρέμεινε σχεδόν αμετάβλητο για πέντε χρόνια, αυξήθηκε από 8,4% σε περίπου 9,9% μέσα σε μόλις ένα έτος, εντείνοντας την πρόκληση της επίτευξης του στόχου για μηδενική πείνα έως το 2030. Εκτιμάται ότι 720-811 εκατομμύρια άνθρωποι στον κόσμο αντιμετώπισαν πείνα το 2020, ενώ 2,37 δισεκατομμύρια άτομα αντιμετώπισαν μέτρια ή σοβαρή επισιτιστική ανασφάλεια (FAO et al., 2021). Τα στοιχεία για το νερό και την ενέργεια είναι επίσης αποθαρρυντικά, καθώς το 2020 εκτιμάται ότι μόνο το 74% του παγκόσμιου πληθυσμού (5,8 δισεκατομμύρια άνθρωποι) χρησιμοποιούσε ασφαλές πόσιμο νερό. Τα ίδια στοιχεία αναφέρουν ότι ενώ πάνω από 2 δισεκατομμύρια άνθρωποι ζουν σε χώρες με προβλήματα λειψυδρίας, τα οποία αναμένεται να επιδεινωθούν ως αποτέλεσμα της κλιματικής αλλαγής και της αύξησης του πληθυσμού (World Health Organization, 2022), ενώ 759 εκατομμύρια άνθρωποι στον κόσμο δεν έχουν πρόσβαση σε ηλεκτρική ενέργεια (United Nations, 2021).

Το νερό, η ενέργεια και τα τρόφιμα είναι άρρηκτα συνδεδεμένα (Σχήμα 2.3) και οι όροι «επισιτιστική ασφάλεια», «ενεργειακή ασφάλεια» και «ασφάλεια νερού» είναι στενά συνυφασμένοι. Η σημαντικότητα της σύνδεσης τους καθίσταται προφανής ενόψει αυξανόμενων ελλείψεων σε φυσικούς πόρους και αυξανόμενων ρυθμών οικονομικής και πληθυσμιακής ανάπτυξης (de Amorim et al., 2018). Σύμφωνα με τους Roidt and Avellán, (2019) οι **αλληλεπιδράσεις** στο πλέγμα «νερό-ενέργεια-τροφή» μεταβάλλονται μεταξύ των τριών συνιστωσών του και οι ροές είναι: 1) νερό για ενέργεια, 2) ενέργεια για νερό, 3) νερό για τρόφιμα και 4) ενέργεια για τρόφιμα.



Σχήμα 2.3: Σχηματική απεικόνιση του πλέγματος Νερό-Ενέργεια-Τροφή (Kurian & Ardakanian, 2015)

2.3.2 Νερό και πλέγμα NET

Το νερό το οποίο προέρχεται από τους υπόγειους υδροφορείς αποτελεί μη ανανεώσιμο φυσικό πόρο, ωστόσο ανακυκλώνεται φυσικά (κύκλος του νερού). Αποτελεί βασικό συστατικό των ζωντανών οργανισμών και το ασφαλές πόσιμο νερό είναι ζωτικής σημασίας για πολλές μορφές ζωής και τους ανθρώπους. Αναφαίρετο ανθρώπινο δικαίωμα είναι το δικαίωμα στο νερό και την υγιεινή που ορίζεται ως: *«Η ικανότητα ενός πληθυσμού να διασφαλίζει τη βιώσιμη πρόσβαση σε επαρκείς ποσότητες νερού αποδεκτής ποιότητας για τη διατήρηση του βιοπορισμού, της ανθρώπινης ευημερίας και της κοινωνικοοικονομικής ανάπτυξης, για τη διασφάλιση της προστασίας από τη ρύπανση του νερού και τις καταστροφές που σχετίζονται με το νερό, καθώς και για τη διατήρηση των οικοσυστημάτων σε κλίμα ειρήνης και πολιτικής σταθερότητας»* (United Nations, 2013). Με τις κοινωνικές αλλαγές να οδηγούν στην αύξηση της ζήτησης αλλά και τις συνεχιζόμενες περιβαλλοντικές αλλαγές, είναι πιθανό να μεταβληθεί η διαθεσιμότητα του νερού. Το πλέγμα NET έχει κεντρικό ρόλο στη διαχείριση του νερού όπου, χωρίς παρέμβαση, οι προβλέψεις αναφέρουν ότι η παγκόσμια ζήτηση προβλέπεται να αυξηθεί κατά 55% μέχρι το έτος 2050 (Markantonis et al., 2019). Ομοίως, η ποσότητα ενέργειας που χρησιμοποιείται στον τομέα του νερού προβλέπεται να υπερδιπλασιαστεί έως το 2040. Αυτό σημαίνει ότι ο μισός παγκόσμιος πληθυσμός αναμένεται να ζει σε περιοχές που θα αντιμετωπίσουν λειψυδρία (GIZ, 2022). Οι συνδέσεις νερού και τροφής επίσης πρέπει να διασφαλιστούν με βιώσιμο τρόπο, καθώς πολλές βιοποριστικές δραστηριότητες (άρδευση καλλιεργειών, κτηνοτροφία κ.α.) συμβάλλουν στο εισόδημα και την επισιτιστική ασφάλεια ενός νοικοκυριού (Hall et al., 2013).

2.3.3 Ενέργεια και πλέγμα NET

Η ενεργειακή ασφάλεια έχει οριστεί από τον Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας (IEA; International Energy Agency) ως: *«η αδιάλειπτη διαθεσιμότητα πηγών ενέργειας σε προσιτή τιμή»* (IEA, 2019). Διακρίνεται στη βραχυπρόθεσμη ενεργειακή ασφάλεια, η οποία εκτιμάται με βάση την ικανότητα του ενεργειακού συστήματος να ανταπεξέρχεται στις διακυμάνσεις του ισοζυγίου προσφοράς και ζήτησης και στην μακροπρόθεσμη, η οποία εστιάζει στις ενεργειακές επενδύσεις, που διαμορφώνονται από τις οικονομικές εξελίξεις και τις περιβαλλοντικές ανάγκες. Προβλέψεις για αύξηση της παγκόσμιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας κατά 60% κατά την επόμενη δεκαετία για την κάλυψη των αναγκών του πλανήτη και με το 90% της παγκόσμιας παραγωγής ενέργειας να συνεπάγεται αυξημένη κατανάλωση νερού (π.χ. συστήματα ψύξης) (GIZ, 2022).

Η ενέργεια παρουσιάζει ισχυρή σύνδεση και με την παροχή τροφής, μια και η αυξανόμενη ζήτηση για ενεργοβόρα προϊόντα επιδεινώνει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις στην αλυσίδα παραγωγής τροφίμων. Σύμφωνα με τους Gillespie and van den Bold (2017), η εντατική παραγωγή βασικών αμυλούχων προϊόντων μέσω της μονοκαλλιέργειας, οδηγεί σε σημαντική απώλεια της βιοποικιλότητας, ενώ παράλληλα η υπερβολική χρήση αγροχημικών για την εξαγωγή περισσότερης διατροφικής ενέργειας από κάθε εκτάριο, εντείνει άλλα περιβαλλοντικά ζητήματα όπως η ρύπανση υπόγειων υδάτων και του εδάφους. Επίσης, καταγράφεται αυξημένη κατανάλωση ενέργειας και αύξηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τις κτηνοτροφικές βιομηχανίες για την τροφοδοσία της συνεχώς αυξανόμενης ζήτησης σε κρέας και γαλακτοκομικά προϊόντα. Η ενέργεια που χρησιμοποιείται σε άμεσες και έμμεσες μορφές είναι υψίστης σημασίας στην τροφική αλυσίδα, από το χωράφι μέχρι τον καταναλωτή, καθώς οι αυξημένες αποδόσεις τροφίμων, εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη χρήση λιπασμάτων, τις βελτιωμένες πρακτικές καλλιέργειας και τη διαθεσιμότητα ενεργειακών πόρων (Pereira, 2017).

2.3.4 Τροφή και πλέγμα NET

Παρόλο που η ανθρωπότητα παράγει επαρκείς ποσότητες τροφής για να διασφαλιστεί ότι κάθε άτομο καταναλώνει τρέφεται επαρκώς κάθε μέρα, η πείνα δεν έχει ακόμη ξεπεραστεί, οπότε η επισιτιστική ασφάλεια δεν είναι δεδομένη για όλους. Συγκριμένα, κατά την «Παγκόσμια Σύνοδο Κορυφής για τα Τρόφιμα» (The World Food Summit) αναφέρθηκε ότι: *«η επισιτιστική ασφάλεια υφίσταται όταν όλοι οι άνθρωποι, ανά πάσα στιγμή, έχουν φυσική και οικονομική πρόσβαση σε επαρκή, ασφαλή και θρεπτικά τρόφιμα που καλύπτουν τις διατροφικές τους ανάγκες και τις διατροφικές τους προτιμήσεις για μια ενεργή και υγιή ζωή»* (FAO, 1996). Περίπου το ένα τρίτο των τροφίμων που παράγονται παγκοσμίως δεν καταναλώνεται, υπάρχουν απώλειες κατά τη συγκομιδή, ενώ πολλά από αυτά χάνονται αργότερα λόγω των κακών εγκαταστάσεων επεξεργασίας και αποθήκευσης. Στις ανεπτυγμένες χώρες, μεγάλες ποσότητες απορρίπτονται από τις υπεραγορές, τα εστιατόρια και τα νοικοκυριά λόγω κακού προγραμματισμού των αγορών, απρόσεκτης προετοιμασίας ή υπερβολικά μεγάλων μερίδων (Sims et al., 2015). Παρόμοια σενάρια όπως και για τους άλλους πόρους (νερό-ενέργεια) προβλέπουν ότι η παγκόσμια παραγωγή τροφίμων θα πρέπει να αυξηθεί κατά 60% μέχρι το 2050 για να καλυφθούν οι διατροφικές ανάγκες του αυξανόμενου παγκόσμιου πληθυσμού. Περίπου το 70% της παγκόσμιας χρήσης νερού καταναλώνεται από τη γεωργία (World Bank, 2017) και το 30% της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας χρησιμοποιείται για την παραγωγή και τον εφοδιασμό τροφίμων.

Οι αυξήσεις αυτές αναμένεται να έχουν εκτεταμένες πιέσεις στους εδαφικούς και υδάτινους πόρους (GIZ, 2022).

2.3.5 Γεωργία και Πλέγμα NET

Το νερό και η ενέργεια είναι βασικές εισροές για την παραγωγή τροφής από τα αγροοικοσυστήματα (Ritchie & Roser, 2020). Το νερό απαιτείται κυρίως για την άρδευση των καλλιεργειών, ενώ η ενέργεια χρησιμοποιείται για τη λειτουργία των μηχανημάτων, την παραγωγή λιπασμάτων, την άρδευση και τη μεταφορά τροφίμων (Karamian et al., 2021). Η ενέργεια χρησιμοποιείται για τη συλλογή, τη μεταφορά, την άντληση και την αποστράγγιση του νερού, καθώς και για τη σπορά, την κατεργασία του εδάφους και τη συγκομιδή των καλλιεργειών. Η παραγωγή τροφίμων καταναλώνει υδάτινους και ενεργειακούς πόρους, ενώ προϊόντα και υποπροϊόντα των καλλιεργειών χρησιμοποιούνται στην παραγωγή βιοενέργειας (Yue & Guo, 2021). Η παραγωγή τροφίμων απαιτεί μεγάλες ποσότητες νερού, γης, ηλεκτρικής ενέργειας, λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων, γεωργικών μηχανημάτων και άλλων εισροών και προκαλεί σημαντικές περιβαλλοντικές αλλαγές (Li et al., 2019; Correa-Porcel et al., 2021).

Διάφορες περιβαλλοντικές συνθήκες (κυρίως κλιματική αλλαγή) επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα των πόρων επιδρώντας στην παραγωγικότητα των αγροοικοσυστημάτων (IPCC, 2021). Η διαχείριση των πόρων νερού, ενέργειας και γης γίνεται εν μέσω πιέσεων, έλλειψης τους και συγκρούσεων μεταξύ των χρηστών (Li et al., 2019). Η εξέταση των αντισταθμιστικών ωφελημάτων μεταξύ των συνιστωσών διασφαλίζει τη βιώσιμη διαχείριση τους. Όπως χαρακτηριστικά αναφέρει με ένα παράδειγμα ο Kurian (2017): «η ανάλυση του τρόπου με τον οποίο η ενέργεια για την άντληση νερού καθίσταται δυνατή, μπορεί να διασφαλίσει ότι οι υδάτινοι πόροι θα είναι διαθέσιμοι στους καταναλωτές με τη μορφή υπηρεσιών νερού».

Το νερό αποτελεί κρίσιμη εισροή για τη γεωργική παραγωγή με καίριο ρόλο στην επισιτιστική ασφάλεια, με την αρδευόμενη γεωργία να αντιπροσωπεύει το 20% της συνολικής καλλιεργούμενης γης ενώ συμβάλλει στο 40% της συνολικής παραγωγής τροφίμων παγκοσμίως (World Bank, 2017). Η αρδευόμενη γεωργία είναι, κατά μέσο όρο, τουλάχιστον διπλάσια παραγωγική ανά μονάδα γης σε σχέση με τη μη αρδευόμενη (υπό βροχή) γεωργία, επιτρέποντας έτσι μεγαλύτερη εντατικοποίηση της παραγωγής και διαφοροποίηση των καλλιεργειών (Mohtar & Lawford, 2016; World Bank, 2017). Όταν το γεωργικό νερό χρησιμοποιείται αποτελεσματικά, η παραγωγή και η απόδοση των

καλλιεργειών επηρεάζονται θετικά ενώ η μείωση του δύναται να προκαλέσει μείωση της παραγωγής και της απόδοσης (CDC, 2019).

Υπολογισμοί αναφέρουν ότι το ένα τρίτο των τροφίμων που παράγει ο άνθρωπος χάνεται ή σπαταλιέται και μαζί με αυτό περίπου το 38% της ενέργειας που καταναλώνεται στα συστήματα τροφίμων (FAO, 2022a). Η γεωργία, ως χρήστης ενέργειας, συμβάλλει στην εξάντληση των μη ανανεώσιμων ενεργειακών πόρων και στην υπερθέρμανση του πλανήτη μέσω των εκπομπών που σχετίζονται με την ενέργεια (όπως οι εκπομπές CO₂ από την καύση ορυκτών καυσίμων). Στον αντίποδα, η γεωργία είναι ταυτόχρονα παραγωγός ενέργειας μέσω ανανεώσιμων πηγών (βιοαέριο, βιομάζα, αιολική και ηλιακή ενέργεια) και η Ευρωπαϊκή Ένωση χρηματοδοτεί, μέσω της Κοινής Γεωργικής Πολιτικής επενδύσεις για την παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας στις γεωργικές εκμεταλλεύσεις και στις αγροτικές περιοχές καθώς και για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης στη γεωργία και τη μεταποίηση τροφίμων (Eurostat, 2021).

Πολύπλοκοι δεσμοί συνυπάρχουν μεταξύ της βιώσιμης ενέργειας και των τομέων τροφίμων και υδάτων, με τις ενεργειακές ανάγκες συχνά να συνδέονται άμεσα με τις γεωργικές δραστηριότητες για την παραγωγή τροφίμων ή να συνδέονται έμμεσα με την παροχή ενέργειας για τη χρήση νερού στη γεωργία (Terrapon-Pfaff et al., 2018). Πιο συγκεκριμένα σε ένα αγροοικοσύστημα η ενέργεια καταναλώνεται άμεσα μέσω της χρήσης μηχανημάτων (π.χ. καλλιέργεια αγρών με τρακτέρ), της θέρμανσης θερμοκηπίων ή ζωικών εγκαταστάσεων, ενώ ο γεωργικός τομέας χρησιμοποιεί επίσης έμμεσα ενέργεια για την παραγωγή αγροχημικών και γεωργικών μηχανημάτων με σημαντικές ποσότητες φυσικού αερίου χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ανόργανων αζωτούχων λιπασμάτων (Eurostat, 2021). Περαιτέρω ενεργειακές εισροές απαιτούνται για την αποθήκευση, την επεξεργασία, τη μεταφορά και τη διανομή των αγροτικών προϊόντων (Sims et al., 2015) και όπως διαφαίνεται η ενέργεια καταναλώνεται σε κάθε στάδιο της αγροδιατροφικής αλυσίδας από τη γεωργική παραγωγή έως την κατανάλωση τροφίμων (FAO, 2022a).

Ποσοστό 30% της παγκοσμίως διαθέσιμης ενέργειας χρησιμοποιείται για τις ανάγκες των αγροτικών συστημάτων για την παραγωγή τροφής και η ενέργεια αυτή αντιπροσωπεύει περίπου το 30% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τα συστήματα αυτά λόγω της μεγάλης εξάρτησης σε ορυκτά καύσιμα (FAO, 2022a). Οι Pellegrini and Fernández, (2018) αναφέρουν ότι σημειώθηκε παγκόσμια αύξηση 137% στη χρήση εισροών ανά εκτάριο στα αγροοικοσυστήματα, με την αύξηση να φτάνει σε 13×10^{18} J, ή το 2,6% της παγκόσμιας

πρωτογενούς ενεργειακής προσφοράς, έναντι αύξησης μόνο 10% στη χρήση γης. Σημαντικό είναι και το γεγονός ότι το 70% της ενέργειας που καταναλώνεται από τα αγροδιατροφικά συστήματα καταγράφεται στο στάδιο εξόδου των τροφίμων από τα αγροοικοσυστήματα, (μεταφορά, επεξεργασία, συσκευασία, αποστολή, αποθήκευση, εμπορία κ.λπ.) (FAO, 2022).

Αναμφίβολα, η αναγνώριση των πολύπλοκων αλληλοσυσχετίσεων μεταξύ των τομέων του νερού, της ενέργειας και των τροφίμων δημιουργεί τη βάση για μια νέα προσέγγιση στην ολοκληρωμένη διαχείριση και διακυβέρνηση. Απαιτείται δέσμευση σε όλους τους τομείς και σε όλες τις κλίμακες, έτσι ώστε να διασφαλιστεί η βιώσιμη χρήση των πόρων με παράλληλη αποφυγή της σπατάλης και της απώλειας. Είναι σαφές ότι το πλέγμα «νερό-ενέργεια-τροφή» έχει κεντρικό ρόλο να διαδραματίσει στη διαχείριση των φυσικών πόρων και στις πολιτικές για την κλιματική αλλαγή (Markantonis et al., 2019; Al-Saidi & Elagib, 2017).

Αν και το νερό και η ενέργεια προσδιορίζονται ως δύο σημαντικές εισροές και τα τρόφιμα ως σημαντική εκροή στην προσέγγιση του πλέγματος NET, εντούτοις, το έδαφος είναι επίσης μια κρίσιμη παράμετρος. Με την ανησυχία για τη συνεχιζόμενη υποβάθμιση του εδάφους λόγω της αύξησης της ζήτησης για τρόφιμα, το έδαφος πρέπει επίσης να ενσωματωθεί προς την επίτευξη του στόχου της βιωσιμότητας. (Lal et al., 2017). Στο πλαίσιο αυτό, η ποιότητα του περιβάλλοντος μπορεί να ικανοποιηθεί μόνο εάν η διαχείριση του εδάφους, των αποβλήτων και των υδάτινων πόρων γίνεται με βιώσιμο και ολοκληρωμένο τρόπο (Kurian & Ardakanian, 2015). Οι ενεργειακοί, υδάτινοι και εδαφικοί πόροι είναι απαραίτητοι για την παραγωγή οικονομικών οφελών για τον άνθρωπο (Li et al., 2019) και το έδαφος αποτελεί βασικό θεμέλιο της σχέσης NET. Η ποιότητα εδάφους είναι ένας καθοριστικός παράγοντας της επάρκειας και ποιότητας τροφίμων, της ενέργειας, του νερού και της εντατικής παραγωγικότητας των αγροοικοσυστημάτων (Lal et al., 2017). Οι εδαφικοί πόροι είναι πεπερασμένοι, επομένως θα πρέπει να δοθεί υψηλή προτεραιότητα στην προστασία της υγείας και της ποιότητας του εδάφους (Lal, 2015). Η προτεραιότητα αυτή εντείνεται καθώς η ραγδαία αύξηση του ανθρώπινου πληθυσμού και η αυξανόμενη κατανάλωση ασκούν επιπρόσθετη πίεση στα εδάφη μέσω της εντατικοποίησης της γεωργικής παραγωγής για την αύξηση της απόδοσης των καλλιεργειών ανά εδαφική μονάδα (Kopittke et al., 2019).

2.4 Γεωργία Άνθρακα και Αγροικοσυστήματα

2.4.1 Γενικά

Ο ρόλος των αγροικοσυστημάτων στη δέσμευση και αποθήκευση άνθρακα και η ικανότητα τους να συμβάλουν στο μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, καθορίζεται από ένα σύνολο πρακτικών που εφαρμόζονται κατά τη διαχείριση τους (Lal, 2015). Η Γεωργία Άνθρακα (ΓΑ) σε επίπεδο αγροτικού τομέα αναφέρεται σε πρακτικές διαχείρισης γεωργικών εκμεταλλεύσεων που αποσκοπούν στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και στην αποθήκευση άνθρακα (European Union, 2021). Συνοπτικά, οι πρακτικές της ΓΑ αναφέρονται τόσο σε δραστηριότητες που μπορούν να δεσμεύσουν άνθρακα στη φυτική βιομάζα και στο έδαφος ή/και να αποφύγουν ή να μειώσουν την έκλυση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (Evans et al., 2015; Tang et al., 2016). Αναφέρονται επίσης σε ευρύτερες πρακτικές τοπίου, όπως η ανθρωπογενής αναγέννηση, η φύτευση δέντρων, η αποφυγή της αποψίλωσης και η διαχείριση των πυρκαγιών (Baumber et al., 2019).

Κατά τη διαδικασία της ΓΑ παράγονται επιπρόσθετα οφέλη πέρα από την αποθήκευση άνθρακα, όπως αύξηση της παραγόμενης βιομάζας και κατ' επέκταση αύξηση της παραγωγικότητας, η βελτίωση της ποιότητας του νερού, η μείωση των απαιτήσεων σε ενέργεια και λιπάσματα και ο έλεγχος παράσιτων (Bates, 2010; Sharma, Kaushal, et al., 2021). Έτσι, εκτός από τη ρύθμιση του κλίματος, μια σειρά από οικοσυστημικές υπηρεσίες παρέχονται ταυτόχρονα στη ΓΑ κατά τη διαχείριση της φυτικής βιομάζας για τη δέσμευση άνθρακα παρουσιάζοντας μια ευκαιρία για βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος (Baumber et al., 2019; Lin et al., 2013).

Ως ΓΑ ορίζεται επίσης και ένα «πράσινο» επιχειρηματικό μοντέλο που στοχεύει στη δέσμευση του άνθρακα ή/και στη μείωση της απελευθέρωσης άνθρακα στην ατμόσφαιρα (European Union, 2021). Το επιχειρηματικό αυτό μοντέλο αποσκοπεί στο μετριασμό της κλιματικής αλλαγής, ανταμείβοντας τους αγρότες για την εφαρμογή φιλικών προς το κλίμα πρακτικών κατά τη διαχείριση των γεωργικών τους εκμεταλλεύσεων. Η χρηματοδότηση προέρχεται από δημόσιους πόρους, όπως η Κοινή Αγροτική Πολιτική, ή από ιδιωτικές πηγές μέσω αλυσίδων εφοδιασμού ή αγορών άνθρακα. Το πράσινο επιχειρηματικό μοντέλο ΓΑ πέρα από την δέσμευση του άνθρακα στα οικοσυστήματα και τη μείωση της έκλυσης άνθρακα στην ατμόσφαιρα, συμβάλει θετικά στην αύξηση της βιοποικιλότητας και των φυσικών τοπίων (Tang et al., 2019). Ενισχύει την ανθεκτικότητα των γεωργικών και

δασικών εκτάσεων προς την κλιματική αλλαγή, προσφέροντας παράλληλα ένα πρόσθετο εισόδημα για τους διαχειριστές γης (Tang et al., 2016).

Ιδιαίτερη έμφαση στη γεωργία και στο ρόλο που μπορεί να διαδραματίσει στο μετριασμό της κλιματικής αλλαγής, ανάμεσα σε άλλους τομείς, δόθηκε εξαιτίας της Συμφωνίας του Παρισιού (United Nations, 2015). Η συμφωνία του Παρισιού έθεσε ως στόχο: «τη συγκράτηση της αύξησης της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας σε επίπεδα πολύ κάτω των 2°C πάνω από τα προβιομηχανικά επίπεδα και συνέχιση των προσπαθειών για τον περιορισμό της αύξησης της θερμοκρασίας σε 1,5°C πάνω από τα προβιομηχανικά επίπεδα» (Lynch et al., 2021).

Σε γενικές γραμμές, η ΓΑ ως φυσική ή ανθρωπογενής διαδικασία δέσμευσης άνθρακα από την ατμόσφαιρα συμβάλλει στους κλιματικούς στόχους συνεισφέροντας στον κύκλο του άνθρακα εντός των οικοσυστημάτων και επιτρέποντας στο φυσικό περιβάλλον να λειτουργήσει ως καταβόθρα άνθρακα (Pant et al. 2021; Seddon et al., 2021). Υπάρχει ένα παγκόσμιο ρεύμα προς αυτή την κατεύθυνση, με τους αγρότες να εφαρμόζουν ΓΑ πιθανότατα χωρίς να το γνωρίζουν, καθώς αυτή υλοποιείται κατά τη μετάβαση σε γεωργικές πρακτικές που ενισχύουν την αποθήκευση άνθρακα και μειώνουν τις εκπομπές σε επίπεδο αγροκτήματος. Αυτή η ολοκληρωμένη προσέγγιση για τη βελτιστοποίηση της δέσμευσης του άνθρακα με την εφαρμογή πρακτικών που βελτιώνουν το ρυθμό με τον οποίο το CO₂ απομακρύνεται από την ατμόσφαιρα και αποθηκεύεται στη φυτική βιομάζα ή/και στην οργανική ύλη του εδάφους συναντάται συχνά σε πρακτικές οι οποίες είναι κοινές στη βιολογική γεωργία, την αναγεννητική γεωργία, την περμακουλτούρα και άλλες προσεγγίσεις στην παραγωγή τροφίμων (Bates, 2010).

Τα πιο αποτελεσματικά παραδείγματα πρακτικών αποθήκευσης άνθρακα κατά τη ΓΑ στα οικοσυστήματα σύμφωνα με τη Ευρωπαϊκή Επιτροπή είναι (European Union, 2021):

- i. Αειφορική διαχείριση των δασών, συμπεριλαμβανομένων πρακτικών φιλικών προς τη βιοποικιλότητα. Φύτευση νέων δέντρων και αποκατάσταση υποβαθμισμένων δασών, που να απομακρύνουν το CO₂ από την ατμόσφαιρα μακροπρόθεσμα, παρέχοντας ταυτόχρονα οικοσυστημικές υπηρεσίες και ενισχύοντας τη βιοποικιλότητα.
- ii. Αγροδασοπονία και άλλες μορφές μικτής γεωργίας, περιλαμβάνοντας συστήματα διαχείρισης χρήσεων γης στα οποία η ξυλώδης βλάστηση (δέντρα ή θάμνοι) καλλιεργείται σκόπιμα σε συνδυασμό με συστήματα φυτικής ή/και ζωικής

παραγωγής στην ίδια έκταση. Η αγροδοασοπονία διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη δέσμευση του άνθρακα, συνδυάζοντας σημαντικά αποτελέσματα μετριασμού με οφέλη για οικοσυστήματα και τη βιοποικιλότητα.

- iii. Χρήση συγκαλλιιεργειών, καλλιιεργειών κάλυψης και καλλιιεργητικών πρακτικών διατήρησης, με στόχο την προστασία των εδαφών και ενίσχυση του οργανικού άνθρακα του εδάφους σε υποβαθμισμένες καλλιιεργήσιμες εκτάσεις.
- iv. Μετατροπή γαιών (π.χ. καλλιιεργήσιμων εκτάσεων σε αγρανάπαυση ή εκτάσεων αγρανάπαυσης σε μόνιμες χορτολιβαδικές εκτάσεις).
- v. Αποκατάσταση τυρφώνων και υγροτόπων, για τη μείωση της οξείδωσης του υπάρχοντος αποθέματος άνθρακα και αύξηση της δυνατότητας δέσμευσης άνθρακα.

Όπως γίνεται αντιληπτό, τα αγροοικοσυστήματα διαδραματίζουν κεντρικό ρόλο στη ΓΑ, αφενός ως σημαντικοί παραγωγοί (απελευθέρωση) αερίων του θερμοκηπίου και αφετέρου ως ισχυρές δεξαμενές άνθρακα στο έδαφος και τη βιομάζα. Βρίσκονται στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος, καθώς η κλιματική αλλαγή δημιουργεί νέες απαιτήσεις για τη γεωργία, δεδομένου ότι η παραγωγή τροφίμων είναι μια από τις σημαντικότερες πηγές ανθρωπογενών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (Lynch et al., 2021). Η γεωργική δραστηριότητα επηρεάζει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (CO₂, CH₄ και N₂O) και κατά συνέπεια το κλίμα μέσω της καλλιέργειας και διατάραξης του εδάφους, της αφαίρεσης βιομάζας, αλλά και μέσω της κατανάλωσης των καυσίμων κατά τη χρήση γεωργικών μηχανημάτων και την άρδευση, καθώς και κατά την παραγωγή και χρήση λιπασμάτων.

2.4.2 Η δέσμευση και αποθήκευση άνθρακα στη βιομάζα οπωρώνων

Στα αγροοικοσυστήματα, όπως και σε όλα τα χερσαία οικοσυστήματα, η δεξαμενή του άνθρακα και η μεταβολή της με την πάροδο του χρόνου καθορίζονται από την ισορροπία μεταξύ εισροών και εκροών. Συγκεκριμένα, η μεταβολή οφείλεται στην εισροή άνθρακα από τις ρίζες των φυτών, υπό μορφή φυτικών υπολειμμάτων και οργανικών βελτιωτικών ουσιών και στην εκροή που προκύπτει από την αποσύνθεση της οργανικής ύλης του εδάφους από ετερότροφους εδαφικούς οργανισμούς, στη διάβρωση και στην έκλυση (Akiujärvi et al., 2014; Colombi et al., 2019).

Ένας τρόπος επίλυσης των υφιστάμενων περιβαλλοντικών προβλημάτων μέσω της Γεωργίας Άνθρακα είναι η εστίαση στην αξιοποίηση της πρακτικής καλλιέργειας των πολυετών οπωροφόρων δέντρων. Συγκεκριμένα, η ικανότητα των πολυετών οπωροφόρων δέντρων για δέσμευση άνθρακα στη βιομάζα τους συμβάλει στην αντιμετώπιση των

αρνητικών συνεπειών της κλιματικής αλλαγής συμβάλλοντας στην αποθήκευση άνθρακα και στο εμπόριο άνθρακα (Sahoo et al., 2021). Επιπρόσθετα, εντοπίζονται πρόσθετα οφέλη όπως η αύξηση του αγροτικού εισοδήματος και η παροχή οικοσυστημικών υπηρεσιών (Sardiñas et al., 2022). Σύμφωνα με τους Jansson et al. (2021), τα κυριότερα χαρακτηριστικά που πρέπει να διαθέτουν οι καλλιέργειες που προορίζονται για ΓΑ είναι: (1) αυξημένη υπόγεια διαθεσιμότητα άνθρακα για μεγαλύτερη και βαθύτερη βιομάζα ριζών, (2) αλληλεπιδράσεις μικροβιακών για αυξημένη ισχύ της ριζόσφαιρας που διευκολύνουν την απόκτηση θρεπτικών στοιχείων και την αποδοτικότητα χρήσης νερού και (3) αυξημένη ισχύ της έντασης για ενισχυμένη φωτοσύνθεση και συσσώρευση βιομάζας.

Τα αγροοικοσυστήματα, όπως είναι οι οπωρώνες, έχουν την ικανότητα να αποθηκεύουν άνθρακα μακροπρόθεσμα στο έδαφος αλλά και στα ξυλώδη μέρη τους (βιομάζα) διαδραματίζοντας θεμελιώδη ρόλο στη δέσμευση και αποθήκευση άνθρακα (Bithas και Latinopoulos, 2021). Αυτό είναι ιδιαίτερα κατορθωτό με την υιοθέτηση εκ μέρους των γεωργών πρακτικών διαχείρισης της γης που μεγιστοποιούν τη δέσμευση του CO₂. Ανάλογα με τις πρακτικές που υιοθετούνται σε κάθε οπωρώνα, παρουσιάζεται υψηλό καθαρό ισοζύγιο άνθρακα ενώ παράλληλα ένα μεγάλο ποσοστό άνθρακα βρίσκεται αποθηκευμένο στην υπέργεια και υπόγεια βιομάζα καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του οπωρώνα (Montanaro et al., 2017). Διαφορετικές πρακτικές διαχείρισης και καλλιέργειας δύνανται να τροποποιήσουν την αποτελεσματικότητα της ανταλλαγής άνθρακα, ιδιαίτερα μέσω της επίδρασης που έχουν στη φυσιολογία των φυτών (Nardino et al., 2012)

Ένα σύνολο πρακτικών κατάλληλο για ΓΑ σε οπωρώνες απαρτίζουν οι γεωργικές πρακτικές όπως: 1) η μειωμένη κατεργασία εδάφους (ανάπτυξη ριζών, αύξηση μικροβιακής δραστηριότητας, προστασία εδαφών έναντι εντατικής κατεργασίας), 2) η μειωμένη εφαρμογή συνθετικών λιπασμάτων, (αντί αυτού εφαρμογή κομπόστας, εδαφοβελτιωτικών και οργανικών λιπασμάτων), 3) οι καλλιέργειες κάλυψης, 4) η αμειψισπορά, 5) τα μέτρα για έλεγχο της διάβρωσης (αναβαθμίδες, φύτευση), 6) η ορθολογική άρδευση, 7) η μείωση χρήσης καυσίμων και 8) η ενσωμάτωση υπολειμμάτων καλλιεργειών (Toensmeier & Herren, 2016). Οι δενδρώδεις καλλιέργειες μπορεί να αυξήσουν τα ποσοστά δέσμευσης άνθρακα κατά 5-10 φορές, προσφέροντας πρόσθετα οφέλη με τη μορφή υπηρεσιών οικοσυστήματος και οφέλη για τους αγρότες (Toensmeier, 2017). Ιδιαίτερη συμβολή στο ισοζύγιο άνθρακα παρουσιάζουν οι ώριμοι οπωρώνες (οπωρώνες σε παραγωγική φάση), όπου καταγράφουν ψηλότερο απόθεμα άνθρακα από τη βιομάζα των δέντρων, με αποτέλεσμα παρόμοιο ή και υψηλότερο δυναμικό δέσμευσης άνθρακα από άλλους τύπους

καλλιιεργειών (λιβάδια, ετήσιες καλλιέργειες, πατάτα κ.α.) (Pacchiarelli et al., 2022). Επιπρόσθετα, σε σύγκριση με άλλες καλλιέργειες οι πολυετείς δενδρώδεις είναι σε θέση να δεσμεύουν C για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα με μικρότερες ετήσιες διακυμάνσεις (Kongsager et al., 2012).

Η ικανότητα δέντρων για δέσμευση και αποθήκευση άνθρακα, στηρίζεται στον υπολογισμό και εκτίμηση της παραγόμενης ολικής βιομάζας των δέντρων (υπέργεια και υπόγεια βιομάζα) (Panzacchi et al., 2012). Το δυναμικό των πολυετών δενδρωδών συστημάτων στον μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής μπορεί να γίνει κατορθωτό με τον υπολογισμό της βιομάζας τους που μπορεί να αποθηκεύει σημαντικές ποσότητες άνθρακα (Plassmann & Norton, 2017). Η παραγωγή βιομάζας συμβάλει σημαντικά στη δέσμευση άνθρακα στα δέντρα και για βελτιωθούν οι εκτιμήσεις του προϋπολογισμού άνθρακα (carbon budget) απαιτείται σύνδεση μεταξύ της βιομάζας μεμονωμένων δένδρων και συνολικών εκτιμήσεων (Patil & Kumar, 2017). Οι αλλομετρικές εξισώσεις αποτελούν ένα χρήσιμο και αποδοτικό εργαλείο υπολογισμού της βιομάζας, καθώς λαμβάνουν υπόψη τη σχέση που αναπτύσσεται ανάμεσα σε διάφορα βιομετρικά χαρακτηριστικά των δέντρων (διάμετρος κορμού, ύψος δέντρου κ.α.) (Miranda et al., 2017). Οι αλλομετρικές των δέντρων για υπολογισμό της βιομάζας χρησιμοποιούνται ευρέως στα δασικά είδη (Chave et al., 2014), ενώ η χρήση τους στα γεωργικά είδη δεν είναι τόσο διαδεδομένη (Ledo et al., 2018; Pacchiarelli et al., 2022). Η χρήση των αλλομετρικών εξισώσεων για την εκτίμηση δέσμευση άνθρακα στη βιομάζα δέντρων, συμβάλει στην γρήγορη, αξιόπιστη και αποδοτική αποτύπωση της κατάστασης σε ένα αγροοικοσύστημα. Ως εκ τούτου, με τη συγκέντρωση απαραίτητων μετρήσεων οι οπωρώνες δύνανται να παρακολουθούνται και να λαμβάνονται εκτιμήσεις για τα αέρια του θερμοκηπίου και κατ' επέκταση για τη δυνατότητα τους να συμβάλουν στον μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής (IPCC, 2019).

Βιβλιογραφία

- Aboelnga, T. H., & McNamara, I. (2018). *Water Energy Food Security Nexus Literature Review. A Review of Nexus Literature and ongoing Nexus Initiatives for Policymakers*. Nexus Regional Dialogue Programme (NRD) and German Society for International Cooperation (GIZ).
- Abson, D. J., von Wehrden, H., Baumgärtner, S., Fischer, J., Hanspach, J., Härdtle, W., Heinrichs, H., Klein, A. M., Lang, D. J., Martens, P., & Walmsley, D. (2014). Ecosystem services as a boundary object for sustainability. *Ecological Economics*, *103*, 29–37. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.04.012>
- Akujärvi, A., Heikkinen, J., Palosuo, T., & Liski, J. (2014). Carbon budget of Finnish croplands — Effects of land use change from natural forest to cropland. *Geoderma Regional*, *2-3*, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2014.09.003>
- Al-Saidi, M., & Elagib, N. A. (2017). Towards understanding the integrative approach of the water, energy and food nexus. *Science of the Total Environment*, *574*, 1131–1139. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.046>
- Albert, C., Schröter-Schlaack, C., Hansjürgens, B., Dehnhardt, A., Döring, R., Job, H., Köppel, J., Krätzig, S., Matzdorf, B., Reutter, M., Schaltegger, S., Scholz, M., Siegmund-Schultze, M., Wiggering, H., Woltering, M., & von Haaren, C. (2017). An economic perspective on land use decisions in agricultural landscapes: Insights from the TEEB Germany Study. *Ecosystem Services*, *25*, 69–78. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.03.020>
- Albrecht, T. R., Crootof, A., & Scott, C. A. (2018). The Water-Energy-Food Nexus: A systematic review of methods for nexus assessment. *Environmental Research Letters*, *13*, 4. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaa9c6>
- Alexoaei, A. P., Robu, R. G., Cojanu, V., Miron, D., & Holobiuc, A.-M. (2022). Good Practices in Reforming the Common Agricultural Policy to Support the European Green Deal – A Perspective on the Consumption of Pesticides and Fertilizers. *Www.amfiteatrueconomic.ro*, *24(60)*, 525. <https://doi.org/10.24818/ea/2022/60/525>
- Allen, W. J., Bufford, J. L., Barnes, A. D., Barratt, B. I. P., Deslippe, J. R., Dickie, I. A., Goldson, S. L., Howlett, B. G., Hulme, P. E., Lavorel, S., O'Brien, S. A., Waller, L. P., & Tylianakis, J. M. (2022). A network perspective for sustainable agroecosystems. *Trends in Plant Science*. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2022.04.002>
- Allouche, J., Middleton, C., & Gyawali, D. (2015). Technical veil, hidden politics: Interrogating the power linkages behind the nexus. *Water Alternatives*, *8*, 610–626.

- Azarbad, H. (2022). Conventional vs. Organic Agriculture—Which One Promotes Better Yields and Microbial Resilience in Rapidly Changing Climates? *Frontiers in Microbiology*, *13*. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.903500>
- Balafoutis, A., Beck, B., Fountas, S., Vangeyte, J., Wal, T., Soto, I., Gómez-Barbero, M., Barnes, A., & Eory, V. (2017). Precision Agriculture Technologies Positively Contributing to GHG Emissions Mitigation, Farm Productivity and Economics. *Sustainability*, *9*(8), 1339. <https://doi.org/10.3390/su9081339>
- Barbieri, P., Pellerin, S., & Nesme, T. (2017). Comparing crop rotations between organic and conventional farming. *Scientific Reports*, *7*(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-14271-6>
- Bates, A. K. (2010). *The biochar solution: carbon farming and climate change*. New Society Publishers.
- Baumber, A., Metternicht, G., Cross, R., Ruoso, L.-E., Cowie, A. L., & Waters, C. (2019). Promoting co-benefits of carbon farming in Oceania: Applying and adapting approaches and metrics from existing market-based schemes. *Ecosystem Services*, *39*, 100982. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.100982>
- Bedini, S., Avio, L., Sbrana, C., Turrini, A., Migliorini, P., Vazzana, C., & Giovannetti, M. (2013). Mycorrhizal activity and diversity in a long-term organic Mediterranean agroecosystem. *Biology and Fertility of Soils*, *49*(7), 781–790. <https://doi.org/10.1007/s00374-012-0770-6>
- Bhattacharyya, P., Santra, P., Mandal, D., & Mondal, B. (2022). Concept and Approaches of Ecosystem Services in Agriculture. *Pricing of Ecosystem Services in Agriculture: A Basis of Crop Insurance*, 1–16. https://doi.org/10.1007/978-981-19-4416-1_1
- Bommarco, R., Kleijn, D., & Potts, S. G. (2013). Ecological intensification: harnessing ecosystem services for food security. *Trends in Ecology & Evolution*, *28*(4), 230–238. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2012.10.012>
- Braat, L. C., & de Groot, R. (2012). The ecosystem services agenda: bridging the worlds of natural science and economics, conservation and development, and public and private policy. *Ecosystem Services*, *1*(1), 4–15. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.07.011>
- Burkhard, B., & Maes, J. (2017). Mapping Ecosystem Services. *Advanced Books*, *1*, e12837. <https://doi.org/10.3897/ab.e12837>
- Cabell, J. F., & Oelofse, M. (2012). An Indicator Framework for Assessing Agroecosystem Resilience. *Ecology and Society*, *17*(1). <https://doi.org/10.5751/es-04666-170118>
- Carvalho, F. P. (2017). Pesticides, environment, and food safety. *Food and Energy Security*,

6(2), 48–60. <https://doi.org/10.1002/fes3.108>

- CDC. (2019). *Agricultural Water*. CDC. <https://www.cdc.gov/healthywater/other/agricultural/index.html>
- Chabbi, A., Lehmann, J., Ciais, P., Loescher, H. W., Cotrufo, M. F., Don, A., SanClements, M., Schipper, L., Six, J., Smith, P., & Rumpel, C. (2017). Aligning agriculture and climate policy. *Nature Climate Change*, 7(5), 307–309. <https://doi.org/10.1038/nclimate3286>
- Chaudhary, S., McGregor, A., Houston, D., & Chettri, N. (2015). The evolution of ecosystem services: A time series and discourse-centered analysis. *Environmental Science & Policy*, 54, 25–34. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.04.025>
- Chave, J., Réjou-Méchain, M., Búrquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M. S., Delitti, W. B. C., Duque, A., Eid, T., Fearnside, P. M., Goodman, R. C., Henry, M., Martínez-Yrizar, A., Mugasha, W. A., Muller-Landau, H. C., Mencuccini, M., Nelson, B. W., Ngomanda, A., Nogueira, E. M., Ortiz-Malavassi, E., & Péliissier, R. (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, 20(10), 3177–3190. <https://doi.org/10.1111/gcb.12629>
- Chopin, P., Bergkvist, G., & Hossard, L. (2019). Modelling biodiversity change in agricultural landscape scenarios - A review and prospects for future research. *Biological Conservation*, 235, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.03.046>
- Clark, M., & Tilman, D. (2017). Comparative analysis of environmental impacts of agricultural production systems, agricultural input efficiency, and food choice. *Environmental Research Letters*, 12(6), 064016. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa6cd5>
- Colombi, T., Walder, F., Büchi, L., Sommer, M., Liu, K., Six, J., van der Heijden, M. G. A., Charles, R., & Keller, T. (2019). On-farm study reveals positive relationship between gas transport capacity and organic carbon content in arable soil. *SOIL*, 5(1), 91–105. <https://doi.org/10.5194/soil-5-91-2019>
- Correa-Porcel, V., Piedra-Muñoz, L., & Galdeano-Gómez, E. (2021). Water–Energy–Food Nexus in the Agri-Food Sector: Research Trends and Innovating Practices. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(24), 12966. <https://doi.org/10.3390/ijerph182412966>
- Costanza, R., d’Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O’Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P., & van den Belt, M. (1997). The value of the world’s ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(6630), 253–260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>

- Costanza, R., de Groot, R., Braat, L., Kubiszewski, I., Fioramonti, L., Sutton, P., Farber, S., & Grasso, M. (2017). Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go? *Ecosystem Services*, 28(A), 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.09.008>
- Costanza, R., de Groot, R., Sutton, P., van der Ploeg, S., Anderson, S. J., Kubiszewski, I., Farber, S., & Turner, R. K. (2014). Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, 26(26), 152–158. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002>
- Czúcz, B., Arany, I., Potschin-Young, M., Bereczki, K., Kertész, M., Kiss, M., Aszalós, R., & Haines-Young, R. (2018). Where concepts meet the real world: A systematic review of ecosystem service indicators and their classification using CICES. *Ecosystem Services*, 29, 145–157. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.11.018>
- Dade, M. C., Mitchell, M. G. E., McAlpine, C. A., & Rhodes, J. R. (2018). Assessing ecosystem service trade-offs and synergies: The need for a more mechanistic approach. *Ambio*, 48(10), 1116–1128. <https://doi.org/10.1007/s13280-018-1127-7>
- Daily, G. C. (1997). *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems*. Island Press.
- Dale, V. H., & Polasky, S. (2007). Measures of the effects of agricultural practices on ecosystem services. *Ecological Economics*, 64(2), 286–296. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.05.009>
- Dardonville, M., Legrand, B., Clivot, H., Bernardin, C., Bockstaller, C., & Therond, O. (2022). Assessment of ecosystem services and natural capital dynamics in agroecosystems. *Ecosystem Services*, 54, 101415. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2022.101415>
- de Amorim, W. S., Valduga, I. B., Ribeiro, J. M. P., Williamson, V. G., Krauser, G. E., Magtoto, M. K., & de Andrade Guerra, J. B. S. O. (2018). The nexus between water, energy, and food in the context of the global risks: An analysis of the interactions between food, water, and energy security. *Environmental Impact Assessment Review*, 72, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2018.05.002>
- de Baan, L., Alkemade, R., & Koellner, T. (2012). Land use impacts on biodiversity in LCA: a global approach. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 18(6), 1216–1230. <https://doi.org/10.1007/s11367-012-0412-0>
- de Groot, R. (1992). *Functions of Nature*. Wolters-Noordhoff B.V.
- de Groot, R. S., Wilson, M. A., & Boumans, R. M. J. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services.

- Ecological Economics*, 41(3), 393–408. [https://doi.org/10.1016/s0921-8009\(02\)00089-7](https://doi.org/10.1016/s0921-8009(02)00089-7)
- Demestihias, C., Plénet, D., Génard, M., Raynal, C., & Lescourret, F. (2017). Ecosystem services in orchards. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(2). <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0422-1>
- Desai, B. K., & Pujari, B. T. (2014). *Sustainable agriculture: A vision for future*. New India Publishing Agency. <https://books.google.com.cy/books?id=1FLd5OR5sFAC>
- Du, C., Li, L., & Effah, Z. (2022). Effects of Straw Mulching and Reduced Tillage on Crop Production and Environment: A Review. *Water*, 14(16), 2471. <https://doi.org/10.3390/w14162471>
- Dudeja, P., & Singh, A. (2018). *Good Agricultural Practices*.
- Edwards, C. A. (1990). *Sustainable agricultural systems* (p. 4). Soil And Water Conservation Society.
- Ehrlich, P. R., & Ehrlich, A. H. (1981). *Extinction: The Causes and Consequences of the Disappearance of Species*. Random House (pp. 72–98). Random House.
- European Commission. (2017). *European Consensus on Development*. International-Partnerships.ec.europa.eu. https://international-partnerships.ec.europa.eu/policies/european-development-policy/european-consensus-development_en
- European Commission, & UNESCO. (2021). *Implementing the Water-Energy-Food-Ecosystems Nexus and Achieving the Sustainable Development Goals*. UNESCO Publishing.
- European Union. (2021). *Factsheet - Sustainable Carbon Cycles*. European Commission - Press Corner. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/fs_21_6692
- European Union. (2022a). *Agriculture - EUR-Lex*. Europa.eu. https://eur-lex.europa.eu/summary/chapter/agriculture.html?root_default=SUM_1_CODED%3D03
- European Union. (2022b). *CAP at a glance*. https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy/cap-overview/cap-glance_en
- European Union. (2022c). *Organics at a glance*. Agriculture.ec.europa.eu. https://agriculture.ec.europa.eu/farming/organic-farming/organics-glance_en#legislation
- Eurostat. (2021). *Agri-environmental indicator - energy use*. Ec.europa.eu. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Agri-environmental_indicator_-_energy_use#Analysis_at_EU_and_country_level

- Evans, M. C. (2018). Effective incentives for reforestation: lessons from Australia's carbon farming policies. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 32, 38–45. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.04.002>
- Eyhorn, F., Muller, A., Reganold, J. P., Frison, E., Herren, H. R., Luttikholt, L., Mueller, A., Sanders, J., Scialabba, N. E.-H., Seufert, V., & Smith, P. (2019). Sustainability in global agriculture driven by organic farming. *Nature Sustainability*, 2(4), 253–255. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0266-6>
- Eyre, M. D., McMillan, S. D., & Critchley, C. N. R. (2016). Ground beetles (Coleoptera, Carabidae) as indicators of change and pattern in the agroecosystem: Longer surveys improve understanding. *Ecological Indicators*, 68, 82–88. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.11.009>
- Falloon, P., & Betts, R. (2010). Climate impacts on European agriculture and water management in the context of adaptation and mitigation—The importance of an integrated approach. *Science of the Total Environment*, 408(23), 5667–5687. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.05.002>
- FAO. (1996). *World Food Summit - Report of the World Food Summit*. www.fao.org. <https://www.fao.org/3/w3548e/w3548e00.htm>
- FAO. (2022a). *Home | Energy | Food and Agriculture Organization of the United Nations*. www.fao.org. <https://www.fao.org/energy/home/en/>
- FAO. (2022b). *Land use statistics and indicators. Global, regional and country trends – 2000–2020. FAOSTAT Analytical Brief, no. 48*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0963en>
- FAO, IFAD, UNICEF, WFP, & WHO. (2021). *The State of Food Security and Nutrition in the World 2021*. FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO. <https://doi.org/10.4060/cb4474en>
- Flies, E. J., Brook, B. W., Blomqvist, L., & Buettel, J. C. (2018). Forecasting future global food demand: A systematic review and meta-analysis of model complexity. *Environment International*, 120, 93–103. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.07.019>
- Foley, J. A. (2005). Global Consequences of Land Use. *Science*, 309(5734), 570–574. <https://doi.org/10.1126/science.1111772>
- Ford Denison, R., & McGuire, A. M. (2015). What should agriculture copy from natural ecosystems? *Global Food Security*, 4, 30–36. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2014.12.002>
- Foundation for Sustainable Development. (2022). *Ecosystem Services Partnership*.

Ecosystem Services Partnership. <https://www.es-partnership.org/#:~:text=Ecosystem%20Services%20Partnership%20%2D%20Worldwide%20network>

- Francis, C., Lieblein, G., Gliessman, S., Breland, T. A., Creamer, N., Harwood, R., Salomonsson, L., Helenius, J., Rickerl, D., Salvador, R., Wiedenhoft, M., Simmons, S., Allen, P., Altieri, M., Flora, C., & Poincelot, R. (2003). Agroecology: The Ecology of Food Systems. *Journal of Sustainable Agriculture*, 22(3), 99–118. https://doi.org/10.1300/j064v22n03_10
- Frow, P., McColl-Kennedy, J. R., & Payne, A. (2016). Co-creation practices: Their role in shaping a health care ecosystem. *Industrial Marketing Management*, 56, 24–39. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2016.03.007>
- Fu, Q., Li, B., Hou, Y., Bi, X., & Zhang, X. (2017). Effects of land use and climate change on ecosystem services in Central Asia's arid regions: A case study in Altay Prefecture, China. *Science of the Total Environment*, 607-608, 633–646. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.241>
- Garbach, K., Milder, J. C., Montenegro, M., Karp, D. S., & DeClerck, F. A. J. (2014). Biodiversity and Ecosystem Services in Agroecosystems. *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*, 21–40. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-52512-3.00013-9>
- Gibbons, D., Morrissey, C., & Mineau, P. (2014). A review of the direct and indirect effects of neonicotinoids and fipronil on vertebrate wildlife. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(1), 103–118. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3180-5>
- Gillespie, S., & van den Bold, M. (2017). Agriculture, Food Systems, and Nutrition: Meeting the Challenge. *Global Challenges*, 1(3), 1600002. <https://doi.org/10.1002/gch2.201600002>
- Gingrich, S., Cunfer, G., & Aguilera, E. (2018). Agroecosystem energy transitions: exploring the energy-land nexus in the course of industrialization. *Regional Environmental Change*, 18(4), 929–936. <https://doi.org/10.1007/s10113-018-1322-x>
- GIZ. (2022). *Home | Nexus - The Water, Energy & Food Security Resource Platform*. www.water-energy-food.org; Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. <https://www.water-energy-food.org/>
- Gliessman, S. R. (2014). *Agroecology: The Ecology of Sustainable Food Systems, Third Edition*. CRC Press.
- Gliessman, S. R. (2016). Agroecology and Agroecosystems. *Agronomy Monographs*, 19–

29. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr43.c2>
- Gomiero, T. (2018). Food quality assessment in organic vs. conventional agricultural produce: Findings and issues. *Applied Soil Ecology*, *123*, 714–728. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.10.014>
- Gomiero, T., Pimentel, D., & Paoletti, M. G. (2011). Environmental Impact of Different Agricultural Management Practices: Conventional vs. Organic Agriculture. *Critical Reviews in Plant Sciences*, *30*(12), 95–124. <https://doi.org/10.1080/07352689.2011.554355>
- Guo, Z., Zhang, L., & Li, Y. (2010). Increased Dependence of Humans on Ecosystem Services and Biodiversity. *PLoS ONE*, *5*(10), e13113. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0013113>
- Haines-Young, R., & Potschin, M. (2018). *Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure* (p. 53). Fabis Consulting. <https://cices.eu/content/uploads/sites/8/2018/01/Guidance-V51-01012018.pdf>
- Hall, R. P., Van Koppen, B., & Van Houweling, E. (2013). The Human Right to Water: The Importance of Domestic and Productive Water Rights. *Science and Engineering Ethics*, *20*(4), 849–868. <https://doi.org/10.1007/s11948-013-9499-3>
- Harris, D. R. (2017). Agricultural systems, ecosystems and the origins of agriculture. In G. W. Dumbleby (Ed.), *The domestication and exploitation of plants and animals* (pp. 3–16). Routledge.
- Hasan, S. S., Zhen, L., Miah, Md. G., Ahamed, T., & Samie, A. (2020). Impact of land use change on ecosystem services: A review. *Environmental Development*, *34*, 100527. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2020.100527>
- Heink, U., Hauck, J., Jax, K., & Sukopp, U. (2016). Requirements for the selection of ecosystem service indicators – The case of MAES indicators. *Ecological Indicators*, *61*, 18–26. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.09.031>
- Hernández-Blanco, M., Costanza, R., Chen, H., deGroot, D., Jarvis, D., Kubiszewski, I., Montoya, J., Sangha, K., Stoeckl, N., Turner, K., & van 't Hoff, V. (2022). Ecosystem health, ecosystem services, and the well-being of humans and the rest of nature. *Global Change Biology*. <https://doi.org/10.1111/gcb.16281>
- Hoff, H. (2011). *Understanding the Nexus. Background Paper for the Bonn 2011 Conference: The Water, Energy and Food Security Nexus*. Stockholm Environment Institute (SEI).
- IEA. (2019). *Energy security*. IEA. <https://www.iea.org/topics/energy-security>

- IPBES. (2019). *IPBES: Science and policy for people and nature*. Ipbes.net. <https://www.ipbes.net/>
- IPCC. (2019). *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (C. Buendia, K. Tanabe, A. Kranjc, J. Baasansuren, M. Fukuda, S. Ngarize, A. Osako, Y. Pyrozhenko, P. Shermanau, & S. Federici, Eds.). IPCC.
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. Connors, C. Péan, Y. Chen, L. Goldfarb, M. Gomis, J. Matthews, S. Berger, M. Huang, O. Yelekçi, R. Yu, B. Zhou, E. Lonnoy, T. Maycock, T. Waterfield, K. Leitzell, & N. Caud, Eds.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
- Jansson, C., Faiola, C., Wingler, A., Zhu, X.-G., Kravchenko, A., de Graaff, M.-A., Ogden, A. J., Handakumbura, P. P., Werner, C., & Beckles, D. M. (2021). Crops for Carbon Farming. *Frontiers in Plant Science*, *12*. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.636709>
- Karamian, F., Mirakzadeh, A. A., & Azari, A. (2021). The water-energy-food nexus in farming: Managerial insights for a more efficient consumption of agricultural inputs. *Sustainable Production and Consumption*, *27*, 1357–1371. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.03.008>
- Karimi, R., Pogue, S. J., Kröbel, R., Beauchemin, K. A., Schwinghamer, T., & Henry Janzen, H. (2020). An updated nitrogen budget for Canadian agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *304*, 107046. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107046>
- Kirylyuk-Dryjska, E., Baer-Nawrocka, A., & Okereke, O. (2022). The Environmental and Climatic CAP Measures in Poland vs. Farmers' Expectations—Regional Analysis. *Energies*, *15*(13), 4529. <https://doi.org/10.3390/en15134529>
- Kongsager, R., Napier, J., & Mertz, O. (2012). The carbon sequestration potential of tree crop plantations. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, *18*(8), 1197–1213. <https://doi.org/10.1007/s11027-012-9417-z>
- Konstantonis, N. (2021). European green deal and policies towards the green transition in the EU. *HAPSc Policy Briefs Series*, *2*, 2. <https://doi.org/10.12681/hapscpbs.29511>
- Kopittke, P. M., Menzies, N. W., Wang, P., McKenna, B. A., & Lombi, E. (2019). Soil and the intensification of agriculture for global food security. *Environment International*, *132*. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105078>
- Kour, D., Rana, K. L., Yadav, A. N., Yadav, N., Kumar, M., Kumar, V., Vyas, P., Dhaliwal, H. S., & Saxena, A. K. (2020). Microbial biofertilizers: Bioresources and eco-

- friendly technologies for agricultural and environmental sustainability. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 23, 101487. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101487>
- Kragt, M. E., & Robertson, M. J. (2014). Quantifying ecosystem services trade-offs from agricultural practices. *Ecological Economics*, 102, 147–157. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.04.001>
- Kuepper, G., & Gegner, L. (2004). *Organic crop production overview*.
- Kumar, P. (2012). *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations*. Routledge.
- Kurian, M. (2017). The water-energy-food nexus. *Environmental Science & Policy*, 68, 97–106. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.11.006>
- Kurian, M., & Ardakanian, R. (2015). The Nexus Approach to Governance of Environmental Resources Considering Global Change. In *Governing the Nexus: Water, Soil and Waste Resources Considering Global Change*. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-05747-7_1
- Kurmi, A., Kaushik, S., Pandey, S. K., Nagre, S., Shweta, S., & Thomas, M. (2022). Traditional knowledge-based agricultural practices in Tribal dominated District Anuppur, Madhya Pradesh. *Plant Science Today*. <https://doi.org/10.14719/pst.1882>
- La Notte, A., D’Amato, D., Mäkinen, H., Paracchini, M. L., Liqueste, C., Egoh, B., Geneletti, D., & Crossman, N. D. (2017). Ecosystem services classification: A systems ecology perspective of the cascade framework. *Ecological Indicators*, 74, 392–402. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.11.030>
- Lal, R. (2015). Sequestering carbon and increasing productivity by conservation agriculture. *Journal of Soil and Water Conservation*, 70(3), 55A62A. <https://doi.org/10.2489/jswc.70.3.55a>
- Lal, R., Mohtar, R. H., Assi, A. T., Ray, R., Baybil, H., & Jahn, M. (2017). Soil as a Basic Nexus Tool: Soils at the Center of the Food–Energy–Water Nexus. *Current Sustainable/Renewable Energy Reports*, 4(3), 117–129. <https://doi.org/10.1007/s40518-017-0082-4>
- Lassaletta, L., Billen, G., Garnier, J., Bouwman, L., Velazquez, E., Mueller, N. D., & Gerber, J. S. (2016). Nitrogen use in the global food system: past trends and future trajectories of agronomic performance, pollution, trade, and dietary demand. *Environmental Research Letters*, 11(9), 095007. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/9/095007>
- Leck, H., Conway, D., Bradshaw, M., & Rees, J. (2015). Tracing the Water-Energy-Food Nexus: Description, Theory and Practice. *Geography Compass*, 9(8), 445–460.

<https://doi.org/10.1111/gec3.12222>

- Ledo, A., Heathcote, R., Hastings, A., Smith, P., & Hillier, J. (2018). Perennial-GHG: A new generic allometric model to estimate biomass accumulation and greenhouse gas emissions in perennial food and bioenergy crops. *Environmental Modelling & Software*, *102*, 292–305. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.12.005>
- Lescourret, F., Magda, D., Richard, G., Adam-Blondon, A.-F., Bardy, M., Baudry, J., Doussan, I., Dumont, B., Lefèvre, F., Litrico, I., Martin-Clouaire, R., Montuelle, B., Pellerin, S., Plantegenest, M., Tancoigne, E., Thomas, A., Guyomard, H., & Soussana, J.-F. (2015). A social–ecological approach to managing multiple agro-ecosystem services. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, *14*, 68–75. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2015.04.001>
- Li, M., Fu, Q., Singh, V. P., Ji, Y., Liu, D., Zhang, C., & Li, T. (2019). An optimal modelling approach for managing agricultural water-energy-food nexus under uncertainty. *Science of the Total Environment*, *651*, 1416–1434. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.291>
- Lin, B. B., Macfadyen, S., Renwick, A. R., Cunningham, S. A., & Schellhorn, N. A. (2013). Maximizing the Environmental Benefits of Carbon Farming through Ecosystem Service Delivery. *BioScience*, *63*(10), 793–803. <https://doi.org/10.1525/bio.2013.63.10.6>
- Lorenz, K., & Lal, R. (2016). Environmental Impact of Organic Agriculture. *Advances in Agronomy*, 99–152. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2016.05.003>
- Louis, B., Yoskowitz, D., Santos, C., Allee, B., Carollo, C., Henderson, J., Jordan, S., Ritchie, J., Yoskowitz, D., Santos, C., Allee, B., Carollo, C., Henderson, J., & Jordan, S. (2010). *Proceedings of the Gulf of Mexico Ecosystem Services Workshop*. <https://www.gri.msstate.edu/publications/docs/2010/10/8736eservicesproceedings1.pdf>
- Lu, Y., Wang, R., Zhang, Y., Su, H., Wang, P., Jenkins, A., Ferrier, R. C., Bailey, M., & Squire, G. (2015). Ecosystem health towards sustainability. *Ecosystem Health and Sustainability*, *1*(1), 1–15. <https://doi.org/10.1890/EHS140013.1>
- Lynch, J., Cain, M., Frame, D., & Pierrehumbert, R. (2021). Agriculture’s Contribution to Climate Change and Role in Mitigation Is Distinct from Predominantly Fossil CO₂-Emitting Sectors. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *4*. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.518039>
- Maes, J., Liqueste, C., Teller, A., Erhard, M., Paracchini, M. L., Barredo, J. I., Grizzetti, B., Cardoso, A., Somma, F., Petersen, J.-E., Meiner, A., Gelabert, E. R., Zal, N.,

- Kristensen, P., Bastrup-Birk, A., Biala, K., Piroddi, C., Egoh, B., Degeorges, P., & Fiorina, C. (2016). An indicator framework for assessing ecosystem services in support of the EU Biodiversity Strategy to 2020. *Ecosystem Services*, *17*, 14–23. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2015.10.023>
- Manning, P., van der Plas, F., Soliveres, S., Allan, E., Maestre, F. T., Mace, G., Whittingham, M. J., & Fischer, M. (2018). Redefining ecosystem multifunctionality. *Nature Ecology & Evolution*, *2*(3), 427–436. <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0461-7>
- Marten, G. G. (1988). Productivity, stability, sustainability, equitability and autonomy as properties for agroecosystem assessment. *Agricultural Systems*, *26*(4), 291–316. [https://doi.org/10.1016/0308-521x\(88\)90046-7](https://doi.org/10.1016/0308-521x(88)90046-7)
- McCarl, B. A., Yang, Y., Srinivasan, R., Pistikopoulos, E. N., & Mohtar, R. H. (2017). Data for WEF Nexus Analysis: a Review of Issues. *Current Sustainable/Renewable Energy Reports*, *4*(3), 137–143. <https://doi.org/10.1007/s40518-017-0083-3>
- Mditshwa, A., Magwaza, L. S., Tesfay, S. Z., & Mbili, N. (2017). Postharvest quality and composition of organically and conventionally produced fruits: A review. *Scientia Horticulturae*, *216*, 148–159. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.12.033>
- Meemken, E.-M., & Qaim, M. (2018). Organic Agriculture, Food Security, and the Environment. *Annual Review of Resource Economics*, *10*(1), 39–63. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-100517-023252>
- Meier, M. S., Stoessel, F., Jungbluth, N., Juraske, R., Schader, C., & Stolze, M. (2015). Environmental impacts of organic and conventional agricultural products – Are the differences captured by life cycle assessment? *Journal of Environmental Management*, *149*, 193–208. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.10.006>
- Mendivil-Garcia, K., Amabilis-Sosa, L. E., Rodríguez-Mata, A. E., Rangel-Peraza, J. G., Gonzalez-Huitron, V., & Cedillo-Herrera, C. I. G. (2020). Assessment of intensive agriculture on water quality in the Culiacan River basin, Sinaloa, Mexico. *Environmental Science and Pollution Research*, *27*(23), 28636–28648. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08653-z>
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005a). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005b). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press.
- Miranda, C., Santesteban, L. G., Escalona, J. M., De Herralde, F., Aranda, X., Nadal, M., Intrigliolo, D. S., Castel, J. R., Royo, J. B., & Medrano, H. (2017). Allometric

- relationships for estimating vegetative and reproductive biomass in grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 23(3), 441–451. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12285>
- MOA. (2022). *Cross Compliance Service - Cross Compliance Service*. www.moa.gov.cy; Ministry of Agriculture, Rural Development and Environment, Republic of Cyprus. http://www.moa.gov.cy/moa/crosscompliance/crosscompl.nsf/dmlcrosscompliance_en/dmlcrosscompliance_en?OpenDocument
- Mohtar, R. H. (2022). The WEF Nexus Journey. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.820305>
- Mohtar, R. H., & Lawford, R. (2016). Present and future of the water-energy-food nexus and the role of the community of practice. *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 6(1), 192–199. <https://doi.org/10.1007/s13412-016-0378-5>
- Montanaro, G., Tuzio, A. C., Xylogiannis, E., Kolimenakis, A., & Dichio, B. (2017). Carbon budget in a Mediterranean peach orchard under different management practices. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 238, 104–113. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.05.031>
- Muller, A., Schader, C., El-Hage Scialabba, N., Brüggemann, J., Isensee, A., Erb, K.-H., Smith, P., Klocke, P., Leiber, F., Stolze, M., & Niggli, U. (2017). Strategies for feeding the world more sustainably with organic agriculture. *Nature Communications*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-017-01410-w>
- Nardino, M., Pernice, F., Rossi, F., Georgiadis, T., Facini, O., Motisi, A., & Drago, A. (2012). Annual and monthly carbon balance in an intensively managed Mediterranean olive orchard. *Photosynthetica*, 51(1), 63–74. <https://doi.org/10.1007/s11099-012-0079-6>
- Navarrete, I. A., Tee, K. A. M., Unson, J. R. S., & Hallare, A. V. (2018). Organochlorine pesticide residues in surface water and groundwater along Pampanga River, Philippines. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(5). <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6680-9>
- Newcomer- Johnson, T., Andrews, F., Corona, J., DeWitt, T. H., Harwell, M. C., Rhodes, C. R., Ringold, P., Russell, M. J., Sinha, P., & Houtven, V. (2020). National ecosystem services classification system (NESCO) plus. In *Research*. U.S. Environmental Protection Agency; USGS Publications Warehouse. <http://pubs.er.usgs.gov/publication/70217630>
- Nielsen, K. M., & Fath, B. (2019). Organic Farming. In *Encyclopedia of Ecology (Second Edition)* (pp. 550–558). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B9780124095489.106037>

- Nieto-Romero, M., Oteros-Rozas, E., González, S., & Martín-López, B. (2014). Exploring the knowledge landscape of ecosystem services assessments in Mediterranean agroecosystems: Insights for future research. *Environmental Science & Policy*, *37*, 121–133. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2013.09.003>
- Pacchiarelli, A., Priori, S., Chiti, T., Silvestri, C., & Cristofori, V. (2022). Carbon sequestration of hazelnut orchards in central Italy. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *333*, 107955. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.107955>
- Pant, D., Nadda, A. K., Pant, K. K., & Agarwal, A. K. (2021). *Advances in Carbon Capture and Utilization*. Springer Nature.
- Panzacchi, P., Tonon, G., Ceccon, C., Scandellari, F., Ventura, M., Zibordi, M., & Tagliavini, M. (2012). Belowground carbon allocation and net primary and ecosystem productivities in apple trees (*Malus domestica*) as affected by soil water availability. *Plant and Soil*, *360*(1-2), 229–241. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1235-2>
- Patil, P., & Kumar, A. K. (2017). Biological carbon sequestration through fruit crops (perennial crops natural “sponges” for absorbing carbon dioxide from atmosphere). *Plant Archives*, *17*, 1041–1046.
- Pecl, G. T., Araújo, M. B., Bell, J. D., Blanchard, J., Bonebrake, T. C., Chen, I-Ching., Clark, T. D., Colwell, R. K., Danielsen, F., Evengård, B., Falconi, L., Ferrier, S., Frusher, S., Garcia, R. A., Griffis, R. B., Hobday, A. J., Janion-Scheepers, C., Jarzyna, M. A., Jennings, S., & Lenoir, J. (2017). Biodiversity redistribution under climate change: Impacts on ecosystems and human well-being. *Science*, *355*(6332), eaai9214. <https://doi.org/10.1126/science.aai9214>
- Peng, J., Liu, Y., Wu, J., Lv, H., & Hu, X. (2015). Linking ecosystem services and landscape patterns to assess urban ecosystem health: A case study in Shenzhen City, China. *Landscape and Urban Planning*, *143*, 56–68. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.06.007>
- Pereira, L. S. (2017). Water, Agriculture and Food: Challenges and Issues. *Water Resources Management*, *31*(10), 2985–2999. <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1664-z>
- Perrings, C., Folke, C., & Mäler, K. G. (1993). The ecology and economics of biodiversity loss: the research agenda. *Biological Conservation*, *63*(2), 189. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(93\)90513-z](https://doi.org/10.1016/0006-3207(93)90513-z)
- Peterson, C. A., Eviner, V. T., & Gaudin, A. C. M. (2018). Ways forward for resilience research in agroecosystems. *Agricultural Systems*, *162*, 19–27. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.01.011>

- Pfromm, P. H. (2017). Towards sustainable agriculture: Fossil-free ammonia. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 9(3), 034702. <https://doi.org/10.1063/1.4985090>
- Potschin, M., Haines-Young, R. H., Fish, R., & Turner, R. K. (2016). *Routledge handbook of ecosystem services*. Routledge, Taylor & Francis Group.
- Pretty, J., & Bharucha, Z. P. (2014). Sustainable intensification in agricultural systems. *Annals of Botany*, 114(8), 1571–1596. <https://doi.org/10.1093/aob/mcu205>
- Purwanto, A., Sušnik, J., Suryadi, F. X., & de Fraiture, C. (2021). Water-Energy-Food Nexus: Critical Review, Practical Applications, and Prospects for Future Research. *Sustainability*, 13(4), 1919. <https://doi.org/10.3390/su13041919>
- Ramankutty, N., Mehrabi, Z., Waha, K., Jarvis, L., Kremen, C., Herrero, M., & Rieseberg, L. H. (2018). Trends in Global Agricultural Land Use: Implications for Environmental Health and Food Security. *Annual Review of Plant Biology*, 69(1), 789–815. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042817-040256>
- Rasul, G., & Sharma, B. (2015). The nexus approach to water–energy–food security: an option for adaptation to climate change. *Climate Policy*, 16(6), 682–702. <https://doi.org/10.1080/14693062.2015.1029865>
- Reganold, J. P., & Wachter, J. M. (2016). Organic agriculture in the twenty-first century. *Nature Plants*, 2(2). <https://doi.org/10.1038/nplants.2015.221>
- Reid, W. V., & Mooney, H. A. (2016). The Millennium Ecosystem Assessment: testing the limits of interdisciplinary and multi-scale science. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 19, 40–46. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2015.11.009>
- Reid, W. V., Mooney, H. A., Cropper, A., Capistrano, D., Carpenter, S. R., Chopra, K., Dasgupta, P., Dietz, T., Duraiappah, A. K., Hassan, R., Kaspersen, R., Leemans, R., May, R. M., McMichael, A. J., Pingali, P., Samper, C., Scholes, R., Watson, R. T., Zakri, A. H., & Shidong, Z. (2005). *Millennium Ecosystem Assessment Synthesis Report*. Island Press.
- Richa, K., & Gupta, S. (2018). Agrochemicals as a potential cause of ground water pollution: a review. *Int. J. Chem. Stud*, 6, 985–990.
- Ritchie, H., & Roser, M. (2020). *Environmental impacts of food production*. Our World in Data. <https://ourworldindata.org/environmental-impacts-of-food>
- Roidt, M., & Avellán, T. (2019). Learning from integrated management approaches to implement the Nexus. *Journal of Environmental Management*, 237, 609–616. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.02.106>
- Rust, N. A., Jarvis, R. M., Reed, M. S., & Cooper, J. (2021). Framing of sustainable

- agricultural practices by the farming press and its effect on adoption. *Agriculture and Human Values*. <https://doi.org/10.1007/s10460-020-10186-7>
- Sahoo, U. K., Nath, A. J., & Lalnunpuii, K. (2021). *Biomass estimation models, biomass storage and ecosystem carbon stock in sweet orange orchards: Implications for land use management*. *41*(1), 57–63. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2020.12.003>
- Salam, P. A., Shrestha, S., Pandey, V. P., & Anal, A. K. (2017). *Water-energy-food nexus: principles and practices*. Wiley; American Geophysical Union.
- Sánchez-Bayo, F., & Wyckhuys, K. A. G. (2019). Worldwide Decline of the entomofauna: a Review of Its Drivers. *Biological Conservation*, *232*(232), 8–27. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.01.020>
- Sandhu, H. S., Crossman, N. D., & Smith, F. P. (2012). Ecosystem services and Australian agricultural enterprises. *Ecological Economics*, *74*, 19–26. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.12.001>
- Sandhu, H., Wratten, S. D., Porter, J. R., Costanza, R., Pretty, J., & Reganold, J. (2016). Mainstreaming ecosystem services into future farming. *Solutions*, *7*(2), 40–47.
- Sankhla, M. S., Kumari, M., Sharma, K., Kushwah, R. S., & Kumar, R. (2018). Water Contamination through Pesticide & Their Toxic Effect on Human Health. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, *6*(1), 967–970. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2018.1146>
- Sardiñas, H. S., Ryals, R., & Williams, N. M. (2022). Carbon farming can enhance pollinator resources: Carbon farming can help protect bees and other wild pollinators that are essential to California agriculture. *California Agriculture*, *76*(4), 104–110. <https://doi.org/10.3733/ca.2022a0014>
- SCBD. (2011). *Convention on Biological Diversity*. [Cbd.int](https://www.cbd.int/); Secretariat of the Convention on Biological Diversity. <https://www.cbd.int/>
- SCEP. (1970). *Man's impact on the global environment: assesment and recommendations for action*. The Massachusetts Institute of Technology.
- Schneiders, A., Van Daele, T., Van Landuyt, W., & Van Reeth, W. (2012). Biodiversity and ecosystem services: Complementary approaches for ecosystem management? *Ecological Indicators*, *21*, 123–133. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.06.021>
- Schröter, M., Albert, C., Marques, A., Tobon, W., Lavorel, S., Maes, J., Brown, C., Klotz, S., & Bonn, A. (2016). National Ecosystem Assessments in Europe: A Review. *BioScience*, *66*(10), 813–828. <https://doi.org/10.1093/biosci/biw101>
- Seddon, N., Smith, A., Smith, P., Key, I., Chausson, A., Girardin, C., House, J., Srivastava, S., & Turner, B. (2021). Getting the Message Right on Nature-based Solutions to

- Climate Change. *Global Change Biology*, 27(8), 1518–1546.
<https://doi.org/10.1111/gcb.15513>
- Serebrennikov, D., Thorne, F., Kallas, Z., & McCarthy, S. N. (2020). Factors Influencing Adoption of Sustainable Farming Practices in Europe: A Systemic Review of Empirical Literature. *Sustainability*, 12(22), 9719.
<https://doi.org/10.3390/su12229719>
- Seufert, V., Ramankutty, N., & Mayerhofer, T. (2017). What is this thing called organic? – How organic farming is codified in regulations. *Food Policy*, 68, 10–20.
<https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2016.12.009>
- Sharma, M., Kaushal, R., Kaushik, P., & Ramakrishna, S. (2021). Carbon Farming: Prospects and Challenges. *Sustainability*, 13(19), 11122.
<https://doi.org/10.3390/su131911122>
- Sharma, N., & Singhvi, R. (2017). Effects of Chemical Fertilizers and Pesticides on Human Health and Environment: A Review. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*, 10(6), 675. <https://doi.org/10.5958/2230-732x.2017.00083.3>
- Sharma, S., Rana, V. S., Prasad, H., Lakra, J., & Sharma, U. (2021). Appraisal of Carbon Capture, Storage, and Utilization Through Fruit Crops. *Frontiers in Environmental Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.700768>
- Shipley, N. J., Johnson, D. N., van Riper, C. J., Stewart, W. P., Chu, M. L., Suski, C. D., Stein, J. A., & Shew, J. J. (2020). A deliberative research approach to valuing agroecosystem services in a worked landscape. *Ecosystem Services*, 42, 101083.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101083>
- Simpson, G. B., & Jewitt, G. P. W. (2019). The Development of the Water-Energy-Food Nexus as a Framework for Achieving Resource Security: A Review. *Frontiers in Environmental Science*, 7. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00008>
- Sims, R., Flammini, A., Puri, M., & Bracco, S. (2015). *Opportunities for agri-food chains to become energy-smart*. FAO USAID.
- Smith, P. (2013). Delivering food security without increasing pressure on land. *Global Food Security*, 2(1), 18–23. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2012.11.008>
- Stephan, R. M., Mohtar, R. H., Daher, B., Embid Irujo, A., Hillers, A., Ganter, J. C., Karlberg, L., Martin, L., Nairizi, S., Rodriguez, D. J., & Sarni, W. (2018). Water–energy–food nexus: a platform for implementing the Sustainable Development Goals. *Water International*, 43(3), 472–479.
<https://doi.org/10.1080/02508060.2018.1446581>

- Struik, P. C., & Kuyper, T. W. (2017). Sustainable intensification in agriculture: the richer shade of green. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(5). <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0445-7>
- Sukhdev, P., Wittmer, H., & Miller, D. (2014). The economics of ecosystems and biodiversity (TEEB): challenges and responses. *Nature in the Balance: The Economics of Biodiversity*, 135–152.
- Tancoigne, E., Barbier, M., Cointet, J.-P., & Richard, G. (2014). The place of agricultural sciences in the literature on ecosystem services. *Ecosystem Services*, 10, 35–48. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.07.004>
- Tang, K., He, C., Ma, C., & Wang, D. (2019). Does carbon farming provide a cost-effective option to mitigate GHG emissions? Evidence from China. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*. <https://doi.org/10.1111/1467-8489.12306>
- Tang, K., Kragt, M. E., Hailu, A., & Ma, C. (2016). Carbon farming economics: What have we learned? *Journal of Environmental Management*, 172, 49–57. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.02.008>
- TEEB. (2010). The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Mainstreaming the Economics of Nature: A Synthesis of the Approach, Conclusions and Recommendations of TEEB. In <https://www.teebweb.org/wp-content/uploads/Study%20and%20Reports/Reports/Synthesis%20report/TEEB%20Synthesis%20Report%202010.pdf>.
- Terrapon-Pfaff, J., Ortiz, W., Dienst, C., & Gröne, M.-C. (2018). Energising the WEF nexus to enhance sustainable development at local level. *Journal of Environmental Management*, 223, 409–416. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.06.037>
- The World Economic Forum Water Initiative. (2012). *Water Security: The Water-Food-Energy-Climate Nexus*. Island Press.
- Tian, X., Engel, B. A., Qian, H., Hua, E., Sun, S., & Wang, Y. (2021). Will reaching the maximum achievable yield potential meet future global food demand? *Journal of Cleaner Production*, 294, 126285. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126285>
- Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., & Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418(6898), 671–677. <https://doi.org/10.1038/nature01014>
- Timsuksai, P., & Rambo, A. T. (2016). The Influence of Culture on Agroecosystem Structure: A Comparison of the Spatial Patterns of Homegardens of Different Ethnic Groups in Thailand and Vietnam. *PLOS ONE*, 11(1), e0146118. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146118>

- Toensmeier, E. (2017). Perennial Staple Crops and Agroforestry for Climate Change Mitigation. *Advances in Agroforestry*, 439–451. https://doi.org/10.1007/978-3-319-69371-2_18
- Toensmeier, E., & Herren, H. R. (2016). *The carbon farming solution: a global toolkit of perennial crops and regenerative agriculture practices for climate change mitigation and food security*. Chelsea Green Publishing.
- Tscharntke, T., Clough, Y., Wanger, T. C., Jackson, L., Motzke, I., Perfecto, I., Vandermeer, J., & Whitbread, A. (2012). Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification. *Biological Conservation*, 151(1), 53–59. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.01.068>
- Tsiafouli, M. A., Thébault, E., Sgardelis, S. P., de Ruiter, P. C., van der Putten, W. H., Birkhofer, K., Hemerik, L., de Vries, F. T., Bardgett, R. D., Brady, M. V., Bjornlund, L., Jørgensen, H. B., Christensen, S., Hertefeldt, T. D., Hotes, S., Gera Hol, W. H., Frouz, J., Liiri, M., Mortimer, S. R., & Setälä, H. (2015). Intensive agriculture reduces soil biodiversity across Europe. *Global Change Biology*, 21(2), 973–985. <https://doi.org/10.1111/gcb.12752>
- Turner, K. G., Anderson, S., Gonzales-Chang, M., Costanza, R., Courville, S., Dalgaard, T., Dominati, E., Kubiszewski, I., Ogilvy, S., Porfirio, L., Ratna, N., Sandhu, H., Sutton, P. C., Svenning, J.-C., Turner, G. M., Varennes, Y.-D., Voinov, A., & Wratten, S. (2016). A review of methods, data, and models to assess changes in the value of ecosystem services from land degradation and restoration. *Ecological Modelling*, 319, 190–207. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2015.07.017>
- Tzilivakis, J., Lewis, K. A., Green, A., & Warner, D. J. (2011). A novel technique for identifying environmental outcomes from agricultural practices. *Impact Assessment and Project Appraisal*, 29(1), 2–10. <https://doi.org/10.3152/146155111x12913679730791>
- Uhlir, H.-E. (1999). Energy productivity of technological agriculture-lessons from the transition of Swedish agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 73(1), 63–81. [https://doi.org/10.1016/s0167-8809\(99\)00002-x](https://doi.org/10.1016/s0167-8809(99)00002-x)
- United Nations. (1998). *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>
- United Nations. (2013). *What is Water Security? Infographic*. UN-Water. <https://www.unwater.org/publications/what-water-security-infographic>
- United Nations. (2014). *System of Environmental Economic Accounting 2012— Central Framework*.

- https://unstats.un.org/unsd/envaccounting/seearev/seea_cf_final_en.pdf
- United Nations. (2015). *Paris Agreement*. United Nations. https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf
- United Nations. (2021). *Theme report on Energy Access / TOWARDS THE ACHIEVEMENT OF SDG 7 AND NET-ZERO EMISSIONS*. Wwww.un.org. <https://www.un.org/ohrlls/content/theme-report-energy-access>
- United Nations. (2022). *The 17 Sustainable Development Goals*. United Nations. <https://sdgs.un.org/goals>
- Velten, S., Leventon, J., Jager, N., & Newig, J. (2015). What Is Sustainable Agriculture? A Systematic Review. *Sustainability*, 7(6), 7833–7865. <https://doi.org/10.3390/su7067833>
- Vermeulen, S. J., Campbell, B. M., & John S.I. Ingram. (2012). Climate Change and Food Systems. *Annual Review of Environment and Resources*, 37(1), 195–222. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-020411-130608>
- Vihervaara, P., Rönkä, M., & Walls, M. (2010). Trends in Ecosystem Service Research: Early Steps and Current Drivers. *AMBIO*, 39(4), 314–324. <https://doi.org/10.1007/s13280-010-0048-x>
- Villamagna, A. M., Angermeier, P. L., & Bennett, E. M. (2013). Capacity, pressure, demand, and flow: A conceptual framework for analyzing ecosystem service provision and delivery. *Ecological Complexity*, 15, 114–121. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2013.07.004>
- Wachter, J. M., Reganold, J. P., & Alfen, V. (2014). Organic Agricultural Production: Plants. In *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems* (pp. 265–286). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B9780444525123.001595>
- Wang, J., Luo, Y., Teng, Y., Ma, W., Christie, P., & Li, Z. (2013). Soil contamination by phthalate esters in Chinese intensive vegetable production systems with different modes of use of plastic film. *Environmental Pollution*, 180, 265–273. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.05.036>
- Wezel, A., Casagrande, M., Celette, F., Vian, J.-F., Ferrer, A., & Peigné, J. (2013). Agroecological practices for sustainable agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(1), 1–20. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0180-7>
- World Bank. (2017). *Water in Agriculture*. World Bank. <https://www.worldbank.org/en/topic/water-in-agriculture>
- World Health Organization. (2022). *Drinking water*. Who.int; World Health Organization: WHO. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>

- Wratten, S. D., Harpinder Sandhu, Cullen, R., & Costanza, R. (2013). *Ecosystem services in agricultural and urban landscapes*. Wiley-Blackwell.
- Yang, W., Dietz, T., Liu, W., Luo, J., & Liu, J. (2013). Going Beyond the Millennium Ecosystem Assessment: An Index System of Human Dependence on Ecosystem Services. *PLoS ONE*, 8(5), e64581. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0064581>
- Yue, Q., & Guo, P. (2021). Managing agricultural water-energy-food-environment nexus considering water footprint and carbon footprint under uncertainty. *Agricultural Water Management*, 252, 106899. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106899>
- Zhang, H., Li, Y., & Zhu, J.-K. (2018). Developing naturally stress-resistant crops for a sustainable agriculture. *Nature Plants*, 4(12), 989–996. <https://doi.org/10.1038/s41477-018-0309-4>
- Zhu, W., Wang, S., & Caldwell, C. D. (2012). Pathways of assessing agroecosystem health and agroecosystem management. *Acta Ecologica Sinica*, 32(1), 9–17. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2011.11.001>

Κεφάλαιο 3

Συνδέοντας τις Γεωργικές Πρακτικές Διαχείρισης και τις Εδαφικές Ιδιότητες με τις Οικοσυστημικές Υπηρεσίες σε Μεσογειακούς Μικτούς Οπωρώνες¹

Περίληψη

Οι οπωρώνες σε νησιωτικά, ορεινά τοπία παρέχουν ένα ευρύ φάσμα Οικοσυστημικών Υπηρεσιών (ΟΥ). Ωστόσο, η έρευνα σχετικά με τα οφέλη των μικτών οπωρώνων ως προς τις ΟΥ παραμένει πολύ περιορισμένη. Χρησιμοποιήθηκε η Κύπρος ως μοντέλο για τη μελέτη των ΟΥ που παρέχονται από 52 μικτούς οπωρώνες σε βιολογικά (BIO) και συμβατικά (SYM) αγροκτήματα. Οι οπωρώνες περιλάμβαναν διαφορετικά είδη δέντρων, συμπεριλαμβανομένων γιγαρτόκαρπων και πυρηνόκαρπων, ακρόδρυων και άλλων ειδών. Αναπτύχθηκε ένα πλαίσιο για τη σύνδεση των εδαφικών παραμέτρων ποιότητας, των

¹ Μετάφραση του δημοσιευμένου άρθρου Ioannidou, S.C., Litskas, V.D., Stavrinides, M.C. and Vogiatzakis, I.N., 2022. Linking management practices and soil properties to Ecosystem Services in Mediterranean mixed orchards. *Ecosystem Services*, 53, p.101378.

χαρακτηριστικών των οπωρώνων και των γεωργικών πρακτικών (ΓΠ) διαχείρισης με την παροχή ΟΥ. Η ανάλυση συστάδων με βάση τις ΓΠ, τα χαρακτηριστικά των οπωρώνων και τις εδαφικές ιδιότητες διαχώρισε τους οπωρώνες σε μια ομάδα ΣΥΜ και μια ΒΙΟ. Καταγράφηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των οπωρώνων ΒΙΟ και ΣΥΜ στις παραμέτρους ποιότητας του εδάφους: σταθερότητα συσσωματωμάτων [(Mean Weight Diameter; MWD), (μέση κατά βάρος διάμετρος, mm)] (ΒΙΟ: 12,5- ΣΥΜ: 9,3), περιεκτικότητα σε οργανική ουσία (Organic Matter; OM %) (ΒΙΟ: 1,15; ΣΥΜ: 0,92), τράπεζα σπόρων (αριθμός ειδών) (ΒΙΟ: 6,6; ΣΥΜ: 3,4), ενδο-μυκορριζικοί μύκητες [(Arbuscular Mycorrhizal Fungi; AMF), (AMF, % αποικισμού ριζών)] (ΒΙΟ: 31,3; ΣΥΜ: 19,3) και εδαφική αναπνοή (mg CO₂/100g ξηρού βάρους εδάφους ανά ημέρα) (ΒΙΟ: 36,3; ΣΥΜ: 21,7). Οι τύποι εδάφους δεν διέφεραν μεταξύ των δύο καλλιεργητικών συστημάτων. Χρησιμοποιώντας τις παραμέτρους παρουσία AMF, σταθερότητα συσσωματωμάτων και περιεκτικότητα σε οργανική ουσία ως δείκτες της βιολογίας, της φυσικής και της χημείας του εδάφους αντίστοιχα, καταδεικνύεται ότι οι ΒΙΟ οπωρώνες έχουν υψηλότερο δυναμικό παροχής ΟΥ από ότι οι ΣΥΜ οπωρώνες.

Λέξεις-κλειδιά:

Γεωργικές πρακτικές, συμβατική γεωργία, Κύπρος, βιολογική γεωργία, ποιότητα εδάφους, CICES

3.1 Εισαγωγή

Η διαμόρφωση του αγροτικού τοπίου στις μεσογειακές περιοχές είναι αποτέλεσμα εκτεταμένων και περίπλοκων δραστηριοτήτων. Η γεωργία δημιούργησε μια ποικιλομορφία προτύπων αγροτεμαχίων αλλά και χρήσεων γης (Barbera and Cullotta, 2016; Lasanta et al., 2017; Manolaki et al., 2020) τα οποία καλύπτονται από συγκεκριμένους τύπους όπως, οπωρώνες, αρδευόμενες ή ξηρικές αροτραίες καλλιέργειες, συστήματα βόσκησης ζώων και φυσική βλάστηση, έως άλλα πιο σύνθετα τοπία. Γενικότερα, η μεσογειακή γεωργία, ιδιαίτερα στα νησιά, χαρακτηρίζεται από μικρές γεωργικές εκμεταλλεύσεις υψηλής φυσικής αξίας (Weibhuhn et al., 2017; Zomeni et al., 2018) που παράγουν τρόφιμα τα οποία αποτελούν τη βάση της μεσογειακής διατροφής (Miranda et al., 2013). Η αλληλεπίδραση μεταξύ των περιβαλλοντικών αλλαγών που παρατηρούνται στα νησιά της Μεσογείου και των εντατικοποιημένων καλλιεργητικών πρακτικών που εφαρμόζονται με στόχο την αύξηση των αποδόσεων (Demestihis et al., 2017), ενδέχεται να πλήξει τα τοπικά αγροοικοσυστήματα και συνεπώς να επιφέρει επιπτώσεις στην παροχή αγαθών και υπηρεσιών (Kefalas et al., 2019).

Οι οπωρώνες σε νησιωτικά τοπία βρίσκονται εγκατεστημένοι κυρίως σε ορεινές και ημιορεινές περιοχές και συνδέονται με ένα ευρύ φάσμα οικοσυστημικών υπηρεσιών (Demestihias et al., 2017; Demestihias et al., 2019). Υποστηρίζουν υπηρεσίες όπως η ρύθμιση του κλίματος, η επικονίαση, ο έλεγχος παρασίτων και ζιζανίων, ενδεχομένως σε μεγαλύτερο βαθμό από τις ετήσιες καλλιέργειες ή τις μονοκαλλιέργειες (Altieri & Nicholls, 2004; Brunori et al., 2019; Murray et al., 2019; Weißhuhn et al., 2017). Επιπλέον, συμβάλλουν στη συγκράτηση και τον καθαρισμό του νερού, καθώς και στις υπηρεσίες που αφορούν τους κύκλους θρεπτικών συστατικών (Garcia et al., 2018). Οι μικτοί οπωρώνες σημειώνουν πρόσθετες θετικές επιπτώσεις οι οποίες σχετίζονται με τον μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, π.χ. μειωμένη χρήση εισροών, όπως ανόργανα λιπάσματα και φυτοφάρμακα, αλλά και μειωμένη κατεργασία του εδάφους, ευνοώντας έτσι τη διατήρηση των αποθεμάτων άνθρακα (Montanaro et al., 2017; Lee et al., 2019). Σε ξηρικά περιβάλλοντα, όπως αυτά που απαντώνται στην Κύπρο, όπου η υποβάθμιση του εδάφους είναι μια σοβαρή απειλή, οι οπωρώνες σε επικλινείς πλαγιές αναμένεται να ενισχύσουν τη διατήρηση του εδάφους μακροπρόθεσμα, σε σύγκριση με τις ετήσιες καλλιέργειες (Holifield Collins et al., 2015), λόγω του σχηματισμού ενός εκτεταμένου ριζικού δικτύου που υποστηρίζει τη συσσωμάτωση του εδάφους.

Η παροχή ΟΥ επηρεάζεται από τις γεωργικές πρακτικές διαχείρισης, τυπικά παραδείγματα των οποίων αποτελούν η χρήση συνθετικών λιπασμάτων και φυτοπροστατευτικών ουσιών. Η εφαρμογή αζώτου με τη χρήση συνθετικών λιπασμάτων, ιδίως με τη μορφή NO_3^- , για την αύξηση των αποδόσεων των καλλιεργειών είναι η κύρια πηγή ενεργού αζώτου στο περιβάλλον (Duru et al., 2015; Lassaletta et al., 2016). Η χρήση φυτοπροστατευτικών ουσιών (π.χ. νεονικοτινοειδών) ενδέχεται να έχει επιζήμιες επιπτώσεις στους επικονιαστές και τις υπηρεσίες τους (Gibbons et al., 2015), καθώς και σε διάφορες άλλες λειτουργίες του οικοσυστήματος (Chagnon et al., 2015).

Κατά συνέπεια, αφενός οι αρνητικές επιπτώσεις σε ορισμένες από τις ρυθμιστικές ΟΥ μπορεί να είναι μειωμένες στα βιολογικά αγροτεμάχια, ωστόσο παράλληλα, η αποκλειστική χρήση οργανικών λιπασμάτων και βιολογικών φυτοπροστατευτικών σκευασμάτων ενδέχεται να προκαλέσει μείωση των αποδόσεων (παροχή τροφίμων). Η διαχείριση της άρδευσης ενδέχεται επίσης να επηρεάσει την παροχή ΟΥ, ανεξάρτητα από το σύστημα καλλιέργειας. Οι βελτιωμένες πρακτικές άρδευσης, όπως είναι η στάγδην άρδευση, βελτιώνουν την αποδοτικότητα της χρήσης του νερού (Smith et al., 2018) και περιορίζουν

τη διάβρωση του εδάφους. Μεταξύ άλλων ωφελημάτων, η υγρασία του εδάφους ενισχύει την παρουσία άγριων φυτικών ειδών και συνακόλουθα τις υπηρεσίες επικονίασης (Juarez-Escario et al., 2017). Ωστόσο σε απότομες πλαγιές, αρδευτικές μέθοδοι όπως η άρδευση σε αυλάκια, είναι πιθανόν να προκαλέσουν διάβρωση (King et al., 2016).

Οι εδαφικές παράμετροι που σχετίζονται με τις ΟΥ μπορούν να διακριθούν σε εκείνες που δύνανται να ρυθμιστούν (π.χ. περιεκτικότητα εδάφους σε άνθρακα) και εκείνες που είναι εγγενείς (π.χ. υφή εδάφους) (Dominati et al., 2010). Οι εδαφολογικές διεργασίες (φυσικές, χημικές και βιολογικές) συντελούν στην επίτευξη πολλών λειτουργιών (π.χ. μεταμορφώσεις θρεπτικών ουσιών, σχηματισμός συσσωματωμάτων), οι οποίες στη συνέχεια υποστηρίζουν την παροχή θρεπτικών συστατικών σε φυτά, την ικανότητα συγκράτησης νερού, τη σταθερότητα των εδαφικών συσσωματωμάτων και τη βιοποικιλότητα. Αυτό το πλέγμα «διεργασία - λειτουργία - υπηρεσία», συνδέεται με την παροχή ΟΥ και εξαρτάται από τις επιλογές διαχείρισης του εδάφους (και άλλες ΓΠ) που εφαρμόζονται από αγρότες (π.χ. μέθοδοι άρδευσης, εφαρμογή κοπριάς, κατεργασία εδάφους).

Οι Μεσογειακές περιοχές βρίσκονται αντιμέτωπες με την υποβάθμιση του εδάφους ιδίως στις ορεινές περιοχές όπου η οικο-γεωμορφολογία και οι ειδικές χρήσεις γης, με περιορισμένη φυτοκάλυψη, έχουν ως συνέπεια τη διάβρωση του εδάφους (Martínez-Murillo et al., 2020). Η χρήση ορισμένων γεωργικών πρακτικών διαχείρισης, όπως η συγκαλλιέργεια, η μειωμένη κατεργασία εδάφους και η οργανική λίπανση, μπορεί να ωφελήσει τόσο την ποιότητα όσο και τη γονιμότητα του εδάφους (Morugan-Coronado et al., 2020). Επιπλέον, σε ένα επίπεδο ισορροπίας εισροών οργανικού άνθρακα, η φυτοκάλυψη ευνοεί τη δέσμευση άνθρακα ή/και τη διατήρηση αποθεμάτων άνθρακα (Ledo et al., 2018; Ledo et al., 2020; Vicente-Vicente et al., 2017).

Η έρευνα σχετικά με τα οφέλη των μικτών σπυρώνων για τις ΟΥ παραμένει περιορισμένη (Demestihis et al. 2017) και συνήθως περιορίζεται σε συστήματα μονοκαλλιέργειας (De Leijster et al., 2019; Demestihis et al., 2018). Οι μονοκαλλιέργειες ωστόσο, διαφέρουν αρκετά ως προς τα χαρακτηριστικά τους (μέγεθος εκτάσεων, πυκνότητα φύτευσης) και τις πρακτικές διαχείρισης, σε σύγκριση με τους μικτούς σπυρώνες. Επιπρόσθετα, οι ΟΥ που συνδέονται με το έδαφος και οι παράμετροι που τις επηρεάζουν δεν έχουν μελετηθεί επαρκώς, παρά την ευρέως διαδεδομένη αναγνωρισμένη σημασία των εδαφών ως προς την παροχή ΟΥ. Αν και οι εκτιμήσεις με βάση μοντέλα παραμένουν η κύρια προσέγγιση (Demestihis et al., 2018), οι επιτόπιες μετρήσεις των εδαφικών ιδιοτήτων είναι επίσης πολύ

σημαντικές για την αξιολόγηση των ΟΥ (Chalhoub et al., 2020). Άλλες παραγνωρισμένες πτυχές είναι οι επιδράσεις του συστήματος διαχείρισης (π.χ. βιολογικό έναντι συμβατικού) και τα χαρακτηριστικά της εκμετάλλευσης (π.χ. μέγεθος εκμετάλλευσης) στην παροχή ΟΥ από μικτούς οπωρώνες.

Η παρούσα έρευνα αποσκοπεί στη μελέτη της επίδρασης των ΓΠ, των χαρακτηριστικών των οπωρώνων και των εδαφικών παραμέτρων επί των ΟΥ που παρέχονται από μικτούς οπωρώνες στην Κύπρο. Οι ειδικοί στόχοι ήταν: α) η ανάπτυξη ενός πλαισίου για τη σύνδεση των ΓΠ, των χαρακτηριστικών των οπωρώνων και των εδαφικών ιδιοτήτων με τις ΟΥ (παροχής, ρύθμισης και πολιτιστικές) σε βιολογικούς και συμβατικούς μικτούς οπωρώνες (αυτό το πλαίσιο είναι σημαντικό, καθώς επί του παρόντος παρατηρείται ελλιπής συναφής γνώση σχετικά με τους μικτούς οπωρώνες), β) η σύγκριση των ΓΠ, των χαρακτηριστικών και των ιδιοτήτων του εδάφους σε μικτούς βιολογικούς και συμβατικούς οπωρώνες και γ) η χρήση των αποτελεσμάτων για να τον προσδιορισμό των ΓΠ, των χαρακτηριστικών και των ιδιοτήτων του εδάφους, που υποστηρίζουν την παροχή ΟΥ σε μικτούς οπωρώνες.

3.2 Υλικά και μέθοδοι

3.2.1 Κυπριακή γεωργία και επιλογή οπωρώνων

Σύμφωνα με την Κυπριακή Στατιστική Υπηρεσία (2020), η καλλιεργήσιμη έκταση ανέρχεται σε 114.193 εκτάρια, εκ των οποίων τα 80.765 εκτάρια αποτελούν ετήσιες καλλιέργειες (π.χ. σιτηρά, χορτοδοτικές καλλιέργειες, βιομηχανικές καλλιέργειες, ψυχανθή), 7.138 εκτάρια είναι λαχανικά και πεπονοειδή και 26.290 εκτάρια είναι δενδρώδεις καλλιέργειες (η πλειονότητα των οποίων ελιές και αμπέλια). Οι οπωρώνες στην Κύπρο, λόγω κλιματικών απαιτήσεων, καλλιεργούνται κυρίως σε ορεινές και ημιορεινές περιοχές. Αντιπροσωπεύουν ένα σημαντικό τομέα της αγροτικής οικονομίας του νησιού, καθώς προσφέρουν πηγή εισοδήματος για τους παραγωγούς, συμβάλλοντας παράλληλα στη διατήρηση του πληθυσμού στην ύπαιθρο.

Οι βιολογικοί οπωρώνες στην Κύπρο καταλαμβάνουν μια έκταση 439 εκταρίων (Eurostat, 2020). Τα γιγαρτόκαρπα (π.χ. μήλα, αχλάδια) καλύπτουν 74 εκτάρια, τα πυρηνόκαρπα (π.χ. δαμάσκηνα, βερίκοκα) 136 εκτάρια, ενώ 229 εκτάρια είναι καλλιεργημένα με ακρόδρυα. Η απόδοση στους βιολογικούς οπωρώνες της Κύπρου κυμαίνεται από 1 (ακρόδρυα) έως 11,85 (μήλα) τόνοι/εκτάριο/έτος (μέσος όρος 2013-2019, Eurostat, 2020). Οι συμβατικοί οπωρώνες καλύπτουν μια έκταση 4.407 εκταρίων (στοιχεία 2018), εκ των οποίων 2.552

εκτάρια αποτελούνται από αμυγδαλιές, 371 εκτάρια από μήλα, 369 εκτάρια από δαμάσκηνα και 291 εκτάρια από ροδάκινα. Η απόδοση στους συμβατικούς οπωρώνες κυμαίνεται από 0,14 τόνοι/εκτάριο για τα αμύγδαλα, έως 26,23 τόνοι/εκτάριο για τα σύκα (μέσοι όροι στοιχείων 2013-2018, Στατιστική Υπηρεσία, 2020). Η ετήσια παραγωγή φρούτων και άλλων δενδρωδών καλλιεργειών (SYM και BIO) ανέρχεται σε 140.863 τόνους, οι οποίοι συνήθως καταναλώνονται στην τοπική αγορά.

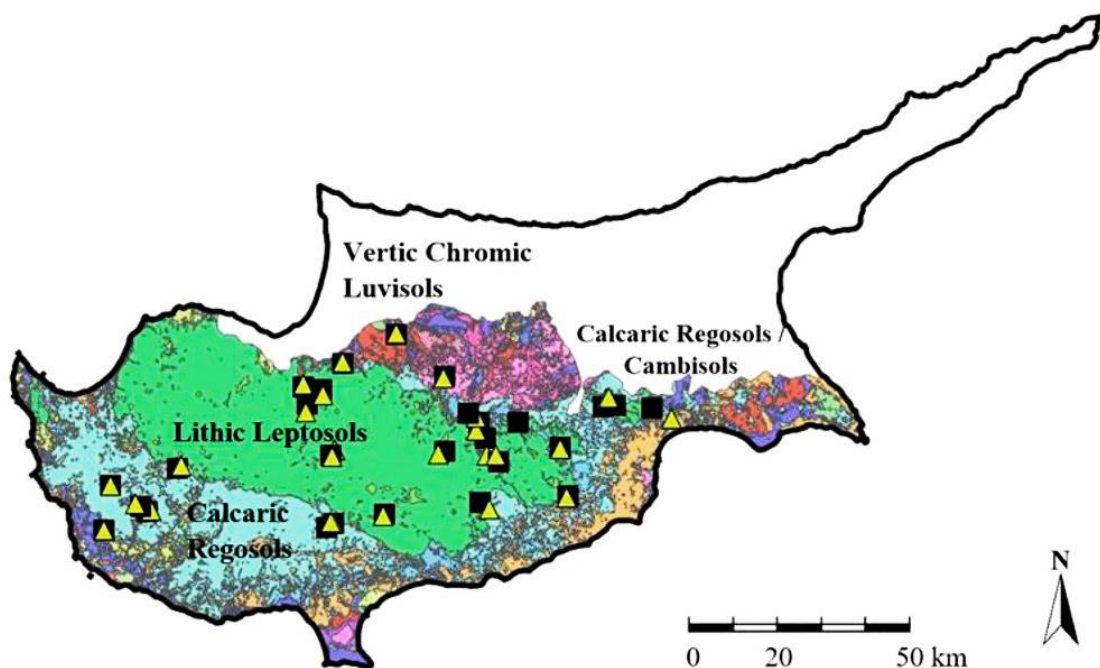
Πενήντα πέντε μικτοί οπωρώνες, 27 συμβατικοί και 28 βιολογικοί, επιλέχθηκαν για την παρούσα μελέτη (Σχήμα 3.1). Οι αγρότες που διαχειρίζονται τους οπωρώνες ανήκουν στο δίκτυο συνεργασίας του Ινστιτούτου Γεωργικών Ερευνών (ΙΓΕ) και συμμετέχουν σε εθνικά προγράμματα για την καταγραφή δεδομένων γεωργικών στατιστικών. Όλοι οι αγρότες σε αυτή την έρευνα ήταν εθελοντές και συμφώνησαν στην παραχώρηση στοιχείων σχετικά με τις γεωργικές πρακτικές διαχείρισης, αλλά και στην παραχώρηση εδαφικών δειγμάτων για όλες τις απαιτούμενες αναλύσεις. Τα κριτήρια επιλογής των αγροτών ήταν: 1) οι αγρότες να κατέχουν μικτούς οπωρώνες, 2) οι βιοκαλλιεργητές να κατέχουν πιστοποίηση και να είναι εγγεγραμμένοι στο Εθνικό Μητρώο Βιολογικής Γεωργίας που τηρείται από το Τμήμα Γεωργίας της Κύπρου. Οι περιοχές μελέτης που επιλέχθηκαν, θεωρούνται οι πιο σημαντικές όσον αφορά την παρουσία οπωρώνων στην Κύπρο και επιπρόσθετα η επιλογή τους καλύπτει όλους τους κύριους τύπους εδαφών (Σχήμα 3.1). Η καταγραφή της απόδοσης των οπωρώνων δεν πραγματοποιήθηκε.

Η πλειονότητα των οπωρώνων περιλάμβανε γιγαρτόκαρπα, πυρηνόκαρπα (μήλα, βερίκοκα, ροδάκινα, κεράσια, δαμάσκηνα), άλλα φρούτα (σύκα, ρόδια) και ακρόδρυα (αμύγδαλα, καρύδια) και θεωρούνται ως τυπικοί οπωρώνες για το σύστημα δενδροκαλλιέργειας στην Κύπρο, όπου περισσότερα από ένα καλλιεργούμενα είδη είναι παρόντα στο ίδιο αγροτεμάχιο (συνήθως μικρότερο του ενός εκταρίου σε μέγεθος). Τα εδάφη σε αυτά τα αγροκτήματα είναι γενικότερα φτωχά σε οργανική ουσία και έχουν στενή συσχέτιση με το μητρικό υλικό και τη θέση του τοπίου (Camera et al., 2017). Εδάφη μικρού βάθους και με έντονη την παρουσία του μητρικού υλικού κυριαρχούν στις ορεινές περιοχές (Σχήμα 3.1), ενώ στις παράκτιες περιοχές, τα εδάφη σχηματίζονται σε μεταφερόμενα υλικά (π.χ. αλλουβιακές και κολουβιακές αποθέσεις) (Camera et al., 2017).

3.2.2 Συλλογή δεδομένων

Οι γεωργικές πρακτικές διαχείρισης που εφαρμόστηκαν στους οπωρώνες λήφθηκαν μέσω διενέργειας προσωπικών ερωτηματολογίων στους αγρότες (Παράρτημα Α). Τα δεδομένα αναφέρονται στις ΓΠ διαχείρισης που εφαρμόστηκαν κατά την περίοδο 2012-2014.

Οι αγρότες κλήθηκαν να αναφέρουν τις τυπικές ΓΠ διαχείρισης (άρδευση, λίπανση, διαχείριση εχθρών και ασθενειών, ζιζανιοκτονία) που εφαρμόζονταν για περίοδο τριών ετών προ της έρευνας. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν για κάθε αγροτεμάχιο ήταν: 1) Η θέση του αγροκτήματος (συντεταγμένες, βλέπε Σχήμα 3.1), 2) μέθοδοι άρδευσης, 3) τύποι λίπανσης, 4) μέθοδοι φυτοπροστασίας 5) μέθοδοι διαχείρισης ζιζανίων, 6) το μέγεθος της εκμετάλλευσης και 7) η ηλικία των δέντρων. Επιπρόσθετα, συλλέχθηκαν δείγματα εδάφους από κάθε οπωρώνα για τον προσδιορισμό των ακόλουθων εδαφικών παραμέτρων: 1) οργανική ουσία, 2) οργανικό άζωτο, 3) τράπεζα σπόρων, 4) εδαφική αναπνοή και 5) σταθερότητα συσσωματωμάτων. Επίσης, πραγματοποιήθηκε συλλογή δειγμάτων από ρίζες των καλλιεργούμενων ειδών για τον προσδιορισμό των ενδό-μυκορριζικών μυκήτων.



Σχήμα 3.1: Οι θέσεις των αγροτεμαχίων τοποθετημένες πάνω σε εθνικό εδαφολογικό χάρτη (δεδομένα από Camera et al 2017). Οι βιολογικές εκμεταλλεύσεις απεικονίζονται σε τετράγωνα, οι συμβατικές σε τρίγωνα, ενώ παρουσιάζονται επίσης οι κυριότεροι τύποι εδάφους.

Οι ανωτέρω παράμετροι επιλέχθηκαν καθώς συσχετίζονται άμεσα με την ικανότητα των οπωρώνων και των εδαφών τους να παρέχουν ΟΥ (Adhikari & Hartemink, 2016; Dale & Polasky, 2007; Kragt & Robertson, 2014).

3.2.3 Αναλύσεις εδάφους

3.2.3.1 Οργανική ουσία και άζωτο Kjeldahl

Για τον προσδιορισμό της οργανικής ουσίας και του οργανικού αζώτου, συλλέχθηκε ένα σύνθετο δείγμα εδάφους ανά αγροτεμάχιο (από διάφορες θέσεις εντός του ίδιου οπωρώνα) και από βάθος 0-40 cm. Για τον προσδιορισμό της οργανικής ουσίας χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Walkley-Black (Vos et al., 2007). Εν συντομία, πυκνό H₂SO₄ προστίθεται σε μείγμα εδάφους με διάλυμα διχρωμικού καλίου (K₂Cr₂O₇). Η θερμότητα της αντίδρασης αυξάνει τη θερμοκρασία αρκετά ώστε να προκληθεί σημαντική οξειδωση από το όξινο διχρωμικό κάλιο. Το υπολειπόμενο διχρωμικό κάλιο τιτλοδοτείται με θειικό σίδηρο. Η διαφορά του προστιθέμενου FeSO₄ σε σύγκριση με μια τιτλοδότηση μάρτυρα καθορίζει την ποσότητα του ευκόλως οξειδωμένου οργανικού άνθρακα (De Vos et al., 2007). Το οργανικό άζωτο στο έδαφος προσδιορίστηκε με υγρή πέψη με τη μέθοδο Kjeldahl (Raveh & Avnimelech, 1979).

3.2.3.2 Ενδο-μυκορριζικοί μύκητες και μικροβιακή δραστηριότητα του εδάφους

Σε κάθε οπωρώνα, συλλέχθηκε σύνθετο δείγμα ρίζας (βάρους 100 g από βάθος 40 cm) από τα διάφορα καλλιεργούμενα είδη, για τον ποσοτικό προσδιορισμό της παρουσίας AMF (% αποικισμού των ριζών), σύμφωνα με τη μεθοδολογία που παρουσιάζεται στους Phillips και Hayman (1970). Η μικροβιακή δραστηριότητα στο έδαφος εκτιμήθηκε μετά την ποσοτικοποίηση του ρυθμού αναπνοής του εδάφους (Kang et al., 2003; Rowell, 1995). Εν συντομία, το δείγμα εδάφους παραλήφθηκε, αεροξηράνθηκε (2-3 ημέρες σε θερμοκρασία εργαστήριου), κοσκινίστηκε (κόσκινο διαμέτρου οπής 2 mm) και ακολούθως η περιεκτικότητα σε νερό ρυθμίστηκε στο 50% της υδατοχωρητικότητας του. Στη συνέχεια επώαστηκε στους 25 °C για 24 ώρες με φιαλίδια NaOH (παγίδες CO₂). Μετά την επώαση, τα φιαλίδια NaOH αφαιρέθηκαν και τιτλοδοτήθηκαν με 0.02N HCl για τον προσδιορισμό της ποσότητας CO₂ που εκλύθηκε από το δείγμα εδάφους κατά τη διάρκεια της επώασης.

3.2.3.3 Εδαφική σταθερότητα συσσωματωμάτων και τράπεζα σπόρων

Ένα εδαφικό συσσωμάτωμα ορίζεται ως μια ομάδα εδαφικών υλικών (οργανικών και ανόργανων) που συνάπτονται μεταξύ τους. Ως δείκτης της σταθερότητας των συσσωματωμάτων, επιλέχθηκε η μέση κατά βάρος διάμετρος (MWD, μετρήθηκε σε mm) η οποία ποσοτικοποιήθηκε όπως περιγράφεται στο Dane et al. (2002). Η βασική ιδέα συσχέτισης του μεγέθους των συσσωματωμάτων με τη σταθερότητα είναι ότι τα μεγαλύτερα συσσωματώματα συνεπάγονται και μεγαλύτερη σταθερότητα. Ο πιο ευρέως χρησιμοποιούμενος δείκτης για το σκοπό αυτό είναι η παράμετρος MWD (Nimmo &

Perkins, 2018, pp. 317–328). Στην πράξη, ο υπολογισμός γίνεται με βάση το άθροισμα των μεγεθών των κλάσεων και προσδιορίζεται με κοσκίνισμα (χρησιμοποιώντας πλέγματα διαφορετικών διαμέτρων, εύρους 2 έως 20 mm). Η παράμετρος MWD υπολογίζεται ως η διάμετρος κατά την οποία το ήμισυ της εδαφικής μάζας αποτελείται από μικρότερα συσσωματώματα και το ήμισυ από μεγαλύτερα συσσωματώματα (Dane et al., 2002).

Η τράπεζα σπόρων προσδιορίστηκε με τη μέθοδο έκπτυξης σπορόφυτων, όπως παρουσιάζεται στο Barberi και Cascio (2001). Κάθε (σύνθετο) εδαφικό δείγμα (από βάθος 0-40 cm) από όλα τα αγροτεμάχια τοποθετήθηκε πάνω σε αποστειρωμένη χονδροειδή άμμο. Στη συνέχεια, τα δείγματα υποβλήθηκαν σε άρδευση για τη διατήρηση της εδαφικής υγρασίας και την υποβοήθηση της βλάστησης των σπόρων. Τα σπορόφυτα ζιζανίων που εμφανίστηκαν αναγνωρίστηκαν (κατά είδος), καταμετρήθηκαν και στη συνέχεια απομακρύνθηκαν. Ο αριθμός των ειδών που υπήρχαν σε κάθε δείγμα καταγράφηκε.

3.2.4 Στατιστική ανάλυση

3.2.4.1 Ανάλυση κατά συστάδες

Οι ακόλουθες ΓΠ διαχείρισης, εδαφικές παράμετροι και χαρακτηριστικά για κάθε οπωρώνα χρησιμοποιήθηκαν για την ταξινόμηση των 52 αγροτεμαχίων σε ομάδες (3 αγροτεμάχια εξαιρέθηκαν λόγω μεγάλων αποκλίσεων στις ΓΠ (καμία ΓΠ δεν εφαρμόστηκε, ηλικία των δέντρων και μέγεθος της έκτασης): 1) Μέθοδοι άρδευσης (1 = στάγδην/μικροεκτοξευτήρες, 2 = αυλάκια/λεκάνες, 3 = καμία άρδευση), 2) Διαχείριση εχθρών και ασθενειών (1 = μέθοδοι βιολογικής γεωργίας, 2 = μέθοδοι συμβατικής γεωργίας, 3 = τίποτα δεν εφαρμόζεται), 3) Διαχείριση ζιζανίων (1 = μηχανική καταπολέμηση με κατεργασία εδάφους, 2 = χορτοκοπή/ενσωμάτωση, 3 = χημική καταπολέμηση, 4 = 1 + 2, 5 = 1 + 3, 6 = 2 + 3), 4) Τύπος λίπανσης (1 = οργανικά λιπάσματα, 2 = συνθετικά λιπάσματα, 3 = τίποτα δεν εφαρμόζεται, 4 = 1 + 2), 5) Μέγεθος του οπωρώνα (σε εκτάρια), 6) Ηλικία των δέντρων (σε έτη), 7) Εδαφική αναπνοή (ρυθμός απελευθέρωσης CO₂), 8) Ολικό Άζωτο εδάφους (%), 9) MWD (mm), 10) Οργανική ουσία εδάφους (%), 11) Τράπεζα σπόρων (αριθμός ειδών) και 12) Ενδό-μυκορριζικοί μύκητες (% αποικισμού των ριζών). Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν παρατίθενται στους Πίνακες Σ3.1-3.3 (Παράρτημα Α).

Για την ανάλυση συστάδων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Ward (Ward, 1963) στοχεύοντας στον εντοπισμό ομάδων μικτών οπωρώνων που παρουσιάζουν ομοιογένεια μεταξύ των ανωτέρω παραμέτρων. Για τη συσταδοποίηση χρησιμοποιήθηκε το κριτήριο της ελάχιστης

διακύμανσης του Ward, ενώ η ανομοιογένεια μεταξύ των υπό μελέτη οπωρώνων μετρήθηκε με το τετράγωνο της Ευκλείδειας απόστασης (Sharma, 1996).

3.2.4.2 Γενικά γραμμικά μοντέλα

Για τη σύγκριση των ποιοτικών χαρακτηριστικών εδάφους των βιολογικών οπωρώνων έναντι των συμβατικών, εφαρμόστηκαν Γενικά Γραμμικά Μοντέλα (ΓΓΜ), (General Linear Models) (Habel et al., 2019; Parsons et al., 2019). Χρησιμοποιήθηκε η διαδικασία ΓΓΜ για την κατασκευή ενός στατιστικού μοντέλου το οποίο περιγράφει την επίδραση των κατηγορικών παραγόντων των συστημάτων (βιολογικών έναντι συμβατικών) στις εξαρτημένες μεταβλητές: 1) ρυθμός εδαφικής αναπνοής, 2) MWD (mm), δείκτης σταθερότητας των εδαφικών συσσωματωμάτων, 3) οργανική ουσία εδάφους (%), 4) τράπεζα σπόρων (αριθμός ειδών), 5) AMF (% αποικισμού των ριζών) και 6) τύπος εδάφους (αντιπροσωπεύεται από έναν αριθμό στον εδαφικό χάρτη, π.χ. το 6 αντιπροσωπεύει τους ασβεστολιθικούς σχηματισμούς).

Για την ανάλυση που περιγράφεται στις παραγράφους 3.2.4.1 και 3.2.4.2, χρησιμοποιήθηκε το STATGRAPHICS Centurion XVI.

3.2.5 Σύνδεση εδαφικών ιδιοτήτων, χαρακτηριστικών των οπωρώνων και ΓΠ διαχείρισης με τις ΟΥ

Στην παρούσα ερευνητική εργασία, δημιουργήθηκε ένα πλαίσιο για: 1) τη σύνδεση των ιδιοτήτων του εδάφους, των χαρακτηριστικών των οπωρώνων και των ΓΠ διαχείρισης με τις ΟΥ και 2) την αξιολόγηση της επίδρασή τους στις ΟΥ που παρέχουν οι μικτοί ΒΙΟ και ΣΥΜ οπωρώνες.

Για τη σύνδεση των εδαφικών ιδιοτήτων (φυσικών, βιολογικών και χημικών) με τις ΟΥ ακολουθείται η εργασία των Adhikari και Hartemink (2016), όπου πραγματοποιήθηκε μια ανασκόπηση σχετικά με τις βασικές ιδιότητες του εδάφους και τις ΟΥ. Οι κατηγορίες ΟΥ από τους Adhikari και Hartemink (2016) προσαρμόστηκαν στην πιο πρόσφατη ταξινόμηση κατά CICES v.5.1 (βλέπε υπολογιστικό φύλλο <https://cices.eu/resources/>) (Haines-Young & Potschin, 2018).

Στην παρούσα εργασία, η μικροβιακή αναπνοή του εδάφους, το ποσοστό AMF και η τράπεζα σπόρων χρησιμοποιήθηκαν ως δείκτες για βιολογικής λειτουργίας του εδάφους. Η οργανική ουσία (%) και το οργανικό άζωτο (%) επιλέχθηκαν ως δείκτες χημείας του

εδάφους, ενώ η σταθερότητα των συσσωματωμάτων του εδάφους ως δείκτης των φυσικών ιδιοτήτων του (π.χ. αντίσταση στη διάβρωση).

Η σύνδεση μεταξύ των γεωργικών πρακτικών διαχείρισης και των χαρακτηριστικών των οπωρώνων με τις ΟΥ βασίστηκε σε βιβλιογραφική ανασκόπηση. Πιο συγκεκριμένα, για την άρδευση χρησιμοποιήθηκε ο σύνδεσμος μεταξύ του διαθέσιμου νερού και των ΟΥ που παρουσιάζεται στο Adhikari και Hartemink (2016). Η χρήση λιπασμάτων (διαθεσιμότητα θρεπτικών συστατικών) συνδέεται με τα τρόφιμα και την παραγωγή πρώτων υλών (Stewart et al., 2005), με τις εκπομπές των αέριων του θερμοκηπίου (λόγω των εκπομπών N₂O από τη χρήση αζωτούχων λιπασμάτων) και τους κύκλους θρεπτικών (Khalsa et al., 2020). Ωστόσο τα οργανικά λιπάσματα θα μπορούσαν να αυξήσουν τη δέσμευση άνθρακα στο έδαφος και να συμβάλουν στο σχηματισμό του εδάφους. Η χρήση φυτοπροστατευτικών ουσιών επιδρά στην παραγωγή τροφίμων, στην επικονίαση (Potts et al., 2016) και στη ρύθμιση εχθρών και ασθενειών των καλλιεργειών. Η διαχείριση των ζιζανίων συνδέεται με την παραγωγή τροφίμων, τη γονιδιακή δεξαμενή (π.χ. αριθμός φυτικών ειδών), τη ρύθμιση του κλίματος και των αερίων (φωτοσύνθεση), τον έλεγχο της διάβρωσης και των πλημμυρών (π.χ. κίνηση του νερού σε καλυμμένο έναντι γυμνού εδάφους), την επικονίαση και τη ρύθμιση των εχθρών και ασθενειών (Simon et al., 2010). Η τράπεζα σπόρων συνδέεται με την παραγωγή τροφίμων (πολλά είδη είναι βρώσιμα) και τη γονιδιακή δεξαμενή.

Επίσης, για τη σύνδεση των μικτών οπωρώνων με τις πολιτιστικές ΟΥ χρησιμοποιήθηκε το μέγεθος της εκμετάλλευσης και η ηλικία των δέντρων. Το πρώτο επηρεάζει κυρίως την αναψυχή, με την έννοια ότι οι εκμεταλλεύσεις μικρότερου μεγέθους συνεπάγονται συνήθως πιο ποικιλόμορφα τοπία από ότι οι μονοκαλλιέργειες (Schürpbach et al., 2016). Η ηλικία των δέντρων συνδέεται με την αισθητική του τοπίου και την πολιτιστική κληρονομιά (Rotherham, 2015). Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκαν οι ΓΠ διαχείρισης ως σύνδεσμος με τη γνώση και την εκπαίδευση (π.χ. επιστήμες που σχετίζονται με τη γεωργική/διατροφική παραγωγή).

Η σχέση μεταξύ των επιλεγμένων παραμέτρων και των παρεχόμενων ΟΥ παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.1 (Ενότητα 3.3, Αποτελέσματα). Σε αυτόν τον πίνακα, οι Ομάδες/Κλάσεις/Κωδικοί των ΟΥ παρέχονται σύμφωνα με το CICES v.5.1 (Haines-Young & Potschin, 2018).

Επιπρόσθετα, δημιουργήθηκε ένα ποιοτικό πλαίσιο αξιολόγησης της επίδρασης των εδαφικών παραμέτρων (π.χ. οργανική ουσία), των ΓΠ διαχείρισης (π.χ. εφαρμογή λίπανσης) και των χαρακτηριστικών της εκμετάλλευσης (π.χ. ηλικία των δέντρων) στις υπηρεσίες παροχής, ρύθμισης και πολιτισμού που παρέχονται από τους μικτούς ΒΙΟ και ΣΥΜ οπωρώνες. Αυτό το πλαίσιο ταξινομήσε την πιθανή επίδραση των επιλεγμένων εδαφικών ιδιοτήτων/ΓΠ/χαρακτηριστικών της εκμετάλλευσης στις διάφορες ΟΥ χρησιμοποιώντας μια κατηγορική κλίμακα τριών επιπέδων: 1) θετική επίδραση (πράσινο χρώμα), 2) ενδιάμεση επίδραση (αρνητική ή θετική ανάλογα με τη γεωργική πρακτική διαχείρισης ή την τιμή που λήφθηκε για την εδαφική παράμετρο/το χαρακτηριστικό της εκμετάλλευσης, κίτρινο χρώμα,) και 3) αρνητική επίδραση (πορτοκαλί χρώμα). Το πλαίσιο βασίστηκε στην ανασκόπηση των Adhikari και Hartemink (2016) για τις ιδιότητες του εδάφους και την άρδευση και στην παρούσα βιβλιογραφική ανασκόπηση για τις ΓΠ και τις ιδιότητες των οπωρώνων, σε συνδυασμό με τη συλλογική εμπειρία σχετικά με τη συμπεριφορά του συστήματος υπό διαφορετικές γεωργικές πρακτικές διαχείρισης στην Κύπρο (βλέπε επίσης Πίνακα Σ3.4 - Παράρτημα Α).

Για την ποιοτική αξιολόγηση χρησιμοποιήθηκαν επίσης τα αποτελέσματα της ανάλυσης συστάδων (παράγραφος 3.2.4.1) και των ΓΓΜ (παράγραφος 3.2.4.2). Χρησιμοποιήθηκαν οι κεντροειδείς τιμές (των ομάδων που σχηματίστηκαν) για τις ΓΠ διαχείρισης και τα χαρακτηριστικά των γεωργικών εκμεταλλεύσεων καθώς και οι διάμεσες τιμές από τα ΓΓΜ για τη σύνδεση των ΟΥ με τις ΓΠ, τα χαρακτηριστικά των αγροτεμαχίων και τις ιδιότητες του εδάφους (σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1).

Για παράδειγμα, η άρδευση συνήθως αυξάνει την παραγωγή βιομάζας των φυτών. Συνεπώς, στον Πίνακα 3.1 σχετικά με την ΟΥ παροχής «καλλιεργούμενα χερσαία φυτά» αναφέρεται θετική επίδραση (πράσινο χρώμα), τόσο για τους ΒΙΟ όσο και τους ΣΥΜ μικτούς οπωρώνες. Από την άλλη πλευρά, η άρδευση δημιουργεί ένα ευνοϊκό περιβάλλον για τους μικροοργανισμούς οι οποίοι αποσυνθέτουν την οργανική ουσία και απελευθερώνουν CO₂ στην ατμόσφαιρα. Κατά συνέπεια, αναφέρεται αρνητική επίδραση (κίτρινο χρώμα, ενδιάμεση), όσον αφορά τη ρυθμιστική ΟΥ «ατμοσφαιρικές συνθήκες». Ένα άλλο παράδειγμα είναι η διαχείριση ζιζανίων με καλλιέργεια του εδάφους σε ΒΙΟ μικτούς οπωρώνες. Η καλλιέργεια του εδάφους έχει ως αποτέλεσμα την επαύξηση του αερισμού του εδάφους, γεγονός το οποίο εντείνει την εδαφική αναπνοή και τις σχετικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Μια πρόσθετη συνέπεια της καλλιέργειας του εδάφους είναι η υψηλότερη κατανάλωση ορυκτών καυσίμων, η οποία συνεπάγεται και πάλι αυξημένες εκπομπές αερίων

του θερμοκηπίου. Ως εκ τούτου, η διαχείριση των ζιζανίων μέσω της καλλιέργειας του εδάφους αναμένεται να επηρεάσει αρνητικά τις ΟΥ που αφορούν ατμοσφαιρικές συνθήκες. Στον αντίποδα, στους μικτούς ΣΥΜ οπωρώνες, τα ζιζανιοκτόνα χρησιμοποιούνται συστηματικά για την καταπολέμηση των ζιζανίων ελαχιστοποιώντας την ανάγκη για καλλιέργεια του εδάφους, αλλά επηρεάζουν αρνητικά άλλες ΟΥ (π.χ. επικονίαση). Κατ' αναλογία προσεγγίστηκαν και συμπληρώθηκαν όλα τα κελιά του Πίνακα 3.1, με βάση τόσο τις υπάρχουσες πληροφορίες (π.χ. Adhikari και Hartemink 2016), όσο και τα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν έπειτα από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση (βλέπε Πίνακα Σ3.4 - Παράρτημα Α). Για το χαρακτηρισμό της επίδρασης της εκάστοτε εδαφικής παραμέτρου-ΓΠ-χαρακτηριστικού της γεωργικής εκμετάλλευσης στις ΟΥ από μικτούς οπωρώνες, όλες οι άλλες μεταβλητές (βλέπε Πίνακα 3.1) διατηρήθηκαν σταθερές, ενώ πιθανές αλληλεπιδράσεις δεν ελήφθησαν υπόψη.

3.3 Αποτελέσματα

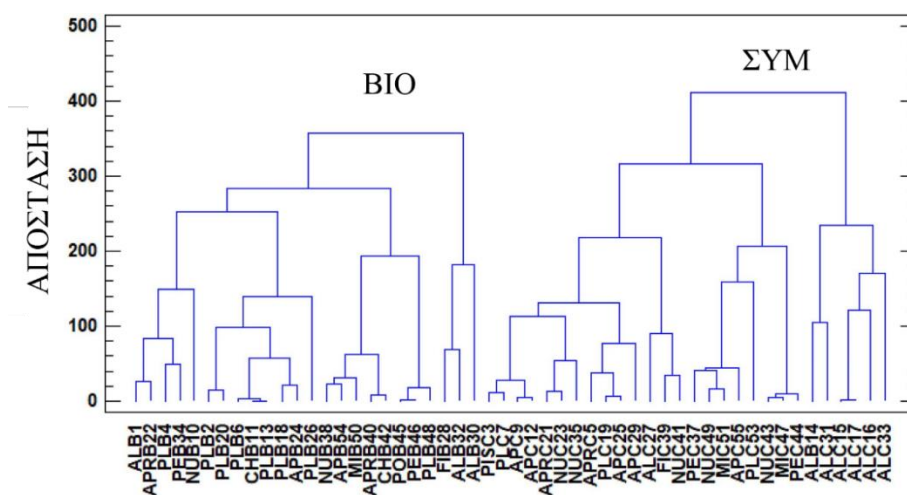
Στον Πίνακα 3.1, παρουσιάζονται οι συνδέσεις μεταξύ των ΓΠ, των εδαφικών παραμέτρων, των χαρακτηριστικών των αγροτεμαχίων και των ΟΥ για τους βιολογικούς και τους συμβατικούς οπωρώνες, αντίστοιχα. Με δεδομένο ότι οι ΓΠ διαχείρισης, το έδαφος και τα χαρακτηριστικά των αγροτεμαχίων επηρεάζουν την παραγωγή των καλλιεργειών (Demestihias et al., 2018; Rööös et al., 2018; Weißhuhn et al., 2017), η ΟΥ παροχή τροφής (Πίνακας 3.1: καλλιεργούμενα χερσαία φυτά) συνδέεται με πολλούς παράγοντες. Η ρύθμιση του κλίματος και των αερίων (Πίνακας 3.1: ατμοσφαιρικές συνθήκες), η δέσμευση του άνθρακα (Πίνακας 3.1: ρύθμιση της ποιότητας του εδάφους) και οι κύκλοι των θρεπτικών στοιχείων επηρεάζονται επίσης από πολλούς από τους παράγοντες που μελετήθηκαν (Πίνακας 3.1). Οι πολιτιστικές ΟΥ (αισθητική, εκπαίδευση, υπηρεσίες πολιτισμού) επηρεάζονται επίσης από τις ΓΠ διαχείρισης.

Πίνακας 3.1: Η επίδραση των γεωργικών πρακτικών διαχείρισης, των χαρακτηριστικών των οπωρώνων και των ιδιοτήτων του εδάφους σε επιλεγμένες οικοσυστημικές υπηρεσίες σε βιολογικούς και συμβατικούς οπωρώνες. Οι ομάδες/κλάσεις/κωδικοί των οικοσυστημικών υπηρεσιών παρέχονται σύμφωνα με το CICES v.5.1 (Haines-Young & Potschin, 2018). Πράσινο: θετική επίδραση, κίτρινο: ενδιάμεση επίδραση (αρνητική ή θετική, ανάλογα με την πρακτική διαχείρισης ή την τιμή της εδαφικής παραμέτρου/ιδιότητας της εκμετάλλευσης) και πορτοκαλί: αρνητική επίδραση. Τροποποιήθηκε από τους Adhikari και Hartemink (2016) για τις εδαφικές ιδιότητες και την άρδευση. Για τα χαρακτηριστικά των ΓΠ και των οπωρώνων βλέπε ενότητα 3.2.5.

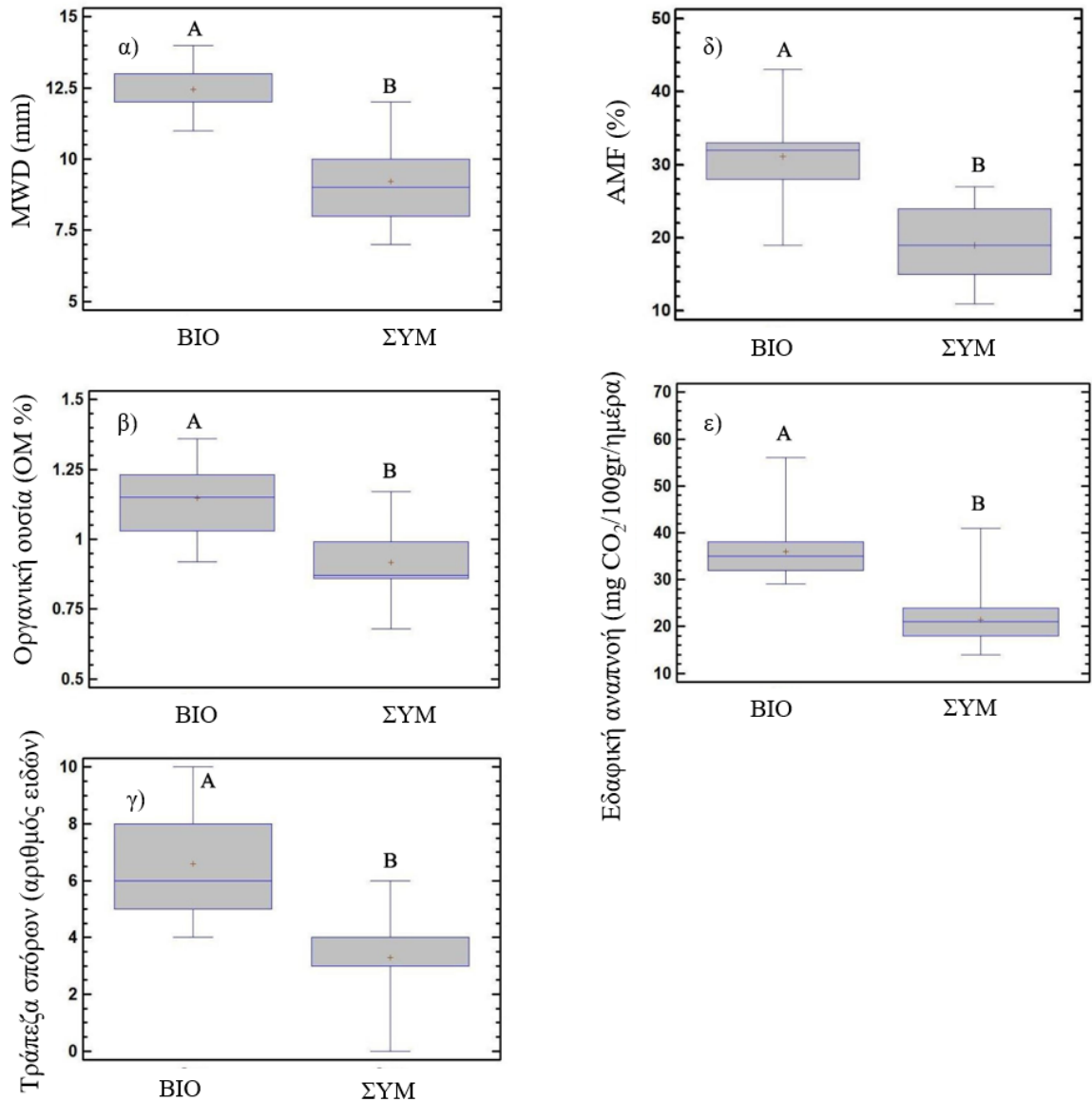
Εδαφική παράμετρος ή γεωργική πρακτική ή χαρακτηριστικό της εκμετάλλευσης	ΟΥ Παροχής			Ρυθμιστικές ΟΥ								Πολιτιστικές ΟΥ			
	Καλλιεργούμενα χερσαία φυτά ¹	Γενετικό υλικό ²	Υδατα (επιφανειακά και υπόγεια) ³	Ατμοσφαιρικές συνθήκες ⁴	Συνθήκες υδάτων ⁵	Ρύθμιση (ροές/ακραία γεγονότα) ⁶	Διατήρηση του κύκλου ζωής ⁷	Έλεγχος εχθρών και ασθeneιών ⁸	Ρύθμιση της ποιότητας του εδάφους ⁹	Σχηματισμός εδάφους ¹⁰	Κύκλοι θρεπτικών στοιχείων ¹¹	Φυσικές/βιοματικές αλληλεπιδράσεις ¹²	Αντιπροσωπευτική/πνευματική/συμβολική	Πνευματικές αλληλεπιδράσεις ¹⁴	Πολιτισμός/Κληρονομιά ¹⁵
ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΙ ΟΠΩΡΩΝΕΣ															
Άρδευση	■		■	■	■								■	■	
Χρήση λιπασμάτων	■			■	■				■	■				■	
Χρήση σκευασμάτων φυτοπροστασίας	■					■	■	■						■	
Διαχείριση ζιζανίων	■	■		■		■	■	■						■	
Μέγεθος οπωρώνα												■	■		■
Ηλικία δένδρων	■								■				■		■
Οργανική ουσία	■		■	■	■			■	■	■					
Ολικό Άζωτο	■			■	■										
AMF	■	■						■		■	■				
Τράπεζα σπόρων	■	■						■	■						
Εδαφική αναπνοή	■	■		■					■	■	■				
Σταθερότητα συσσωματωμάτων	■		■		■	■			■	■					
ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΙ ΟΠΩΡΩΝΕΣ															
Άρδευση	■		■	■	■	■							■	■	
Χρήση λιπασμάτων	■			■	■				■		■			■	
Χρήση σκευασμάτων φυτοπροστασίας	■					■	■	■						■	
Διαχείριση ζιζανίων	■	■		■		■	■	■						■	

σημαντικές διαφορές στις εδαφικές παραμέτρους ποιότητας μεταξύ βιολογικών και συμβατικών εκμεταλλεύσεων, ως εξής: MWD ($F = 83.14$, $df = 1, 50$, $P < 0.05$, Σχήμα 3.3α), οργανική ουσία % ($F = 41.51$, $df = 1, 50$, $P < 0.05$, Σχήμα 3.3β), τράπεζα σπόρων ($F = 49.32$, $df = 1, 50$, $P < 0.05$, Σχήμα 3.3γ), AMF % ($F = 62.00$, $df = 1, 50$, $P < 0.05$, Σχήμα 3.3δ) και εδαφική αναπνοή ($F = 75.22$, $df = 1, 50$, $P < 0.05$, Σχήμα 3.3ε). Το συνολικό άζωτο (%) εξαιρέθηκε από την ανάλυση λόγω σημαντικής συσχέτισης με την οργανική ουσία (%). Δεν υπήρχαν διαφορές μεταξύ των τύπων εδαφών ($F = 0.02$, $df = 1, 50$, $P > 0.05$).

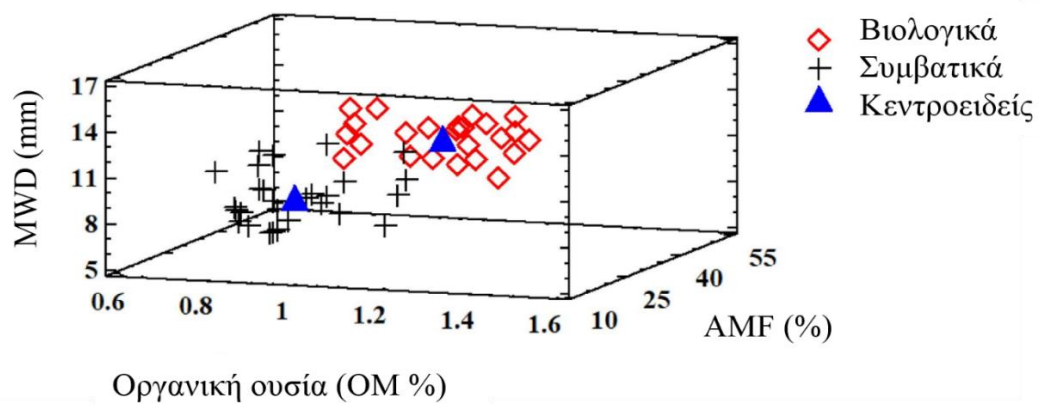
Στο Σχήμα 3.4, τα αγροτεμάχια ομαδοποιήθηκαν ανάλογα με το ποσοστό οργανικής ουσίας, AMF % και MWD, παράμετροι που επιλέχθηκαν καθώς συνδέονται με πολλές ΟΥ παροχής, ρύθμισης και τις πολιτιστικές υπηρεσίες (Πίνακας 3.1). Οι παράμετροι οργανική ουσία %, AMF % και MWD προσφέρουν επίσης μια ολιστική θεώρηση του εδαφικού οικοσυστήματος σε μικτούς σπωρώνες, καθώς αντιπροσωπεύουν τη χημεία του εδάφους (% οργανικής ουσίας), τη βιολογία (% AMF) και τη φυσική (MWD) του εδάφους. Οι τιμές των κεντροειδών (Σχήμα 3.4) στην περίπτωση των μικτών ΒΙΟ σπωρώνων ήταν 31,29%, 1,16% και 12,46 mm, για τις παραμέτρους AMF, οργανική ουσία και MWD, αντίστοιχα. Στην περίπτωση των μικτών ΣΥΜ σπωρώνων οι τιμές αυτές ήταν 19,32%, 0,92% και 9,32 mm, για τις παραμέτρους AMF, οργανική ουσία και MWD, αντίστοιχα.



Σχήμα 3.2: Δενδρόγραμμα των αποτελεσμάτων της ανάλυσης συστάδων. ΒΙΟ: βιολογικές (Organic) και ΣΥΜ: συμβατικές (Conventional) εκμεταλλεύσεις. Οι κωδικοί των μικτών σπωρώνων αντιπροσωπεύουν το κυρίαρχο καλλιεργούμενο δέντρο/είδος (π.χ. APR), το καλλιεργητικό σύστημα (π.χ. C) και τον αριθμό του σπωρώνα (π.χ. 1). Για παράδειγμα, AL; Almond: Αμυγδαλιά, APR; Apricot: Βερικοκιά, PL; Plum: Δαμασκηλιά, PE; Peach: Ροδακινιά, NU; Walnuts: Καρυδιά, CH; Cherries: Κερασιά, AP; Apple: Μηλιά, PO; Pomegranate: Ροδιά, MI; Mixed: Μικτός σπωρώνας (δέντρα διαφόρων ειδών), FI; Fig: Συκιά. B; Organic: Βιολογικά, C; Conventional: Συμβατικά. Στον άξονα Y παρουσιάζεται το τετράγωνο της Ευκλείδειας απόστασης.



Σχήμα 3.3: Αποτελέσματα ανάλυσης ΓΓΜ. Κατανομή α) της μέσης κατά βάρος διαμέτρου (MWD) των εδαφικών συσσωματωμάτων, β) της οργανικής ουσίας (OM %), γ) της τράπεζας σπόρων (αριθμός ειδών), δ) των ενδό-μυκορριζικών μυκήτων (AMF: % αποικισμού των ριζών) ε) των τιμών της εδαφικής αναπνοής για 25 βιολογικούς (BIO) και 27 (ΣΥΜ) συμβατικούς οπωρώνες. Διαφορετικά γράμματα πάνω από τις ράβδους καταδεικνύουν στατιστική σημαντικότητα ($P < 0,05$) μετά από ανάλυση διακύμανσης ANOVA. Στα διαγράμματα: ο σταυρός παρουσιάζει τη μέση τιμή, η γραμμή στο πλαίσιο δείχνει τη διάμεσο, το πλαίσιο το ενδοτεταρτημοριακό εύρος και οι δείκτες δείχνουν τις ελάχιστες και μέγιστες τιμές.



Σχήμα 3.4: Διάγραμμα διασποράς των συστάδων για: το % αποικισμού των ριζών από ενδόμυκορριζικούς μύκητες (AMF%, προσεγγιστικός δείκτης βιολογίας του εδάφους), την οργανική ουσία % (προσεγγιστικός δείκτης χημείας του εδάφους) και τη μέση κατά βάρος διάμετρο των εδαφικών συσσωματωμάτων (MWD, προσεγγιστικός δείκτης φυσικής του εδάφους). Υψηλότερες τιμές για αυτές τις παραμέτρους υποδηλώνουν καλύτερες εδαφικές συνθήκες στους μικτούς οπωρώνες.

3.4 Συζήτηση

Η σύνδεση των ΓΠ διαχείρισης, των εδαφικών παραμέτρων και των χαρακτηριστικών των οπωρώνων σε ένα κοινό πλαίσιο αξιολόγησης, υποστηριζόμενο βιβλιογραφικά, προσφέρει χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με τη σημαντικότητα των οπωρώνων για την παροχή ΟΥ στα νησιά της Μεσογείου. Στην περίπτωση των μικτών οπωρώνων βιολογικής καλλιέργειας οι τρεις συνιστώσες του πλαισίου (ΓΠ, χαρακτηριστικά οπωρώνων και εδαφικές ιδιότητες) λειτουργούν σε συνέργεια ώστε να υποστηρίζουν με θετικό τρόπο σχεδόν όλες τις ΟΥ που εντάσσονται στις τρεις εξεταζόμενες κατηγορίες (παροχής, ρύθμισης και πολιτιστικές) (Πίνακας 3.1 και Παράρτημα Α, Πίνακας Σ3.4). Από την άλλη πλευρά, αυτό δεν συμβαίνει με τους οπωρώνες συμβατικής καλλιέργειας, όπου και οι τρεις συνιστώσες (ΓΠ, χαρακτηριστικά οπωρώνων και εδαφικές ιδιότητες) εμφανίζονται να έχουν ουδέτερη ή αρνητική επίδραση στις ρυθμιστικές υπηρεσίες, ενώ από τις τρεις συνιστώσες μόνο η παράμετρος ΓΠ έχει παρόμοια επίδραση στις υπηρεσίες παροχής. Η παροχή πολιτιστικών υπηρεσιών ωστόσο είναι γενικά παρόμοια και στα δύο καλλιεργητικά συστήματα. Ωστόσο, απαιτείται περαιτέρω έρευνα για την ποσοτικοποίηση των ΟΥ που υποστηρίζονται από τους οπωρώνες, ιδιαίτερα με τη διεξαγωγή ερευνών πεδίου για την αξιολόγηση των επιπέδων παροχής τους.

Η ανάλυση συστάδων, βάσει των πρακτικών διαχείρισης, των χαρακτηριστικών των οπωρώνων και των παραμέτρων εδαφικής ποιότητας, οδήγησε σε σαφή διάκριση μεταξύ

βιολογικών και συμβατικών οπωρώνων. Στους βιολογικούς μικτούς οπωρώνες εφαρμόζεται άρδευση με τις μεθόδους στάγδην/μικροεκτοξευτήρων, ενώ σε ορισμένους από τους συμβατικούς εφαρμόζεται και άρδευση με αυλάκια/λεκάνες. Κατά τη μέθοδο άρδευσης με αυλάκια, η αποδοτικότητα της χρήσης νερού μειώνεται λόγω της αυξημένης απώλειας νερού (εξάτμιση) κατά τη διάρκεια εφαρμογής της (Smith et al., 2018). Σε περιοχές με απότομες κλίσεις, η άρδευση σε αυλάκια μπορεί επίσης να προκαλέσει προβλήματα διάβρωσης (King et al., 2016). Επομένως, στην περίπτωση αυτή, οι βιολογικοί μικτοί οπωρώνες έχουν τη δυνατότητα να υποστηρίξουν ΟΥ όπως η ρύθμιση των υδάτων και ο έλεγχος της διάβρωσης/πλημμυρών σε μεγαλύτερο βαθμό από ότι οι συμβατικοί οπωρώνες. Ωστόσο, η μετάβαση των συμβατικών οπωρώνων σε βελτιωμένες μεθόδους άρδευσης, θα μπορούσε να ενισχύσει τις δυνατότητές τους να υποστηρίξουν αποτελεσματικότερα τις ΟΥ που σχετίζονται με τη ρύθμιση του νερού και τη διάβρωση (King et al., 2016; Smith et al., 2018). Το παράδοξο της αποδοτικότητας των υδάτων αναφέρεται συχνά κατά την εφαρμογή της στάγδην άρδευσης σε μεγάλες εκτάσεις. Η ορθολογική χρήση των υδάτων σε τοπική κλίμακα (υψηλότερη αποδοτικότητα, λιγότερες απώλειες λόγω διήθησης) ενδέχεται να οδηγήσει σε υδατική ανεπάρκεια σε περιοχές με χαμηλότερο υψόμετρο (στο κατάντη του εδάφους) (Merks, 2018). Παρά το παράδοξο αυτό, η λειψυδρία, η οποία αποτελεί το κυριότερο πρόβλημα στις ξηρικές περιοχές, οδηγεί στην υιοθέτηση βελτιωμένων μεθόδων άρδευσης, όπως π.χ. η στάγδην άρδευση.

Οι αρνητικές επιπτώσεις της εφαρμογής αγροχημικών στις συμβατικές γεωργικές εκμεταλλεύσεις (π.χ. ρύπανση του εδάφους και των υδάτων) καθώς και στους επικονιαστές είναι επαρκώς τεκμηριωμένες (Carvalho, 2017; Potts et al., 2016). Ως εκ τούτου, τα χημικά φυτοπροστατευτικά σκευάσματα έχουν άμεση επίπτωση σε ΟΥ όπως ο καθαρισμός του νερού, η επικονίαση και οι κύκλοι των θρεπτικών ουσιών. Ωστόσο, η βιώσιμη διαχείριση των εχθρών και ασθενειών (π.χ. μειωμένη χρήση αγροχημικών, βιολογική καταπολέμηση) θα μπορούσε να στηρίξει την υπηρεσία παροχής τροφίμων (παρόλο που ενδέχεται να υπάρξουν ζημιές στα τρόφιμα από εχθρούς) και την υπηρεσία ρύθμισης εχθρών και ασθενειών (Holt et al., 2016). Από την άλλη πλευρά, ο αποκλεισμός της χρήσης χημικών φυτοφαρμάκων στους βιολογικούς οπωρώνες αναμένεται να οδηγήσει σε χαμηλότερες αποδόσεις, επηρεάζοντας την υπηρεσία παροχής τροφίμων.

Σύμφωνα με τα στοιχεία μας, η διαχείριση των ζιζανίων στις βιολογικές εκμεταλλεύσεις περιλαμβάνει κυρίως την πρακτική της κοπής ζιζανίων (χορτοκοπή), ενώ η πρακτική της μηχανικής κατεργασίας του εδάφους (π.χ. με περιστροφικούς καλλιεργητές, φρέζες) για

ζιζανιοκτονία εφαρμόζεται συνήθως στους συμβατικούς οπωρώνες. Η καλλιέργεια του εδάφους, σε περιπτώσεις που εφαρμόζεται συχνά, θα μπορούσε να συνδεθεί με τη διάβρωση, την απώλεια άνθρακα και τη μείωση της παραγωγής λόγω της μειωμένης γονιμότητας του εδάφους (Prosdocimi et al., 2016). Η καταπολέμηση ζιζανίων, ανεξαρτήτως της γεωργικής πρακτικής, δύναται επίσης να επηρεάσει αρνητικά τους επικονιαστές. Ωστόσο, και η παρουσία ζιζανίων θα μπορούσε να συμβάλει στη μείωση της παραγωγής, εξαιτίας του ανταγωνισμού που αναπτύσσουν με τα φυτά για θρεπτικά συστατικά και νερό (Mia et al., 2020), ιδίως σε ξηρικά κλίματα, όπου η άρδευση πιθανόν να εφαρμόζεται σε ποσότητες χαμηλότερες από τις βέλτιστες. Τα αποτελέσματά μας υποδεικνύουν ότι σε αρκετούς μικτούς βιολογικούς οπωρώνες, όπου εφαρμόζεται μηδενική ή μειωμένη κατεργασία του εδάφους, θα μπορούσαν να ενισχυθούν ΟΥ όπως ο έλεγχος της διάβρωσης και των πλημμυρών, η ρύθμιση των υδάτων, η δέσμευση του άνθρακα και ο σχηματισμός εδάφους, σε σύγκριση με τους συμβατικούς οπωρώνες.

Η εφαρμογή θρεπτικών συστατικών στο έδαφος είναι καθοριστικής σημασίας για την υπηρεσία παροχής τροφίμων, καθώς συμβάλλει στη διασφάλιση της παραγωγής τροφής σε παγκόσμια κλίμακα. Ωστόσο, η αλόγιστη χρήση συνθετικών λιπασμάτων (ιδίως αζώτου) επιφέρει αρνητικές επιπτώσεις στον καθαρισμό των υδάτων (Lassaletta et al., 2016), στους κύκλους των θρεπτικών στοιχείων, καθώς και στη ρύθμιση του κλίματος και των αερίων (Bell et al., 2015; Lassaletta et al., 2016; Markhi et al., 2019; Thapa et al., 2016). Ένα πιο σοβαρό ζήτημα είναι η απώλεια αζωτούχων λιπασμάτων λόγω της μετατροπής του αζώτου (N) σε υποξείδιο του αζώτου (N₂O). Ωστόσο υπό τις ξηρικές μεσογειακές συνθήκες, η απώλεια αυτή είναι ενδεχομένως μικρότερη από εκείνη που είχε εκτιμηθεί προηγουμένως (1% της περιεκτικότητας σε N του εφαρμοζόμενου λιπάσματος) από τον IPCC (Christodoulou et al., 2019; Omirou et al., 2020).

Η σταθερότητα των εδαφικών συσσωματωμάτων (όπως εκτιμάται μέσω του MWD, Σχήμα 3.3α) είναι υψηλότερη στις βιολογικές σε σχέση με τις συμβατικές εκμεταλλεύσεις. Κατά συνέπεια, οι βιολογικές εκμεταλλεύσεις θα μπορούσαν να έχουν καλύτερες επιδόσεις όσον αφορά στις ΟΥ διάβρωσης και ελέγχου πλημμυρών, αλλά και όσον αφορά στο σχηματισμό του εδάφους και στη συγκράτηση νερού (Holifield Collins et al., 2015). Οι τιμές που λαμβάνονται για την παράμετρο MWD, στους μικτούς ΒΙΟ και ΣΥΜ οπωρώνες, είναι υψηλότερες από αυτές των που σημειώνονται τυπικά κατά την εντατική κατεργασία του εδάφους (Gonzalez-Rosado et al., 2020) και είναι παραπλήσιες με αυτές που σημειώνονται σε αγροτεμάχια όπου εφαρμόζεται μειωμένη (ή συντηρητική) κατεργασία (Li et al., 2019).

Η οργανική ουσία (%) καταγράφηκε επίσης σημαντικά υψηλότερη στις βιολογικές από ότι στις συμβατικές εκμεταλλεύσεις (Σχήμα 3.3β), γεγονός που θα μπορούσε να αποδοθεί στη συνεχόμενη προσθήκη (επί σειρά ετών) οργανικών υλικών στις πρώτες. Οι τιμές που προσδιορίστηκαν για την οργανική ουσία στη μελέτη μας (σε ΒΙΟ και σε ΣΥΜ οπωρώνες) είναι παραπλήσιες με αυτές που αναφέρονται σε πρόσφατη έρευνα σχετικά με τα αποθέματα άνθρακα σε Κυπριακά εδάφη (Zissimos et al., 2019). Συνεπώς, οι βιολογικές εκμεταλλεύσεις παρουσιάζουν καλύτερες επιδόσεις όσον αφορά ΟΥ όπως η δέσμευση του άνθρακα και ο σχηματισμός του εδάφους. Παρόλο που δεν έχουν πραγματοποιηθεί άλλες μελέτες σε οπωρώνες στην Κύπρο, μια πρόσφατη μελέτη σε αμπελώνες ανέφερε υψηλότερη περιεκτικότητα σε οργανική ουσία σε εγκαταλελειμμένους και αμπελώνες χαμηλών εισροών, σε σύγκριση με αμπελώνες εντατικής διαχείρισης (Djuma et al., 2020). Επιπλέον, η αμπελοκαλλιέργεια χαμηλών εισροών και η χρήση γηγενών ποικιλιών ενδέχεται να υποστηρίξουν τον μετριασμό των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου και την αποθήκευση άνθρακα (Litskas et al., 2017; Litskas et al., 2020). Τα ευρήματα αυτά ενισχύουν τη σημαντικότητα των βιολογικών μικτών οπωρώνων και των αμπελώνων χαμηλών εισροών ως προς τη δέσμευση άνθρακα στην Κύπρο.

Ο αριθμός των ειδών της εδαφικής τράπεζας σπόρων ήταν σημαντικά υψηλότερος στις βιολογικές εκμεταλλεύσεις από ότι στις συμβατικές (Σχήμα 3.3γ). Ο αριθμός των φυτικών ειδών στην παρούσα μελέτη (ΒΙΟ και ΣΥΜ οπωρώνες) ήταν παρεμφερής με αυτόν που προέκυψε σε μια πολυετή μελέτη σε ξηρικές χορτολιβαδικές εκτάσεις μεσογειακών ακτών της Γαλλίας (Saatkamp et al., 2018). Ωστόσο, τα αποτελέσματά όσον αφορά τον αριθμό των φυτικών ειδών σε βιολογικούς και συμβατικούς μικτούς οπωρώνες ήταν χαμηλότερα από ότι διαπιστώθηκε σε παρόμοια μελέτη σχετικά με καλλιεργούμενες εκτάσεις ετήσιων φυτών σε γεωργικές περιοχές της Σικελίας (Restuccia et al., 2019). Η αυξημένη παρουσία διαφόρων φυτικών ειδών υποστηρίζει τη γονιδιακή δεξαμενή και την επικονίαση, καθώς συνήθως προσελκύουν επικονιαστές. Υπάρχει μια διαδεδομένη άποψη μεταξύ των αγροτών στην Κύπρο κατά την οποία η χρήση οργανικών λιπασμάτων εντείνει τα ζητήματα διαχείρισης των ζιζανίων και ως εκ τούτου, οι αγρότες που ασκούν συμβατική γεωργία δεν προτίθενται να τα εφαρμόζουν. Επιπρόσθετα, τα οργανικά υλικά θρέψης είναι δυσκολότερα κατά το χειρισμό και την εφαρμογή τους σε σχέση με τα συνθετικά λιπάσματα.

Η παρουσία των ενδό-μυκορριζικών μυκήτων (AMF) ήταν σημαντικά υψηλότερη στις βιολογικές σε σχέση με τις συμβατικές μικτές εκμεταλλεύσεις (Σχήμα 3.3δ). Η παρουσία μυκορριζών στους μικτούς οπωρώνες ήταν κατώτερη από αυτή που παρατηρήθηκε σε

φυσική βλάστηση (Mahmoudi et al., 2020). Οι τιμές στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται επίσης μειωμένες από εκείνες που προέκυψαν σε μια μελέτη με βιολογικούς οπωρώνες με αμυγδαλιές στην Καλιφόρνια (Vasilikiotis et al., 2020), αλλά συνάδουν με τις τιμές που αναφέρθηκαν σε μια μελέτη σχετικά με ελαιοκαλλιέργεια στην Ιταλία (Palla et al., 2020). Οι μυκόρριζες συμβάλλουν καθοριστικά στη συσσωμάτωση των εδαφών (Morris et al., 2019), στην ικανότητα ανοχής στις αβιοτικές καταπονήσεις (Begum et al., 2019) και στον κύκλο των θρεπτικών στοιχείων (Rillig et al., 2019). Δεδομένης της υψηλότερης παρουσίας AMF στις βιολογικές εκμεταλλεύσεις, οι βιολογικοί οπωρώνες δύνανται να υποστηρίξουν τον σχηματισμό του εδάφους, την εναλλαγή των θρεπτικών στοιχείων και τον έλεγχο της διάβρωσης περισσότερο σε σύγκριση με τους οπωρώνες συμβατικής καλλιέργειας.

Ο ρυθμός εδαφικής αναπνοής (βασική αναπνοή) που καταγράφηκε στις βιολογικές εκμεταλλεύσεις ήταν επίσης σημαντικά υψηλότερος έναντι των συμβατικών (Σχήμα 3.3ε). Αυτό στην πράξη συνεπάγεται αυξημένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, αλλά ταυτόχρονα η αυξημένη εδαφική (μικροβιακή) δραστηριότητα είναι δυνατόν να οδηγήσει σε αυξημένη διαθεσιμότητα θρεπτικών συστατικών για τα φυτά, λόγω της αποσύνθεσης των οργανικών υλικών. Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης συμφωνούν με τα ευρήματα των Yaghoubi Khanghahi et al. (2020) σε αρόσιμα ημιξηρικά μεσογειακά γεωργικά εδάφη, αλλά είναι χαμηλότερα από αυτά που παρατηρήθηκαν σε καλλιέργειες τομάτας σε παράκτια περιοχή της Τουρκίας (Kayıkcıoğlu et al., 2020). Ωστόσο, απαιτείται περαιτέρω έρευνα για τη μέτρηση και εκτίμηση του ισοζυγίου του άνθρακα σε επίπεδο γεωργικής εκμετάλλευσης, λαμβάνοντας υπόψη, πέρα από την εδαφική αναπνοή, συνιστώσες του ισοζυγίου του άνθρακα όπως: η δέσμευση του άνθρακα λόγω της προσθήκης κοπριάς, η πρόσληψη CO₂ από τα φυτά και η περιεκτικότητα σε μικροβιακό άνθρακα (Ledo et al., 2018; Ledo et al., 2020; Martin-Gorriz et al., 2020).

Όσον αφορά τα χαρακτηριστικά των εκμεταλλεύσεων, το μέγεθος των οπωρώνων ήταν παραπλήσιο στα δύο συστήματα, αλλά η ηλικία των δέντρων στις συμβατικές εκμεταλλεύσεις ήταν μεγαλύτερη σε σχέση με την ηλικία των δέντρων στις βιολογικές εκμεταλλεύσεις. Ωστόσο, αποτελεί συνήθη πρακτική για τους αγρότες στην Κύπρο και άλλων χωρών η εφαρμογή ίδιων εισροών (π.χ. λιπασμάτων, αγροχημικών), κατά την πλήρη παραγωγική φάση των δέντρων ανεξαρτήτως της ηλικίας τους, γεγονός το οποίο έλαβε χώρα και στην παρούσα εργασία για τους βιολογικούς και τους συμβατικούς οπωρώνες.

Δεδομένου ότι οι παράμετροι AMF, MWD και οργανική ουσία είναι καθοριστικοί προσεγγιστικοί δείκτες για τη βιολογία, τη φυσική και τη χημεία του εδάφους, σημειώθηκε κοινή ομαδοποίηση και ανάλογα αποτελέσματα (Σχήμα 3.4). Για τις παραμέτρους αυτές καταγράφηκαν υψηλότερες τιμές στις βιολογικές από ότι στις συμβατικές εκμεταλλεύσεις. Αυτό τυπικά συνεπάγεται υψηλότερο δυναμικό στην παροχή ΟΥ σχετικών με το έδαφος σε βιολογικές εκμεταλλεύσεις. Οι ρυθμιστικές υπηρεσίες έχουν θετικές επιδράσεις λόγω της αειφόρου διαχείρισης, αλλά η γεωργία χαμηλών εισροών οδηγεί σε χαμηλότερες αποδόσεις (παροχή τροφίμων) (Lee et al., 2019). Η διαθεσιμότητα του νερού είναι ιδιαίτερος σημαντική για την ενίσχυση τόσο των υπηρεσιών παροχής όσο και των υπηρεσιών ρύθμισης (Lee et al., 2019). Ως εκ τούτου, ακόμη και αν η λειψυδρία συνιστά ένα ζήτημα για τα ξηρικά περιβάλλοντα, στην Κύπρο και σε άλλες μεσογειακές περιοχές η μείωση της άρδευσης δεν αποτελεί επιλογή όσον αφορά τη βελτιστοποίηση των ΟΥ.

Η διαφοροποίηση και ποικιλότητα των καλλιεργειών θεωρείται μια επιλογή για τον περιορισμό των αρνητικών επιπτώσεων της γεωργίας και την ενίσχυση των γεωργικών ΟΥ (Alcon et al., 2020). Οι μικτοί οπωρώνες συμβάλλουν στη διαφοροποίηση των καλλιεργειών. Τα αποτελέσματά ενισχύουν τα ευρήματα των Demestihis et al. (2017) σχετικά με το γεγονός ότι οι οπωρώνες έχουν υψηλό δυναμικό στην παροχή ΟΥ και ότι οι ΓΠ και τα καλλιεργητικά συστήματα επηρεάζουν τις ΟΥ. Παρομοίως όπως και στη έρευνα των De Leijster et al. (2019) σε αμυγδαλιές, όπου εφαρμόστηκαν γεωργικές πρακτικές διαχείρισης για την ταχεία βελτίωση των ΟΥ (εντός ενός έτους), η μετάβαση σε στάγδην άρδευση σε μικτούς οπωρώνες στην Κύπρο θα μπορούσε να οδηγήσει σε ορθότερη διαχείριση των υδάτων και να υποστηρίξει τη ρύθμιση των υδάτων και τον έλεγχο της διάβρωσης. Παρόλο που οι Demestihis et al. (2017) επικεντρώθηκαν σε έξι ΟΥ (παραγωγή καρπών, ρύθμιση κλίματος, διαθεσιμότητα εδαφικού αζώτου, ρύθμιση νερού, έλεγχος εχθρών και ασθενειών και επικονίαση), η παρούσα έρευνα καταδεικνύει ότι υπάρχουν και πολλές άλλες ΟΥ συνδεδεμένες με τους μικτούς οπωρώνες (π.χ. έλεγχος της διάβρωσης, δέσμευση άνθρακα), οι οποίες χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης.

Τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας αναδεικνύουν τη σημασία των γεωργικών πρακτικών διαχείρισης ως προς τη βελτιστοποίηση των ΟΥ σε αυτές τις εκμεταλλεύσεις. Ωστόσο, θα πρέπει να δοθεί προσοχή στις αντισταθμίσεις και τις συνέργειες (βλέπε συζήτηση στις παραπάνω παραγράφους), προτού γίνει οποιαδήποτε σύσταση σχετικά με τις ΓΠ. Επιπλέον, θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι ΓΠ ενδέχεται να επηρεάσουν έμμεσα ή άμεσα τις ΟΥ. Για παράδειγμα, η κατεργασία του εδάφους μπορεί να επηρεάσει τις ιδιότητες του εδάφους (π.χ.

να αυξήσει το πορώδες οδηγώντας σε υψηλότερη περιεκτικότητα σε οξυγόνο, επομένως σε υψηλότερη αναπνοή και έκλυση CO₂), οι οποίες με τη σειρά τους επηρεάζουν τις ΟΥ (οι υψηλότερες εκπομπές CO₂ συμβάλλουν στην κλιματική αλλαγή). Παρά την έμμεση επίδραση των γεωργικών πρακτικών διαχείρισης στις ΟΥ, όπως παρουσιάστηκε προηγουμένως, υφίσταται επίσης και άμεση επίδραση των ΓΠ στις ΟΥ (π.χ. καλλιέργεια του εδάφους για τη διαχείριση των ζιζανίων επηρεάζει τη βιοποικιλότητα των φυτών/την επικονίαση/τη γονιδιακή δεξαμενή). Αυτές είναι πτυχές που πρέπει να ληφθούν υπόψη για να προσδιορισθούν ποιες ΓΠ και ποια χαρακτηριστικά των εκμεταλλεύσεων θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε βελτιστοποίηση ή διατήρηση ΟΥ σε μικτούς οπωρώνες. Αν και η εργασία επικεντρώθηκε στην αξιολόγηση υπηρεσιών ρύθμισης και παροχής, οι μικτοί οπωρώνες αποτελούν σημαντικά πολιτιστικά στοιχεία των αγροτικών τοπίων στην Κύπρο, καθώς και άλλων μεσογειακών περιοχών. Επομένως, στην έρευνά (Πίνακας 3.1) έχει εντοπιστεί ότι οι γεωργικές πρακτικές διαχείρισης (π.χ. άρδευση, χρήση φυτοφαρμάκων) και οι εδαφολογικές παράμετροι (π.χ. σταθερότητα συσσωματωμάτων) δεν φαίνεται να επηρεάζουν τις πολιτιστικές υπηρεσίες που παρέχουν οι οπωρώνες.

3.5 Συμπεράσματα

Οι μικτοί οπωρώνες στις νησιωτικές και παράκτιες περιοχές της Μεσογείου απειλούνται μεταξύ άλλων από την αστικοποίηση και την εγκατάλειψη. Ως εκ τούτου, η εργασία αυτή παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη συμβολή των εν λόγω συστημάτων στην παροχή οικοσυστημικών υπηρεσιών (ΟΥ). Στην παρούσα έρευνα επιλέχθηκαν 52 μικτές εκμεταλλεύσεις (βιολογικές και συμβατικές) για ανάλυση και για τον προσδιορισμό των γεωργικών πρακτικών διαχείρισης και των παραμέτρων ποιότητας του εδάφους. Εφαρμόστηκε ένα πλαίσιο σύνδεσης των παραμέτρων που μελετήθηκαν με τις ΟΥ, προκειμένου να αξιολογηθεί η δυναμική των ΟΥ σε μικτές γεωργικές εκμεταλλεύσεις δένδρων στην Κύπρο, ως ένα πρότυπο για τις Μεσογειακές περιοχές και ειδικότερα για τα νησιά. Τα αποτελέσματα της μελέτης αναδεικνύουν τις αυξημένες δυνατότητες των βιολογικών οπωρώνων για τη στήριξη των ΟΥ στη Μεσόγειο. Ωστόσο, τα ευρήματα αυτά πρέπει να υποστηριχθούν περαιτέρω στο εγγύς μέλλον βάσει καταγραφής δεδομένων από τέτοιου είδους εκμεταλλεύσεις, που να σχετίζονται με τις παρεχόμενες ΟΥ. Παρόλα αυτά, τα αποτελέσματα αυτής της εργασίας είναι σημαντικά όσον αφορά στη διαχείριση των μικτών οπωρώνων και στην υιοθέτηση πρακτικών που έχουν τη δυνατότητα να ενισχύουν τις ΟΥ.

Βιβλιογραφία

- Adhikari, K., & Hartemink, A. E. (2016). Linking soils to ecosystem services — A global review. *Geoderma*, 262, 101–111. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.08.009>
- Alcon, F., Marín-Miñano, C., Zabala, J. A., de-Miguel, M.-D., & Martínez-Paz, J. M. (2020). Valuing diversification benefits through intercropping in Mediterranean agroecosystems: A choice experiment approach. *Ecological Economics*, 171, 106593. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106593>
- Altieri, M., & Nicholls, C. (2004). *Biodiversity and Pest Management in Agroecosystems* (2nd ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781482277937>
- Barbera, G., & Cullotta, S. (2016). The Traditional Mediterranean Polycultural Landscape as Cultural Heritage: Its Origin and Historical Importance, Its AgroSilvoPastoral Complexity and the Necessity for Its Identification and Inventory. In M. Agnoletti & F. Emanuelli (Eds.), *Biocultural Diversity in Europe* (pp. 21–48). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/9783319263151_2
- Bàrberi, P., & Cascio, L. (2001). Longterm tillage and crop rotation effects on weed seedbank size and composition. *Weed Research*, 41(4), 325–340. <https://doi.org/10.1046/j.13653180.2001.00241.x>
- Begum, N., Qin, C., Ahanger, M. A., Raza, S., Khan, M. I., Ashraf, M., Ahmed, N., & Zhang, L. (2019). Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Plant Growth Regulation: Implications in Abiotic Stress Tolerance. *Frontiers in Plant Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01068>
- Bell, M. J., Hinton, N., Cloy, J. M., Topp, C. F. E., Rees, R. M., Cardenas, L., Scott, T., Webster, C., Ashton, R. W., Whitmore, A. P., Williams, J. R., Balshaw, H., Paine, F., Goulding, K. W. T., & Chadwick, D. R. (2015). Nitrous oxide emissions from fertilised UK arable soils: Fluxes, emission factors and mitigation. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 212, 134–147. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.07.003>
- Brunori, E., Maesano, M., Moresi, F. V., Matteucci, G., Biasi, R., & Scarascia Mugnozza, Giuseppe. (2019). The hidden land conservation benefits of olivebased (*Olea europaea* L.) landscapes: An agroforestry investigation in the southern Mediterranean (Calabria region, Italy). *Land Degrad Dev*, 31(7), 801–815. <https://doi.org/10.1002/ldr.3484>
- Camera, C., Zomeni, Z., Noller, J. S., Zissimos, A. M., Christoforou, I. C., & Bruggeman, A. (2017). A high resolution map of soil types and physical properties for Cyprus: A digital soil mapping optimization. *Geoderma*, 285, 35–49.

<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.09.019>

- Carvalho, F. P. (2017). Pesticides, environment, and food safety. *Food and Energy Security*, 6(2), 48–60. <https://doi.org/10.1002/fes3.108>
- Chagnon, M., Kreuzweiser, D., Mitchell, E. A. D., Morrissey, C. A., Noome, D. A., & Van der Sluijs, J. P. (2015). Risks of large-scale use of systemic insecticides to ecosystem functioning and services. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(1), 119–134. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3277-x>
- Chalhoub, M., Gabrielle, B., Tournebize, J., Chaumont, C., Maugis, P., Girardin, C., Montagne, D., Baveye, Philippe C, & Garnier, P. (2020). Direct measurement of selected soil services in a drained agricultural field: Methodology development and case study in Saclay (France). *Ecosystem Services*, 42, 101088. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101088>
- Christodoulou, E., Agapiou, A., Anastopoulos, I., Omirou, M., & Ioannides, I. M. (2019). The effects of different soil nutrient management schemes in nitrogen cycling. *Journal of Environmental Management*, 243, 168–176. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.04.115>
- Dale, V. H., & Polasky, S. (2007). Measures of the effects of agricultural practices on ecosystem services. *Special Section Ecosystem Services and Agriculture*, 64(2), 286–296. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.05.009>
- Dane, J. H., Topp, C. G., & Campbell, G. S. (2002). Methods of Soil Analysis. Part 4. In *SSSA Book Series*. Soil Science Society of America. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.4>
- De Leijster, V., Santos, M. J., Wassen, M. J., Ramos-Font, M. E., Robles, A. B., Díaz, M., Staal, M., & Verweij, P. A. (2019). Agroecological management improves ecosystem services in almond orchards within one year. *Ecosystem Services*, 38, 100948. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.100948>
- De Vos, B., Lettens, S., Muys, B., & Deckers, J. A. (2007). Walkley-Black analysis of forest soil organic carbon: recovery, limitations and uncertainty. *Soil Use and Management*, 23(3), 221–229. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2007.00084.x>
- Demestihis, C., Plénet, D., Génard, M., Garcia de Cortazar-Atauri, I., Launay, M., Ripoche, D., Beaudoin, N., Simon, S., Charreyron, M., Raynal, C., & Lescourret, F. (2018). Analyzing ecosystem services in apple orchards using the STICS model. *European Journal of Agronomy*, 94, 108–119. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.01.009>
- Demestihis, C., Plénet, D., Génard, M., Raynal, C., & Lescourret, F. (2017). Ecosystem services in orchards. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(2), 12.

<https://doi.org/10.1007/s1359301704221>

- Demestihias, C., Plénet, D., Génard, M., Raynal, C., & Lescourret, F. (2019). A simulation study of synergies and tradeoffs between multiple ecosystem services in apple orchards. *Journal of Environmental Management*, 236, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.01.073>
- Djuma, H., Bruggeman, A., Zissimos, A., Christoforou, I., Eliades, M., & Zoumides, C. (2020). The effect of agricultural abandonment and mountain terrace degradation on soil organic carbon in a Mediterranean landscape. *CATENA*, 195, 104741. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104741>
- Dominati, E., Patterson, M., & Mackay, A. (2010). A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. *Ecological Economics*, 69(9), 1858–1868. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.05.002>
- Duru, M., Therond, O., Martin, G., Martin-Clouaire, R., Magne, M.-A., Justes, E., Journet, E.-P., Aubertot, J.-N., Savary, S., Bergez, J.-E., & Sarthou, J. P. (2015). How to implement biodiversity-based agriculture to enhance ecosystem services: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(4), 1259–1281. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0306-1>
- Eurostat. (2020). *Organic crop production by crops (from 2012 onwards) - Eurostat*. https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/org_croppro
- Garcia, L., Celette, F., Gary, C., Ripoche, A., Valdés-Gómez, H., & Metay, A. (2018). Management of service crops for the provision of ecosystem services in vineyards: A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 251, 158–170. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.09.030>
- Gibbons, D., Morrissey, C., & Mineau, P. (2015). A review of the direct and indirect effects of neonicotinoids and fipronil on vertebrate wildlife. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(1), 103–118. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3180-5>
- González-Rosado, M., Parras-Alcántara, L., Aguilera-Huertas, J., Benítez, C., & Lozano-García, B. (2020). Effects of land management change on soil aggregates and organic carbon in Mediterranean olive groves. *CATENA*, 195, 104840. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104840>
- Habel, J. C., Ulrich, W., Biburger, N., Seibold, S., & Schmitt, T. (2019). Agricultural intensification drives butterfly decline. *Insect Conservation and Diversity*. <https://doi.org/10.1111/icad.12343>
- Haines-Young, R., & Potschin, M. B. (2018). *Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised*

Structure. <http://www.cices.eu>

- Holifield Collins, C. D., Stone, J. J., & Cratic, L. (2015). Runoff and sediment yield relationships with soil aggregate stability for a state-and-transition model in southeastern Arizona. *Journal of Arid Environments*, *117*, 96–103. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2015.02.016>
- Holt, A. R., Alix, A., Thompson, A., & Maltby, L. (2016). Food production, ecosystem services and biodiversity: We can't have it all everywhere. *Science of the Total Environment*, *573*, 1422–1429. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.139>
- Juárez-Escario, A., Conesa, J. A., & Solé-Senan, X. O. (2017). Management as a driver of functional patterns and alien species prominence in weed communities of irrigated orchards in Mediterranean areas. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *249*, 247–255. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.07.042>
- Kang, S., Doh, S., Lee, Dongsun., Lee, Dowon., Jin, V. L., & Kimball, J. S. (2003). Topographic and climatic controls on soil respiration in six temperate mixed-hardwood forest slopes, Korea. *Global Change Biology*, *9*(10), 1427–1437. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2003.00668.x>
- Kayikcioglu, H. H., Duman, İ., Ascioğul, T. K., Bozokalfa, M. K., & Elmacı, Ö. L. (2020). Effects of tomato-based rotations with diversified pre-planting on soil health in the Mediterranean soils of Western Turkey. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *299*, 106986. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106986>
- Kefalas, G., Kalogirou, S., Poirazidis, K., & Lorilla, R. S. (2019). Landscape transition in Mediterranean islands: The case of Ionian islands, Greece 1985–2015. *Landscape and Urban Planning*, *191*, 103641. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.103641>
- Khalsa, S. D. S., Smart, D. R., Muhammad, S., Armstrong, C. M., Sanden, B. L., Houlton, B. Z., & Brown, P. H. (2020). Intensive fertilizer use increases orchard N cycling and lowers net global warming potential. *Science of the Total Environment*, *722*, 137889. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137889>
- King, B. A., Bjorneberg, D. L., Trout, T. J., Mateos, L., Araujo, D. F., & Costa, R. N. (2016). Estimation of Furrow Irrigation Sediment Loss Using an Artificial Neural Network. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, *142*(1), 04015031. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.19434774.0000932](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.19434774.0000932)
- Kragt, M. E., & Robertson, M. J. (2014). Quantifying ecosystem services trade-offs from agricultural practices. *Ecological Economics*, *102*, 147–157. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.04.001>

- Lasanta, T., Errea, M. P., & Nadal-Romero, E. (2017). Traditional Agrarian Landscape in the Mediterranean Mountains. A Regional and Local Factor Analysis in the Central Spanish Pyrenees. *Land Degradation & Development*, 28(5), 1626–1640. <https://doi.org/10.1002/ldr.2695>
- Lassaletta, L., Billen, G., Garnier, J., Bouwman, L., Velazquez, E., Mueller, N. D., & Gerber, J. S. (2016). Nitrogen use in the global food system: past trends and future trajectories of agronomic performance, pollution, trade, and dietary demand. *Environmental Research Letters*, 11(9), 095007. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/9/095007>
- Lassaletta, L., Billen, G., Grizzetti, B., Garnier, J., Leach, A. M., & Galloway, J. N. (2014). Food and feed trade as a driver in the global nitrogen cycle: 50-year trends. *Biogeochemistry*, 118(1-3), 225–241. <https://doi.org/10.1007/s10533-013-9923-4>
- Ledo, A., Heathcote, R., Hastings, A., Smith, P., & Hillier, J. (2018). Perennial-GHG: A new generic allometric model to estimate biomass accumulation and greenhouse gas emissions in perennial food and bioenergy crops. *Environmental Modelling & Software*, 102, 292–305. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.12.005>
- Ledo, A., Smith, P., Zerihun, A., Whitaker, J., Vicente-Vicente, J. L., Qin, Z., McNamara, N. P., Zinn, Y. L., Llorente, M., Liebig, M., Kuhnert, M., Dondini, M., Don, A., Diaz-Pines, E., Datta, A., Bakka, H., Aguilera, E., & Hillier, J. (2020). Changes in soil organic carbon under perennial crops. *Global Change Biology*, 26(7), 4158–4168. <https://doi.org/10.1111/gcb.15120>
- Lee, H., Lautenbach, S., Paula, A., Bondeau, A., Cramer, W., & Geijzenborffer, I. R. (2019). The impact of conservation farming practices on Mediterranean agroecosystem services provisioning—a meta-analysis. *Regional Environmental Change*, 19(8), 2187–2202. <https://doi.org/10.1007/s101130181447y>
- Li, Y., Li, Z., Cui, S., Jagadamma, S., & Zhang, Q. (2019). Residue retention and minimum tillage improve physical environment of the soil in croplands: A global meta-analysis. *Soil and Tillage Research*, 194, 104292. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.06.009>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.057>
- Litskas, V., Mandoulaki, A., Vogiatzakis, I. N., Tzortzakis, N., & Stavrinides, M. (2020). Sustainable Viticulture: First Determination of the Environmental Footprint of Grapes. *Sustainability*, 12(21), 8812. <https://doi.org/10.3390/su12218812>

- Mahmoudi, N., Dias, T., Mahdhi, M., Cruz, C., Mars, M., & Caeiro, M. F. (2020). Does Arbuscular Mycorrhiza Determine Soil Microbial Functionality in Nutrient-Limited Mediterranean Arid Ecosystems? *Diversity*, *12*(6), 234. <https://doi.org/10.3390/d12060234>
- Manolaki, P., Zotos, S., & Vogiatzakis, I. N. (2020). An integrated ecological and cultural framework for landscape sensitivity assessment in Cyprus. *Land Use Policy*, *92*, 104336. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104336>
- Markhi, A., Laftouhi, N., Grusson, Y., & Soulaïmani, A. (2019). Assessment of potential soil erosion and sediment yield in the semi-arid N'fis basin (High Atlas, Morocco) using the SWAT model. *Acta Geophysica*, *67*(1), 263–272. <https://doi.org/10.1007/s11600-019-00251-z>
- Martin-Gorritz, B., González-Real, M. M., Egea, G., & Baille, A. (2020). Ecosystem respiration of old and young irrigated citrus orchards in a semiarid climate. *Agricultural and Forest Meteorology*, *280*, 107787. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107787>
- Martínez-Murillo, J. F., Remond, R., & Ruiz-Sinoga, J. D. (2020). Validation of RUSLE K factor using aggregate stability in contrasted mediterranean eco-geomorphological landscapes (southern Spain). *Environmental Research*, *183*, 109160. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109160>
- Merks, J. (2018). *The Water efficiency paradox: The significance of spatial scale and knowledge exchange in irrigation water management*.
- Mia, M. J., Massetani, F., Murri, G., & Neri, D. (2020). Sustainable alternatives to chemicals for weed control in the orchard – a Review. *Horticultural Science*, *47*, 1–12. <https://doi.org/10.17221/29/2019-HORTSCI>
- Miranda, D. O., Alegre, E. V. A., & Faus, A. M. M. (2013). *Agriculture in mediterranean europe: Between old and new paradigms*. Emerald Group Publishing.
- Montanaro, G., Xiloyannis, C., Nuzzo, V., & Dichio, B. (2017). Orchard management, soil organic carbon and ecosystem services in Mediterranean fruit tree crops. *Scientia Horticulturae*, *217*, 92–101. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.01.012>
- Morris, E. K., Morris, D. J. P., Vogt, S., Gleber, S.-C., Bigalke, M., Wilcke, W., & Rillig, M. C. (2019). Visualizing the dynamics of soil aggregation as affected by arbuscular mycorrhizal fungi. *The ISME Journal*, *13*(7), 1639–1646. <https://doi.org/10.1038/s41396-019-0369-0>
- Morugán-Coronado, A., Linares, C., Gómez-López, M. D., Faz, Á., & Zornoza, R. (2020). The impact of intercropping, tillage and fertilizer type on soil and crop yield in fruit

- orchards under Mediterranean conditions: A meta-analysis of field studies. *Agricultural Systems*, 178, 102736. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102736>
- Murray, I., Jover-Avellà, G., Fullana, O., & Tello, E. (2019). Biocultural heritages in mallorca: Explaining the resilience of peasant landscapes within a mediterranean tourist hotspot, 1870–2016. *Sustainability*, 11. <https://doi.org/10.3390/su11071926>
- Nimmo, J. R., & Perkins, K. S. (2018). 2.6 Aggregate stability and size distribution, in: *Methods of soil analysis* (pp. 317–328). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.4.c14>
- Omirou, M., Anastopoulos, I., Fasoula, D. A., & Ioannides, I. M. (2020). The effect of chemical and organic N inputs on N₂O emission from rain-fed crops in Eastern Mediterranean. *Journal of Environmental Management*, 270, 110755. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110755>
- Palla, M., Turrini, A., Cristani, C., Caruso, G., Avio, L., Giovannetti, M., & Agnolucci, M. (2020). Native mycorrhizal communities of olive tree roots as affected by protective green cover and soil tillage. *Applied Soil Ecology*, 149, 103520. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103520>
- Parsons, D. J., Rey, D., Tanguy, M., & Holman, I. P. (2019). Regional variations in the link between drought indices and reported agricultural impacts of drought. *Agricultural Systems*, 173, 119–129. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.02.015>
- Phillips, J. M., & Hayman, D. S. (1970). Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*, 55(1), 158-IN18. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(70\)80110-3](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(70)80110-3)
- Potts, S. G., Imperatriz-Fonseca, V., Ngo, H. T., Aizen, M. A., Biesmeijer, J. C., Breeze, T. D., Dicks, L. V., Garibaldi, L. A., Hill, R., Settele, J., & Vanbergen, A. J. (2016). Safeguarding pollinators and their values to human well-being. *Nature*, 540, 220–229. <https://doi.org/10.1038/nature20588>
- Prosdocimi, M., Cerdà, A., & Tarolli, P. (2016). Soil water erosion on Mediterranean vineyards: A review. *CATENA*, 141, 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.02.010>
- Raveh, A., & Avnimelech, Y. (1979). Total nitrogen analysis in water, soil and plant material with persulphate oxidation. *Water Research*, 13(9), 911–912. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(79\)90227-6](https://doi.org/10.1016/0043-1354(79)90227-6)
- Restuccia, A., Lombardo, S., & Mauromicale, G. (2019). Impact of a cultivation system upon the weed seedbank size and composition in a mediterranean environment.

- Agriculture*, 9, 192. <https://doi.org/10.3390/agriculture9090192>
- Rillig, M. C., Aguilar-Trigueros, C. A., Camenzind, T., Cavagnaro, T. R., Degrune, F., Hohmann, P., Lammel, D. R., Mansour, I., Roy, J., Heijden, M. G. A., & Yang, G. (2019). Why farmers should manage the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *New Phytologist*. <https://doi.org/10.1111/nph.15602>
- Rööös, E., Mie, A., Wivstad, M., Salomon, E., Johansson, B., Gunnarsson, S., Wallenbeck, A., Hoffmann, R., Nilsson, U., Sundberg, C., & Watson, C. A. (2018). Risks and opportunities of increasing yields in organic farming. *A Review. Agron. Sustain. Dev.*, 38, 14. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0489-3>
- Rotherham, I. D. (2015). Bio-cultural heritage and biodiversity: emerging paradigms in conservation and planning. *Biodivers Conserv*, 24(13), 3405–3429. <https://doi.org/10.1007/s10531-015-1006-5>
- Rowell, M. J. (1995). Colorimetric method for CO₂ measurement in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 27(3), 373–375. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(94\)00218-P](https://doi.org/10.1016/0038-0717(94)00218-P)
- Saatkamp, A., Henry, F., & Dutoit, T. (2018). Vegetation and soil seed bank in a 23-year grazing exclusion chronosequence in a Mediterranean dry grassland. *Plant Biosystems - an International Journal Dealing with All Aspects of Plant Biology*, 152(5), 1020–1030. <https://doi.org/10.1080/11263504.2017.1407375>
- Schüpbach, B., Junge, X., Lindemann-Matthies, P., & Walter, T. (2016). Seasonality, diversity and aesthetic valuation of landscape plots: An integrative approach to assess landscape quality on different scales. *Land Use Policy*, 53, 27–35. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.01.032>
- Sharma, S. (1996). *Applied multivariate techniques*. John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.2307/1270777>
- Simon, S., Bouvier, J.-C., Debras, J.-F., & Sauphanor, B. (2010). Biodiversity and pest management in orchard systems. A review. *Agron. Sustain. Dev.*, 30(1), 139–152. <https://doi.org/10.1051/agro/2009013>
- Smith, R. J., Uddin, M. J., & Gillies, M. H. (2018). Estimating irrigation duration for high performance furrow irrigation on cracking clay soils. *Agricultural Water Management*, 206, 78–85. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.03.014>
- Statistical Service. (2020). *Agriculture - Key Figures*. https://www.mof.gov.cy/mof/cystat/statistics.nsf/agriculture_51main_en/agriculture_51main_en?OpenForm&sub=1&sel=2
- Stewart, W. M., Dibb, D. W., Johnston, A. E., & Smyth, T. J. (2005). The contribution of commercial fertilizer nutrients to food production. *Agron. J.*, 97(1), 1–6.

<https://doi.org/10.2134/agronj2005.0001>

- Thapa, R., Chatterjee, A., Awale, R., McGranahan, D. A., & Daigh, A. (2016). Effect of enhanced efficiency fertilizers on nitrous oxide emissions and crop yields: A meta-analysis. *Soil Science Society of America Journal*, *80*(5), 1121–1134. <https://doi.org/10.2136/sssaj2016.06.0179>
- Vasilikiotis, C., Li, M., Schmidt, J. E., Azimi, A., Garcia, J., Volder, A., Lampinen, B., & Gaudin, A. C. (2020). Orchard management practices affect arbuscular mycorrhizal fungal root colonisation of almond. *Biological Agriculture & Horticulture*, *36*(4), 230–248. <https://doi.org/10.1080/01448765.2020.1802777>
- Vicente-Vicente, J. L., Gómez-Muñoz, B., Hinojosa-Centeno, M. B., Smith, P., & Garcia-Ruiz, R. (2017). Carbon saturation and assessment of soil organic carbon fractions in Mediterranean rainfed olive orchards under plant cover management. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *245*, 135–146. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.05.020>
- Ward, J. H. (1963). Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Null*, *58*, 236–244. <https://doi.org/10.1080/01621459.1963.10500845>
- Weißhuhn, P., Reckling, M., Stachow, U., & Wiggering, H. (2017). Supporting agricultural ecosystem services through the integration of perennial polycultures into crop rotations. *Sustainability*, *9*, 2267. <https://doi.org/10.3390/su9122267>
- Yaghoubi Khangahi, M., Cucci, G., Lacolla, G., Lanzellotti, L., & Crecchio, C. (2020). Soil fertility and bacterial community composition in a semiarid Mediterranean agricultural soil under long-term tillage management. *Soil Use Manage*, *36*(4), 604–615. <https://doi.org/10.1111/sum.12645>
- Zissimos, A. M., Christoforou, I. C., Cohen, D. R., Mooney, S. D., & Rutherford, N. F. (2019). Spatial distribution and controls on organic and inorganic carbon in the soils of Cyprus. *Journal of Geochemical Exploration*, *196*, 95–104. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2018.10.005>
- Zomeni, M., Martinou, A., Stavrinides, M., & Vogiatzakis, I. (2018). High nature value farmlands: challenges in identification and interpretation using Cyprus as a case study. *Nature Conservation*, *31*, 53–70. <https://doi.org/10.3897/natureconservation.31.28397>

Κεφάλαιο 4

Τοποθετώντας τις

Οικοσυστημικές Υπηρεσίες στο

Πλέγμα Νερό-Τροφή-Ενέργεια-

Κλίμα: Μια Μελέτη Περίπτωσης

σε Μικτούς Μεσογειακούς

Οπωρώνες²

Περίληψη

Χρησιμοποιήθηκε η Κύπρος ως μοντέλο για τη σύνδεση των δεικτών του πλέγματος Νερού-Ενέργειας-Τροφής-Κλίματος (NETK) (π.χ. αποτυπώματα άνθρακα και νερού) με τις οικοσυστημικές υπηρεσίες (ΟΥ) οι οποίες παρέχονται από 39 μικτούς οπωρώνες (πυρηνόκαρπων και ακρόδρυων) σε βιολογικούς (BIO) και συμβατικούς (ΣΥΜ) οπωρώνες. Η παροχή τροφής ήταν μικρότερη στους BIO σε σχέση με τους ΣΥΜ οπωρώνες. Οι πρακτικές διαχείρισης των μικτών βιολογικών οπωρώνων υποστηρίζουν καλύτερα τον μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής και την ρύθμιση υδατικών ροών. Οι

² Μετάφραση του δημοσιευμένου άρθρου Placing Ecosystem Services within the Water–Food–Energy–Climate Nexus: A Case Study in Mediterranean Mixed Orchards. *Agronomy*, 12(9), p.2224. doi:10.3390/agronomy12092224.

παράμετροι ποιότητας του εδάφους (π.χ. οργανική ουσία και εδαφική αναπνοή), οι ενδομυκορρίζικοι μύκητες και τα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας (π.χ. ηλικία δέντρων) παρουσίασαν σημαντική συσχέτιση με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ανά Mcal τροφής. Χρησιμοποιώντας ανάλυση συστάδων, οι οπωρώνες ομαδοποιήθηκαν με βάση τους δείκτες του πλέγματος NETK. Τέλος, αναπτύχθηκε μια απλή προσέγγιση η οποία επιτρέπει την ταχεία σύνδεση μεταξύ NETK και ΟΥ και την υποστήριξη λήψης αποφάσεων, σχετικών με τη χρήση γης. Αυτή η προσέγγιση υπογραμμίζει ότι στην περίπτωση των μικτών Μεσογειακών οπωρώνων, ο βασικός στόχος προς τη βιωσιμότητα είναι η ισορροπία μεταξύ των ΟΥ και της διαχείρισης των εισροών και της παραγωγής τροφίμων από τα αγροοικοσυστήματα και όχι μόνο η επίτευξη υψηλών αποδόσεων.

Λέξεις-κλειδιά: CICES, κλιματική αλλαγή, πλέγμα, βιολογική γεωργία, μόνιμες καλλιέργειες, δείκτες βιωσιμότητας, βιώσιμη γεωργία

4.1 Εισαγωγή

Τα τελευταία 20 χρόνια είναι εμφανής η παράλληλη ανάπτυξη διαφόρων πλαισίων τα οποία ερευνούν τη χρήση πόρων σε συνάρτηση με την ανθρώπινη ευημερία. Ένα από αυτά είναι η αξιολόγηση Οικοσυστημικών Υπηρεσιών (ΟΥ), η οποία ξεκίνησε από την «Αξιολόγηση των Οικοσυστημάτων της Χιλιετίας» (Millennium Ecosystems Assessment; MEA) και την αξιολόγηση για «Τα Οικονομικά των Οικοσυστημάτων και της Βιοποικιλότητας» (The Economics of Ecosystems and Biodiversity; TEEB) (Braat & Groot, 2012) το οποίο έφτασε την αιχμή του κατά το 2018 με την «Κοινή Διεθνή Ταξινόμηση των Οικοσυστημικών Υπηρεσιών» (Common International Classification of Ecosystem Services; CICES) (Carpenter et al., 2006; Haines-Young & Potschin, 2018). Οι αξιολογήσεις οι οποίες βασίζονται στις ΟΥ επιχειρούν να συνδέσουν τα αγαθά και τις υπηρεσίες τα οποία προέρχονται από τα οικοσυστήματα με την ανθρώπινη ευημερία, και μέχρι τώρα έχουν χρησιμοποιηθεί σε ένα εύρος γεωγραφικών πλαισίων (Hugé et al., 2020; Lourdes et al., 2021; Vallecillo et al., 2019), κλιμάκων (Castro-Díez et al., 2019; Cui et al., 2019; Zapata-Caldas et al., 2022), και οικοσυστημάτων, συμπεριλαμβανομένων και των αγροοικοσυστημάτων (Balzan et al., 2020; Ioannidou et al., 2022; Lee et al., 2019; Montoya et al., 2019). Η αξιολόγηση οικοσυστημικών υπηρεσιών είναι σημαντική για να γίνει κατανοητή η σύνδεση μεταξύ των οικοσυστημάτων και των ωφελειών τους και ταυτόχρονα υποστηρίζει την λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων (Balzan et al., 2018).

Επιπρόσθετα στην αξιολόγηση ΟΥ, η έννοια του πλέγματος Νερού-Ενέργειας-Τροφής-Κλίματος επεκτείνεται με ταχείς ρυθμούς στην ερευνητική και πολιτική ατζέντα ως ένας νέος τρόπος για να αντιμετωπίσει σύνθετων προκλήσεων σχετικά με τους πόρους και την ανάπτυξη (Albrecht et al., 2018). Αυτή η προσέγγιση υπογραμμίζει την διασύνδεση μεταξύ των τομέων νερού, ενέργειας και παραγωγής τροφίμων (Naidoo et al., 2021), ενώ ταυτόχρονα η επιρροή της κλιματικής αλλαγής ενσωματώνεται στην επιλογή πολιτικών και στρατηγικών βιώσιμης διαχείρισης πόρων (Pardoe et al., 2018; van den Heuvel et al., 2020). Στην προσπάθεια εξασφάλισης τροφής σε έναν διαρκώς αυξανόμενο ανθρώπινο πληθυσμό, η γεωργία έχει εξελιχθεί στον σημαντικότερο τομέα κατανάλωσης υδατικών πόρων σε παγκόσμιο επίπεδο (Pastor et al., 2019). Συνέπεια του παραπάνω αποτελεί η ρύπανση των υδάτων και ο ανταγωνισμός μεταξύ των παραγωγικών κλάδων (Flörke et al., 2018). Κατά το 2019, οι ετήσιες (παγκόσμιες) εκπομπές από τη χρήση ενέργειας για τη γεωργία αντιστοιχούσαν σε περίπου 523 εκατομμύρια τόνους ($\text{Mt CO}_2\text{-eq yr}^{-1}$) ενώ, εάν συμπεριληφθεί και η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας, αυτός ο αριθμός φτάνει τους 1029 $\text{Mt CO}_2\text{-eq yr}^{-1}$, παρουσιάζοντας μια αύξηση 7% από το 1990 (Flammini et al., 2022). Το πλέγμα Νερού-Ενέργειας-Τροφής-Κλίματος (NETK) μπορεί να μελετηθεί στα πλαίσια των αγροοικοσυστημάτων μέσω ποσοτικοποίησης βασικών δεικτών - «κλειδιά» (key indicators), όπως το αποτύπωμα άνθρακα [(Carbon Footprint; CF), ($\text{kg CO}_2\text{-eq ανά ha ή kg}$)], η ένταση χρήσης ενέργειας [(Energy Intensity; EI), (MJ ανά ha ή kg)], το υδατικό αποτύπωμα [(Water Footprint; WF), ($\text{m}^3 \text{ ανά ha ή kg}$)], και η γεωργική απόδοση [(Yield), ($\text{kg ανά ha ή Calories ανά ha}$)] (Litskas et al., 2019).

Η σύνδεση του πλέγματος NETK με τις ΟΥ οι οποίες παρέχονται από τα συστήματα παραγωγής τροφής έπειτα από τη επιλογή κατάλληλων δεικτών μπορεί να βελτιώσει τη βιώσιμη παραγωγή τροφής και να υποστηρίξει τον μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Οι δείκτες μπορούν να συνοψίσουν σημαντικά και αρκετά περίπλοκα πλαίσια όπως το NETK, να ποσοτικοποιήσουν τάσεις, και να εκφράσουν στους ενδιαφερόμενους φορείς τι αντιπροσωπεύουν το NETK και οι ΟΥ (Arthur et al., 2019; Hiremath et al., 2013). Το αποτύπωμα άνθρακα αποτελεί ένα δείκτη άμεσα συνδεδεμένο με την ρύθμιση του κλίματος και τη δυνατότητα παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας από προϊόντα και οργανισμούς (Wu et al., 2013). Η γεωργική απόδοση αποτελεί τον πιο αντιπροσωπευτικό δείκτη για την παροχή τροφής (Ioannidou et al., 2022; Lee et al., 2019). Το υδατικό αποτύπωμα συνδέεται με την παροχή νερού και την βιώσιμη υδατική διαχείριση (Fang et al., 2015; Mancini et al., 2018; Vanham, 2016), ενώ η ένταση χρήσης ενέργειας

μπορεί επίσης να συνδεθεί με τα συστήματα παραγωγής τροφής και την παροχή τροφής (Kehagias et al., 2015; Litskas et al., 2019).

Υπάρχει ένας μικρός αριθμός μελετών οι οποίες επιχειρούν τη σύνδεση της σχέσης πλέγματος NETK και των ΟΥ, με τις περισσότερες από αυτές να μελετούν την εισαγωγή των σχεδίων πληρωμής για τις οικοσυστημικές υπηρεσίες (payment for ecosystem services; PES). Ένα παράδειγμα τέτοιας έρευνας επικεντρώνεται σε προβλήματα ποιότητας των υδάτων με σκοπό την επεξήγηση του ρόλου της σχέσης NETK στην προώθηση ΟΥ στη γεωργία (Bell et al., 2016). Η έρευνα επικεντρώνεται στη μείωση των εντομοκτόνων και τη διάθεση των υδάτων για την παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας στις χώρες της Ασίας και της Αφρικής. Μια παρόμοια προσέγγιση παρουσιάζεται και στην περίπτωση ενός έργου παραγωγής υδατικής ενέργειας στην Κολομβία (Rodríguez-de-Francisco et al., 2019). Σε αυτές τις περιπτώσεις δόθηκαν κίνητρα στους αγρότες ώστε να μειωθεί η κατανάλωση αρδευτικών υδάτων, να αυξηθεί η παραγωγή ενέργειας και να διαφυλαχθεί η παροχή τροφής.

Επιπρόσθετα, η προσέγγιση του πλέγματος είναι σημαντική για τον εντοπισμό συνεργειών και αντισταθμίσεων μεταξύ τομέων και για την υιοθέτηση βιώσιμων και αποδοτικών χρήσεων πόρων, ειδικά υπό τις πιέσεις της κλιματικής αλλαγής (van den Heuvel et al., 2020). Μια ανθρωπογενής πίεση σε μια οικοσυστημική λειτουργία ή υπηρεσία μπορεί να έχει έμμεσες συνέπειες σε ένα μεγάλο αριθμό άλλων λειτουργιών και υπηρεσιών μέσω διαφόρων συνδέσεων. Για παράδειγμα η υπερβολική χρήση των συνθετικών λιπασμάτων η οποία έχει ως συνέπεια την τροποποίηση των βιοχημικών κύκλων. Η περίσσεια θρεπτικών ουσιών βελτιώνει την πρωτογενή παραγωγή στα υδάτινα σώματα, οδηγώντας σε ευτροφισμό και παρεμποδίζοντας την διατήρηση της ποιότητας των υδάτων (ρυθμιστική υπηρεσία) (van den Heuvel et al., 2020). Ωστόσο, υπάρχει μικρός αριθμός ερευνών οι οποίες χρησιμοποιούν δείκτες για τη σύνδεση NETK και ΟΥ, ειδικά σε συστήματα οπωρώνων. Αυτά τυπικά αποτελούν συστήματα υψηλών εισροών ενέργειας που μεγιστοποιούν την παραγωγή και το κέρδος. Είναι παγκοσμίως παρόντα συστήματα και πολύ σημαντικά για την επισιτιστική και εισοδηματική ασφάλεια στον γεωργικό τομέα (Chen et al., 2021; Lovell et al., 2021).

Οι οπωρώνες σε νησιωτικά περιβάλλοντα βρίσκονται κυρίως σε ορεινές και ημιορεινές περιοχές και συνδέονται με ένα μεγάλο εύρος οικοσυστημικών υπηρεσιών (ΟΥ) (Demestihias et al., 2017; Demestihias et al., 2019). Υποστηρίζουν διάφορες υπηρεσίες όπως η ρύθμιση του κλίματος, η επικοινωνία και η διαχείριση παράσιτων και ζιζανίων, πιθανόν σε

μεγαλύτερο βαθμό από ότι τα ετήσια φυτά και οι μονοκαλλιέργειες (Altieri, 2004; Brunori et al., 2019; Ioannidou et al., 2022; Murray et al., 2019; Weibhuhn et al., 2017). Επιπρόσθετα παρέχουν κατακράτηση και καθαρισμό του νερού, υπηρεσίες ανακύκλωσης θρεπτικών (Garcia et al., 2018) και συσσωμάτωση του εδάφους (Holifield Collins et al., 2015; Ioannidou et al., 2022). Οι μικτοί οπωρώνες ενδέχεται να έχουν επιπρόσθετες θετικές επιδράσεις που συνδέονται με την εξομάλυνση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής και τη διατήρηση των αποθεμάτων άνθρακα (Lee et al., 2019; Montanaro et al., 2017).

Η μελέτη των ΟΥ στους οπωρώνες παραμένει περιορισμένη (Demestihias et al., 2017) και συνήθως επικεντρώνεται σε συστήματα μονοκαλλιέργειας (De Leijster et al., 2019; Demestihias et al., 2018), τα οποία διαφέρουν σημαντικά από τους μικτούς οπωρώνες τόσο στα χαρακτηριστικά τους (μέγεθος και πυκνότητα φύτευσης) όσο και στις πρακτικές διαχείρισης τους. Επιπλέον, αν και οι εκτιμήσεις μέσω μοντέλων παραμένουν η κύρια προσέγγιση (Demestihias et al., 2018) είναι πολύ σημαντική για την αξιολόγηση ΟΥ η χρήση πραγματικών μετρήσεων των ιδιοτήτων του εδάφους (Chalhoub et al., 2020). Άλλες παραγνωρισμένες πτυχές σε μικτούς οπωρώνες είναι η επίδραση του συστήματος διαχείρισης (π.χ. BIO έναντι ΣΥΜ) και τα χαρακτηριστικά στοιχεία της καλλιέργειας (π.χ. ηλικία των δένδρων) στις παραμέτρους του πλέγματος NETK και στην παροχή ΟΥ.

Η παρούσα έρευνα είχε ως στόχο να συνδέσει τις παραμέτρους του πλέγματος NETK, όπως εκφράζονται μέσω κοινώς χρησιμοποιούμενων δεικτών (π.χ. αποτύπωμα άνθρακα, υδατικό αποτύπωμα, ένταση χρήσης ενέργειας και γεωργική απόδοση), με τις ΟΥ σε μικτούς οπωρώνες ακρόδρυων και πυρηνόκαρπων. Απώτερος σκοπός της έρευνας ήταν η υποστήριξη του σχεδιασμού χρήσεων γης όσον αφορά τη βέλτιστη αξιοποίηση των ΟΥ αλλά και την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της γεωργίας που παρατηρούνται στην Κύπρο.

Οι επιμέρους στόχοι ήταν οι εξής:

- Η εκτίμηση του αποτυπώματος άνθρακα, του υδατικού αποτυπώματος, της έντασης χρήσης ενέργειας και της γεωργικής απόδοσης για βιολογικούς και συμβατικούς μικτούς οπωρώνες πυρηνόκαρπων και καρποφόρων.
- Η δημιουργία ενός ενοποιημένου πλαισίου σύνδεσης NETK και ΟΥ, με βάση το πλαίσιο CICES.
- Η αξιολόγηση της προοπτικής των μικτών οπωρώνων να συμβάλλουν σε προγράμματα γεωργίας χαμηλών περιβαλλοντικών επιπτώσεων και να υποστηρίξουν την παροχή ΟΥ σε μεσογειακά νησιά.

4.2 Μεθοδολογία

4.2.1 Περιοχή Μελέτης, Επιλογή Οπωρώνων και Σχετικά Δεδομένα

Η συνολική καλλιεργούμενη έκταση της Κύπρου (Statistical Service, n.d.) είναι 114.193 εκτάρια, από τα οποία τα 80.765 εκτάρια είναι φυτά μεγάλης καλλιέργειας (π.χ. δημητριακά, όσπρια, κτηνοτροφικά και βιομηχανικά φυτά), 7138 είναι λαχανικά και πεπονοειδή, ενώ 26.290 εκτάρια είναι οπωροφόρα φρούτα και άλλες δενδρώδεις καλλιέργειες (στην πλειονότητα τους ελιές και αμπέλια). Οι οπωρώνες πυρηνόκαρπων και ακρόδρυων στο νησί απαντώνται κυρίως σε ορεινές και ημιορεινές περιοχές όπου το κλίμα είναι καταλληλότερο. Αντιπροσωπεύουν ένα σημαντικό τομέα της αγροτικής οικονομίας του νησιού, καθώς αποτελούν μια πηγή εισοδήματος για τους παραγωγούς και ταυτόχρονα συμβάλλουν στη διατήρηση πληθυσμού στην ύπαιθρο. Οι βιολογικοί οπωρώνες στην Κύπρο καλύπτουν μια έκταση 439 εκταρίων (Eurostat, n.d.). Τα γιγατόκαρπα (π.χ. μήλα και αχλάδια) καλύπτουν 74 εκτάρια, τα πυρηνόκαρπα (π.χ. ροδάκινα και βερίκοκα) 136 εκτάρια, και 229 εκτάρια καλλιεργούνται με ακρόδρυα. Η γεωργική απόδοση των βιολογικών οπωρώνων στην Κύπρο κυμαίνεται από 1 (ακρόδρυα) έως 11.85 (μήλα) τόνοι ha^{-1} έτος $^{-1}$ [μέσος όρος 2013-2019; (Eurostat, n.d.)]. Οι συμβατικοί οπωρώνες καλύπτουν μια περιοχή 4407 εκταρίων (στοιχεία του 2018), από τα οποία 2552 ha είναι αμύγδαλα, 371 ha είναι μήλα, 369 ha είναι δαμάσκηνα, και 291 ha είναι ροδάκινα. Η απόδοση των συμβατικών οπωρώνων κυμαίνεται από 0,14 τόνους ha^{-1} για τα αμύγδαλα μέχρι 26,23 τόνους ha^{-1} για τα σύκα (μέσος όρος στοιχείων 2013-2018; (Statistical Service, n.d.)). Η ετήσια παραγωγή φρούτων και άλλων δενδρωδών καλλιεργειών (οργανικών και συμβατικών) είναι 140.863 τόνοι, οι οποίοι συνήθως καταναλώνονται από την τοπική αγορά.

Τριάντα εννιά μικτοί οπωρώνες επιλέχθηκαν για την παρούσα μελέτη (Σχήμα 4.1; Πίνακας Σ4.1) και χωρίστηκαν σε δύο ομάδες. Η πρώτη ομάδα αποτελείται από 21 αγροτεμάχια (7 συμβατικά και 14 βιολογικά), όπου το κυρίαρχο καλλιεργούμενο είδος είναι κάποιο εκ των πυρηνόκαρπων (π.χ. κεράσια, ροδάκινα και δαμάσκηνα). Η δεύτερη ομάδα αποτελείται από 18 οπωρώνες (12 συμβατικούς και 6 οργανικούς) όπου το κυρίως καλλιεργούμενο είδος είναι κάποιο από τα ακρόδρυα (π.χ. αμύγδαλα, καρύδια).

Τα καταγεγραμμένα στοιχεία περιλαμβάνουν: (1) τοποθεσία του οπωρώνα (συντεταγμένες, βλέπε Σχήμα 4.1), (2) έκταση (ha), (3) ηλικία δένδρων (έτη), και (4) απόδοση ($kg ha^{-1}$). Οι πλείστοι οπωρώνες θεωρούνται τυπικοί για τα δεδομένα καλλιεργειών της Κύπρου, όπου περισσότερα από ένα είδη καλλιεργούνται στο ίδιο αγροτεμάχιο, συνήθως μικρότερο του

ενός εκταρίου σε μέγεθος. Τα εδάφη που παρατηρούνται στους οπωρώνες είναι συνήθως φτωχά σε οργανικά στοιχεία και άμεσα συνδεδεμένα με το μητρικό υλικό και τη θέση του τοπίου (Camera et al., 2017). Λεπτόκοκκα και πετρώδη εδάφη κυριαρχούν στις ορεινές περιοχές όπου εντοπίζονται πολλοί από τους οπωρώνες (Camera et al., 2017).



Σχήμα 4.1 Τοποθεσίες όπου εντοπίζονται οι οπωρώνες στην Κύπρο. Οι βιολογικοί οπωρώνες εμφανίζονται με ροζ και οι συμβατικοί με πράσινο χρώμα.

Οι αγρότες οι οποίοι διαχειρίζονται τους οπωρώνες ανήκουν στο δίκτυο συνεργασίας του Ινστιτούτου Γεωργικών Ερευνών (ΙΓΕ) και συμμετέχουν σε εθνικά προγράμματα για την καταγραφή δεδομένων γεωργικών στατιστικών. Όλοι συμμετείχαν εθελοντικά στην παρούσα μελέτη και συμφώνησαν να παρέχουν δεδομένα σχετικά με τις διαχειριστικές γεωργικές πρακτικές τους και δείγματα εδάφους για αναλύσεις. Τα κριτήρια επιλογής ήταν τα εξής: (1) οι αγρότες να έχουν μικτούς οπωρώνες και (2) οι βιοκαλλιεργητές να κατέχουν πιστοποίηση και να είναι εγγεγραμμένοι στο εθνικό μητρώο βιολογικής γεωργίας που τηρείται από το Τμήμα Γεωργίας της Κύπρου. Οι περιοχές οι οποίες επιλέχθηκαν θεωρούνται οι πιο σημαντικές σχετικά με την παρουσία οπωρώνων στην Κύπρο (Σχήμα 4.1). Επιπρόσθετα, καλύφθηκαν όλοι οι βασικοί τύποι εδάφους.

4.2.2 Παράμετροι εδάφους

Δείγματα εδάφους (ένα σύνθετο δείγμα από κάθε οπωρώνα, από βάθος 0-40 εκ) λήφθηκαν από τους οπωρώνες για να προσδιοριστούν: (1) η οργανική ουσία, (2) το οργανικό άζωτο, (3), ο αριθμός των ειδών ζιζανίων, (4) η εδαφική αναπνοή και (5) η σταθερότητα συσσωματωμάτων του εδάφους. Επιπρόσθετα έγινε συλλογή δειγμάτων ριζών για τον προσδιορισμό (6) της παρουσίας ενδο-μυκορριζικών μυκήτων (Arbuscular Mycorrhiza

Fungi; AMF). Τα στοιχεία αναφέρονται στην περίοδο 2012-2014. Αυτές οι παράμετροι επιλέχθηκαν καθώς είναι άμεσα συνδεδεμένες με την ικανότητα των εδαφών να παρέχουν ΟΥ (Adhikari & Hartemink, 2016; Dale & Polasky, 2007; Kragt & Robertson, 2014).

Για τον προσδιορισμό της οργανικής ουσίας και του οργανικού αζώτου, ένα σύνθετο δείγμα εδάφους (δειγματοληψία από διάφορες τοποθεσίες του κάθε οπωρώνα) συλλέχθηκε ανά οπωρώνα (0-40 εκ. βάθος). Για τον προσδιορισμό της οργανικής ουσίας χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Walkley-Black (Vos et al., 2007). Το περιεχόμενο οργανικού αζώτου στο έδαφος προσδιορίστηκε ακολουθώντας την μέθοδο πέψης Kjeldahl (Raveh & Avnimelech, 1979).

Σε κάθε οπωρώνα, ένα (σύνθετο) δείγμα ριζών 100 γρ. συλλέχθηκε από τα δέντρα της καλλιέργειας (διαφόρων ειδών) από βάθος 40 εκ. με σκοπό την ποσοτικοποίηση της παρουσίας AMF (% αποικισμού ριζών), ακολουθώντας τη διαδικασία που παρουσιάστηκε από τους συγγραφείς στο Phillips and Hayman (1970). Η μικροβιακή δραστηριότητα στο έδαφος εκτιμήθηκε έπειτα από την ποσοτικοποίηση του ρυθμού αναπνοής του εδάφους (Kang et al., 2003; Rowell, 1995). Εν συντομία, πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία του εδάφους, ξήρανση των δειγμάτων (2-3 μέρες σε θερμοκρασία δωματίου), κοσκίνισμα (2mm) και η περιεκτικότητα σε νερό ρυθμίστηκε στο 50% της υδατοχωρητικότητας του. Έπειτα τα δείγματα επώαστηκαν στους 25 °C για 24 ώρες μαζί με φιαλίδια NaOH (παγίδες διοξειδίου του άνθρακα). Η επώαση ακολουθήθηκε από αφαίρεση των δοχείων NaOH, και ογκομέτρηση των δειγμάτων με 0,02N HCl για τον προσδιορισμό της ποσότητας CO₂ που παράχθηκε από το δείγμα κατά την επώαση. Η ποσότητα εκφράστηκε ως mg CO₂ ανά 100 g εδάφους.

Η μέση κατά βάρος διάμετρος (Mean weight diameter-MWD; μετρήσιμη σε mm) ποσοτικοποιήθηκε και χρησιμοποιήθηκε ως δείκτης της σταθερότητας του εδάφους, όπως περιγράφεται στο (Dane et al., 2002). Η βασική ιδέα είναι ότι μεγαλύτερα συσσωματώματα εδάφους συνεπάγονται και μεγαλύτερη σταθερότητα, με τον MWD να αποτελεί τον πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο δείκτη για τον σκοπό αυτό (Nimmo & Perkins, 2018, pp. 317–328). Πρακτικά, ο υπολογισμός βασίζεται στο άθροισμα των τάξεων μεγεθών που προσδιορίζονται από το κοσκίνισμα (χρησιμοποιώντας κόσκινα διαφόρων μεγεθών, μεταξύ 2-20mm). Ο δείκτης MWD προέρχεται άμεσα από μια διαδικασία κανονικής κατανομής και μπορεί να προσδιοριστεί και ως η διάμετρος κατά την οποία ο μισός όγκος εδάφους αποτελείται από μικρότερα συσσωματώματα και ο υπόλοιπος μισός από μεγαλύτερα (Dane et al., 2002).

Ο αριθμός των ειδών ζιζανίων προσδιορίστηκε ακολουθώντας τη μέθοδο έκπτυξης σπορόφυτων, όπως παρουσιάζεται στο Barberi and Cascio (2001). Κάθε ένα από τα (σύνθετα) δείγματα εδάφους (0-40 εκ. βάθος) από τους οπωρώνες τοποθετήθηκε σε τραχεία άμμο, η οποία είχε προηγουμένως αποστειρωθεί. Τα δείγματα έπειτα υποβλήθηκαν σε υπό-άρδευση ώστε να διατηρηθεί η υγρασία του εδάφους και να υποβοηθηθεί η βλάστηση. Οι σπόροι ζιζανίων που φύτρωσαν, αναγνωρίστηκαν, καταμετρήθηκαν και στη συνέχεια απομακρύνθηκαν. Ο αριθμός ειδών σε κάθε δείγμα καταγράφηκε.

Περισσότερες λεπτομέρειες για τον προσδιορισμό των εδαφικών παραμέτρων παρέχονται στο Ioannidou et al. (2022). Τα αποτελέσματα του προσδιορισμού των εδαφικών παραμέτρων παρατίθενται στον Πίνακα Σ4.2 (Παράρτημα Β).

4.2.3 Δείκτες NETK

4.2.3.1 Γεωργική απόδοση

Για κάθε οπωρώνα (πυρηνόκαρπων και ακρόδρυων), η απόδοση (kg ha^{-1}) καταγράφηκε ως ο μέσος όρος των ετών 2012-2014. Επιπρόσθετα, το βάρος (kg) των φρούτων και των ξηρών καρπών μετατράπηκε σε θερμίδες (Kcal), βάσει το θερμιδικό τους περιεχόμενο (Πίνακας 4.1). Οι περισσότεροι οπωρώνες περιείχαν ένα κυρίαρχο καλλιεργητικό είδος δέντρων (π.χ. αμυγδαλιές) και μεμονωμένα δέντρα άλλων ειδών (π.χ. καρυδιές και φιστικιές). Στις περιπτώσεις αυτές, η απόδοση ήταν εκείνη των κυρίαρχων ειδών (μετατρεπόμενη σε Kcal) πλέον των μειζόνων ειδών δέντρων (επίσης σε Kcal).

Πίνακας 4.1. Θερμιδομετρικό περιεχόμενο φρούτων (νωπών) και ξηρών καρπών που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή τη μελέτη. Από <https://caloriecontrol.org/>, (πρόσβαση στις 6 Απριλίου 2022) and <https://www.nutritionvalue.org/> (πρόσβαση στις 6 Απριλίου 2022).

Είδος δέντρου	Kcal kg^{-1}	Είδος δέντρου	Kcal kg^{-1}
Αμυγδαλιά	5.79	Κερασιά	0.634
Πιστακιά	5.69	Νεκταρινιά	0.442
Καρυδιά	6.54	Δαμασκηλιά	0.454
Βερικοκιά	0.486	Ροδακινιά	0.394

4.2.3.2 Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου

Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ποσοτικοποιήθηκαν με βάση: (1) τη μέτρηση κατανάλωσης καύσιμου πετρελαίου (μετακινήσεις και εργασίες πεδίου για την καλλιέργεια του εδάφους) και (2) έμμεσες εκπομπές του εδάφους λόγω της χρήσης λιπασμάτων. Η

κατανάλωση καύσιμου πετρελαίου (L/ha) μετατράπηκε σε εκπομπές του θερμοκηπίου μέσω του συντελεστή εκπομπών $3,8 \text{ kg CO}_2\text{-eq L}^{-1}$, ο οποίος λήφθηκε μέσω της χρήσης του λογισμικού OpenLCA για τη μοντελοποίηση της χρήσης καυσίμων στα γεωργικά μηχανήματα (Πίνακας Σ3- Παράρτημα Β). Αυτή η τιμή εμπεριέχει την παραγωγή, μεταφορά και τη χρήση του καυσίμου. Η εφαρμογή αζώτου μέσω οργανικών και συνθετικών λιπασμάτων καταγράφηκε και μετατράπηκε σε $\text{CO}_2\text{-eq}$ έπειτα από την χρήση των διεργασιών για την παραγωγή και τη χρήση οργανικών και συνθετικών λιπασμάτων (Πίνακας Σ3). Λόγω της χρήσης αζωτούχων λιπασμάτων στο έδαφος (οργανικών και συμβατικών), οι εκπομπές υποξειδίου του αζώτου (N_2O) μετρήθηκαν με τη χρήση του συντελεστή εκπομπών $0,0057 \text{ kg N}_2\text{O ανά kg N}$ (Marques et al., 2018) και πολλαπλασιάζοντας επί 298 (δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη) έγινε μετατροπή του N_2O σε CO_2 . Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (CF) εκφράστηκαν ως $\text{kg CO}_2\text{-eq ha}^{-1}$.

Η παραγωγή των μηχανημάτων (π.χ. εκπομπές λόγω κατασκευής τρακτέρ) δεν λήφθηκε υπόψη στους υπολογισμούς εκπομπών. Επιπρόσθετα, η χρήση ηλεκτρισμού, (κυρίως για άρδευση, δημόσια αρδευτικά δίκτυα) δεν συμπεριλήφθηκε καθώς τα αντίστοιχα στοιχεία δεν ήταν διαθέσιμα.

4.2.3.3 Υδατικό αποτύπωμα και Ένταση Χρήσης Ενέργειας

Το νερό άρδευσης καταγράφηκε στα επιλεγμένα αγροκτήματα ως $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ με βάση το αρδευτικό πρόγραμμα για την ποσοτικοποίηση του υδατικού αποτυπώματος (WF). Το βρόχινο νερό δεν συμπεριλήφθηκε στους υπολογισμούς.

Η κατανάλωση καυσίμων πετρελαίου (στο χωράφι), (L ha^{-1}) μετατράπηκε σε ενέργεια (MJ ha^{-1}) χρησιμοποιώντας το ενεργειακό περιεχόμενο 38 MJ L^{-1} για τον υπολογισμό της έντασης χρήσης ενέργειας (EI) στα επιλεγμένα αγροτεμάχια.

4.2.4 Στατιστική Ανάλυση

Για τα δεδομένα που ελήφθησαν έπειτα από τους υπολογισμούς CF, EI, WF και απόδοσης, έγινε υπολογισμός περιληπτικών στατιστικών τιμών. Διεκπεραιώθηκε τεστ Kruskal–Wallis με τη χρήση της διόρθωσης Bonferroni (διαστήματα 95%), για την εξέταση των πιθανών στατιστικά σημαντικών διαφορών στις διάμεσες τιμές των δεικτών EI, CF, WF και απόδοσης μεταξύ βιολογικών και συμβατικών μικτών οπωρώνων.

Η πολλαπλή ανάλυση παλινδρόμησης (multiple linear regression) χρησιμοποιήθηκε για τη μελέτη της σχέσης μεταξύ των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και των εδαφικών παραμέτρων (φυσικές, χημικές, και βιολογικές, βλέπε παράγραφο 4.2.2). Για τον σκοπό αυτό οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου εκφράστηκαν σε kg CO₂-eq ανά MCal της παραγόμενης τροφής από (α) ακρόδρυα και (β) πυρηνόκαρπα σε μικτούς οπωρώνες. Για τη διαδικασία προσαρμογής, έγινε χρήση αντίστροφης σταδιακής επιλογής με τιμή p (>0.05) ως κριτήριο επιλογής και αφαίρεσης των ανεξάρτητων μεταβλητών και απλούστευσης του μοντέλου. Η στατιστική διαδικασία Durbin–Watson (DW) χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο της σημαντικής συσχέτισης των υπολοίπων μεταβλητών.

Η ανάλυση συστάδων με τη Μέθοδο του Ward (Ward, 1963) χρησιμοποιήθηκε για την αναγνώριση ομάδων μικτών οπωρώνων οι οποίοι παρουσίασαν κοινά στοιχεία αναφορικά με τις εξής παραμέτρους της σχέσης NETK: (1) νερό (m³ ha⁻¹), ένταση χρήσης ενέργειας (MJ ha⁻¹), (3) γεωργική απόδοση (MCal ha⁻¹) και (4) εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (kg CO₂-eq ha⁻¹). Το κριτήριο ελάχιστης απόκλισης του Ward χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία συστάδων και η διαφοροποίηση μεταξύ των μελετώμενων οπωρώνων μετρήθηκε μέσω της τετραγωνισμένης Ευκλείδειας απόστασης (Sharma, 1997). Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό STATGRAPHICS CENTURION v.19 (STATPOINT INC).

4.2.5 Σύνδεση των παραμέτρων NETK και των Οικοσυστημικών Υπηρεσιών

Ο Πίνακας 4.2 παρουσιάζει τη σύνδεση των παραμέτρων NETK με τις οικοσυστημικές υπηρεσίες, με βάση το πλαίσιο CICES V5.1 (βλέπε spreadsheet <https://cices.eu/resources/>, (πρόσβαση στις 3 Μαρτίου 2022) (Haines-Young & Potschin, 2018).

Αναπτύχθηκε ένα απλό σύστημα βαθμολόγησης για τη σύνδεση των παραμέτρων του πλέγματος NETK με τις οικοσυστημικές υπηρεσίες, μέσω των παρακάτω βημάτων:

Βήμα 1: Για κάθε μια από τις παραμέτρους της NETK που αξιολογείται, δημιουργήθηκαν τρεις κατηγορίες (υψηλή, μέση και χαμηλή, βλέπε Σχήματα Σ4.1 - Σ4.2, Παράρτημα Β). Στην περίπτωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, υδατικού αποτυπώματος και έντασης χρήσης ενέργειας, όσο μεγαλύτερη η τιμή, τόσο υψηλότερη η αρνητική επίδραση στην αντίστοιχη οικοσυστημική υπηρεσία (Πίνακας 4.2).

Βήμα 2: Η κατηγορία με τις υψηλότερες τιμές για τις παραμέτρους αποτύπωμα άνθρακα, υδατικό αποτύπωμα και ένταση χρήσης ενέργειας λαμβάνει μηδέν (0) βαθμούς, η μέση

λαμβάνει έναν (1), και η χαμηλότερη λαμβάνει τρεις (3) βαθμούς, καθώς οι χαμηλότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, έντασης χρήσης ενέργειας και υδατικού αποτυπώματος είναι ωφέλιμες για τις ΟΥ. Η αντίθετη τακτική ακολουθήθηκε για την περίπτωση της γεωργικής απόδοσης, καθώς υψηλότερη απόδοση οδηγεί σε μεγαλύτερες τιμές για την ΟΥ παροχής τροφής (Πίνακας 4.2 και Σχήματα Σ4.1-Σ4.2, Παράρτημα Β)

Βήμα 3: Βάση του συστήματος βαθμολόγησης το οποίο δημιουργήθηκε, οι βαθμολογίες (0, 1, ή 3) για κάθε μια από τις παραμέτρους NETK αθροίστηκαν για την εξαγωγή της τελικής βαθμολογίας (Πίνακας 4.2). Συνεπώς, η συνδυαστική κλίμακα μεταξύ των παραμέτρων της σχέσης NETK και των ΟΥ παρουσίασε εύρος 0–12 (Πίνακας 4.2).

Βήμα 4: Οι 39 σπωρώνες κατηγοριοποιήθηκαν με βάση τις παραμέτρους NETK (Πίνακας Σ4.4, Παράρτημα Β) και δημιουργήθηκε η σχέση τους με τις ΟΥ.

Πίνακας 4.2. Σύνδεση των παραμέτρων NETK με τις οικοσυστημικές υπηρεσίες

	Οικοσυστημική Υπηρεσία	CICES v5.1	Σχόλια	Σύστημα Βαθμολόγησης
Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (αποτύπωμα άνθρακα)	Ρύθμιση ατμοσφαιρικής σύστασης	2.2.6.1	Οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου λόγω της χρήσης καυσίμων και ενέργειας στο πεδίο, καθώς και οι εκπομπές από την παραγωγή λιπασμάτων και οι συναφείς εδαφικές εκπομπές οδηγούν σε επιπτώσεις στην σύσταση της ατμόσφαιρας και επηρεάζουν τη ρύθμιση του κλίματος.	Κόκκινο (=0 βαθμοί): κατηγορία υψηλότερων τιμών Πορτοκαλί (=1 βαθμός): κατηγορία μέσων τιμών Πράσινο (=3 βαθμοί): κατηγορία χαμηλών τιμών
Υδατικό αποτύπωμα (αρδευτικά ύδατα)	Νερό (υπέργειο και υπόγειο) χρησιμοποιούμενο για τη θρέψη, τα υλικά. Ρύθμιση ροών	4.2.1.1 και 4.2.2.2, 2.2.1.3	Η χρήση νερού για άρδευση έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της παραγωγής και την παροχής τροφής, αλλά έχει και επιπτώσεις στον κύκλο και τη διαθεσιμότητα του νερού στα υπέργεια και υπόγεια υδατικά σώματα και τα σχετικά τους οικοσυστήματα.	
Ένταση χρήσης ενέργειας	Παροχή τροφής	1.1.1.1, 2.2.6.1	Η χρήση ενέργειας είναι τυπική για λόγους γεωργίας και εξασφάλισης τροφής, και συνδέεται με την παροχή τροφής. Η παραγωγή ενέργειας συνδέεται με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και η χρήση ενέργειας για την παραγωγή τροφής συνδέεται με την κλιματική αλλαγή.	
Γεωργική απόδοση	Παροχή τροφής	1.1.1.1	Η παραγωγή των οπωρώνων και οι θερμίδες από τα φρούτα και τους ξηρούς καρπούς συνδέονται με την παροχή τροφής.	Κόκκινο (=0 βαθμοί): κατηγορία υψηλότερων τιμών Πορτοκαλί (=1 βαθμός): κατηγορία μέσων τιμών Πράσινο (=3 βαθμοί): κατηγορία χαμηλών τιμών
Συνολική Βαθμολογία		Χαμηλότερη βαθμολογία = χειρίστη περίπτωση για ΟΥ = 0 (όλες οι παράμετροι NETK είναι κόκκινες, 4 × 0) Υψηλότερη βαθμολογία = βέλτιστη για ΟΥ = 12 (όλες οι παράμετροι NETK είναι πράσινες, 4 × 3) Συνολική βαθμολόγηση: 0–4 κόκκινο, 5–8 πορτοκαλί, 9–12 πράσινο		

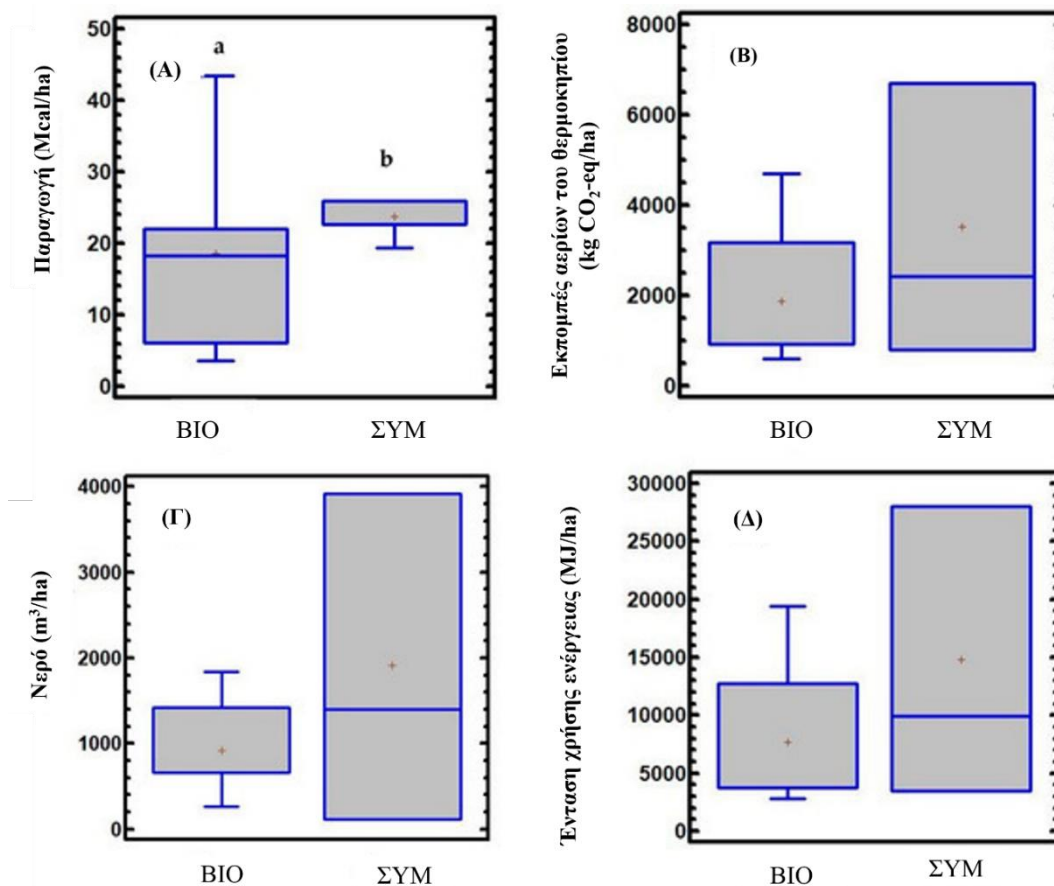
4.3 Αποτελέσματα

4.3.1 NETK σε μικτούς οπωρώνες

4.3.1.1 Ακρόδρυα

Οι παράμετροι NETK για την περίπτωση των βιολογικών και συμβατικών μικτών οπωρώνων παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.2. Η διάμεση τιμή γεωργικής απόδοσης (κατώτερο-ανώτερο τεταρτημόριο) ήταν 18,23 (6,08–22,1) και 22,71 (22,71–26,0) Mcal ha⁻¹ για τους βιολογικούς και τους συμβατικούς οπωρώνες, αντίστοιχα. Η σύγκριση των διάμεσων τιμών έδειξε ότι οι συμβατικοί μικτοί οπωρώνες είχαν σημαντικά μεγαλύτερη γεωργική απόδοση από τους βιολογικούς (Σχήμα 4.2Α). Οι διάμεσες τιμές (κατώτερο-ανώτερο τεταρτημόριο) για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ήταν 928,3 (928,3–3163,5) και 2431,2 (803,4–6698,7) kg CO₂-eq ha⁻¹ για τους βιολογικούς και τους συμβατικούς οπωρώνες, αντίστοιχα. Οι διάμεσες τιμές (κατώτερο-ανώτερο τεταρτημόριο) για την κατανάλωση νερού ήταν 658,0 (658,0–1418,0) και 1399,0 (113,0–3923,0) m³ ha⁻¹ για τους βιολογικούς και τους συμβατικούς οπωρώνες, αντίστοιχα. Η ένταση κατανάλωσης ενέργειας ήταν 3707,7 (3707,7–12.725,6) και 9972,8 (3471,8–28.021,8) MJ ha⁻¹ για τους βιολογικούς και τους συμβατικούς οπωρώνες καρποφόρων, αντίστοιχα. Δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά για το αποτύπωμα άνθρακα, το υδατικό αποτύπωμα και την ένταση χρήσης ενέργειας μεταξύ των βιολογικών και των συμβατικών οπωρώνων (Σχήματα 4.2B–Δ).

Οι διάμεσες τιμές (κατώτερο-ανώτερο τεταρτημόριο) για το αποτύπωμα άνθρακα, το υδατικό αποτύπωμα και την ένταση κατανάλωσης ενέργειας ανά κιλό προϊόντος ήταν 0,591 (0,293–1,064) kg CO₂-eq, 0,245 (0,208–0,572) m³, και 2,616 (1,17–4,269) MJ, και 0,699 (0,203–1,674) kg CO₂-eq, 0,409 (0,029–0,981) m³, και 2,862 (0,879–7,005) MJ για τους βιολογικούς και τους συμβατικούς οπωρώνες, αντίστοιχα. Οι θερμίδες ανά κιλό, στην περίπτωση της παραγωγής, παρουσιάζονται παραπάνω (Πίνακας 4.1). Η διάμεση τιμή γεωργικής απόδοσης σε kg ha⁻¹ ήταν 3170 και 3950 για τους οργανικούς και τους συμβατικούς οπωρώνες αντίστοιχα.



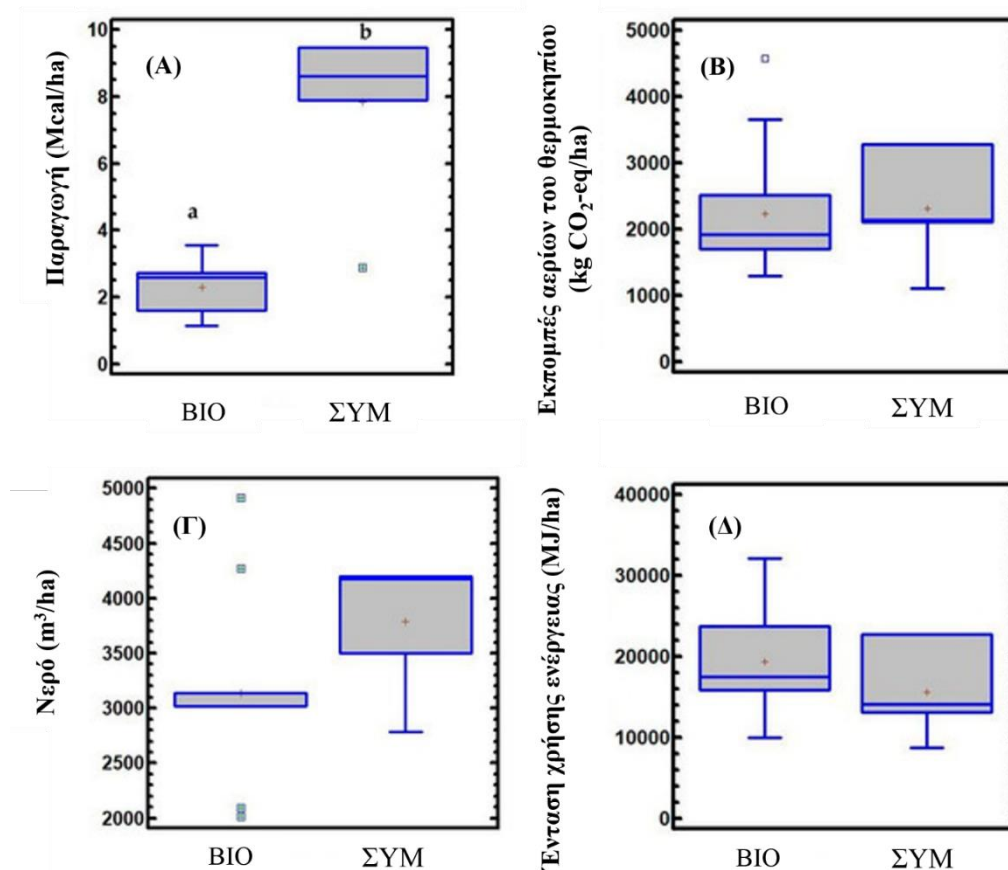
Σχήμα 4.2. Δείκτες NETK για βιολογικούς και συμβατικούς μικτούς οπωρώνες ακρόδρυων: (A) παραγωγή (Mcal ha⁻¹), (B) αποτύπωμα άνθρακα-CF (kg CO₂-eq ha⁻¹), (Γ) υδατικό αποτύπωμα-WF (m³ ha⁻¹) και (Δ) ένταση χρήσης ενέργειας-EI (MJ ha⁻¹). Τα διαφορετικά γράμματα πάνω από τα θηκογράμματα καταδεικνύουν στατιστική διαφορά ($p < 0.05$).

4.3.1.2 Πυρηνόκαρπα

Στο Σχήμα 4.3, παρουσιάζονται οι παράμετροι NETK για βιολογικούς και συμβατικούς μικτούς οπωρώνες πυρηνόκαρπων. Η διάμεση γεωργική απόδοση (κατώτερο-ανώτερο τεταρτημόριο) ήταν 2,588 (1,589–2,724) και 8,626 (7,88–9,477) Mcal ha⁻¹ για τους βιολογικούς και τους συμβατικούς οπωρώνες πυρηνόκαρπων, αντίστοιχα. Η σύγκριση των διαμέσων τιμών έδειξε ότι οι συμβατικοί οπωρώνες πυρηνόκαρπων είχαν σημαντικά μεγαλύτερη απόδοση από τους βιολογικούς (Σχήμα 4.3A). Οι διάμεσες τιμές (κατώτερο-ανώτερο τεταρτημόριο) για τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου ήταν 1918,3 (1705,9–2508,1) και 2139,1 (2105,7–3281,9) kg CO₂-eq ha⁻¹ για τους βιολογικούς και τους συμβατικούς οπωρώνες, αντίστοιχα. Η διάμεση κατανάλωση νερού (κατώτερο-ανώτερο τεταρτημόριο) ήταν 3015,0 (3015,0–3135,0) και 4178,0 (3500,0–4200,0) m³ ha⁻¹ για τους οργανικούς και τους συμβατικούς οπωρώνες, αντίστοιχα. Η μέση ενεργειακή κατανάλωση (κατώτερο-ανώτερο τεταρτημόριο) ήταν 17.461,5 (15.923,9–23.743,3) και 14.162,7 (13.155,9–22.762,5) MJ ha⁻¹, για τους οργανικούς και τους συμβατικούς οπωρώνες,

αντίστοιχα. Δεν παρουσιάστηκε σημαντικά στατιστική διαφορά για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, το υδατικό αποτύπωμα και την ένταση κατανάλωσης ενέργειας μεταξύ των βιολογικών και των συμβατικών, μικτών οπωρώνων (Σχήματα 4.3B–Δ).

Οι διάμεσες τιμές (κατώτερο-άνωτερο τεταρτημόριο) για το αποτύπωμα άνθρακα, το υδατικό αποτύπωμα και την ένταση χρήσης ενέργειας ανά κιλό προϊόντος ήταν 0,404 (0,320–0,577) kg CO₂-eq, 0,623 (0,503–0,856) m³, και 3,73 (2,910–5,467) MJ και 0,111 (0,10–0,164) kg CO₂-eq, 0,210 (0,179–0,10) m³, και 0,726 (0,726–1,14) MJ στις περιπτώσεις των βιολογικών και των συμβατικών οπωρώνων αντίστοιχα. Οι θερμίδες ανά κιλό, στην περίπτωση της παραγωγής, παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.1. Η διάμεση τιμή γεωργικής απόδοσης σε kg ha⁻¹ ήταν 5023 και 19.500 για τους βιολογικούς και τους συμβατικούς οπωρώνες, αντίστοιχα.



Σχήμα 4.3. Δείκτες NETK για βιολογικούς και συμβατικούς μικτούς οπωρώνες πυρηνόκαρπων: (A) παραγωγή (Mcal ha⁻¹), (B) αποτύπωμα άνθρακα-CF (kg CO₂-eq ha⁻¹), (Γ) υδατικό αποτύπωμα-WF (m³ ha⁻¹) και (Δ) ένταση χρήσης ενέργειας-EI (MJ ha⁻¹). Τα διαφορετικά γράμματα πάνω από τα θηκογράμματα συμβολίζουν την στατιστική διαφορά ($p < 0.05$). Τα τετράγωνα πάνω και κάτω από τα θηκογράμματα συμβολίζουν τις ακραίες τιμές.

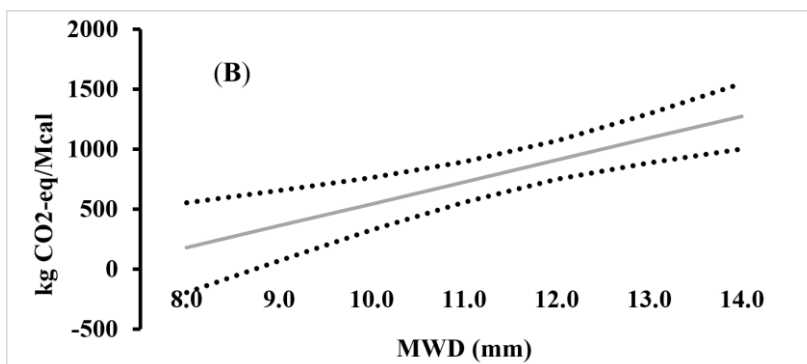
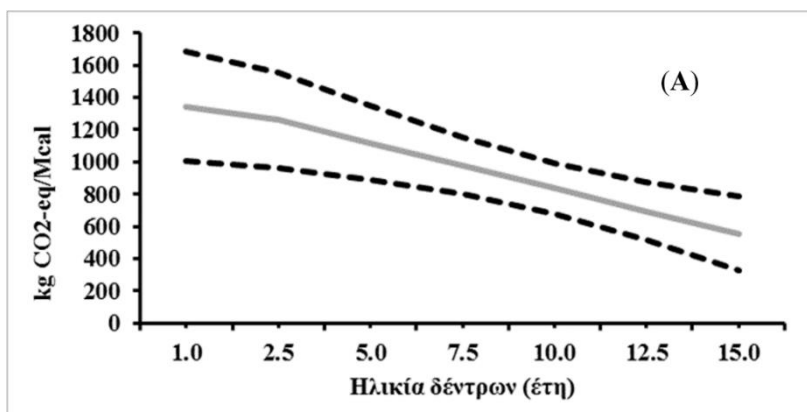
4.3.2 Σχέση μεταξύ των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και των παραμέτρων των οπωρώνων

Στην περίπτωση των μικτών οπωρώνων καρποφόρων, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ανά MCal τροφής, λόγω της παραγωγής καυσίμων και λιπασμάτων, δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντική σχέση (df 17; F -ratio 0.66; p -value 0.704) με τις παραμέτρους του εδάφους (οργανική ουσία, εδαφική αναπνοή, οργανικό άζωτο και μέγεθος συσσωματωμάτων), την παράμετρο AMF και τα χαρακτηριστικά των αγροτεμαχίων (ηλικία δέντρων και αριθμός ειδών ζιζανίων). Αντίθετα, υπήρξε μια στατιστικά σημαντική σχέση μεταξύ των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και των εδαφικών παραμέτρων καθώς και μεταξύ της παραμέτρου AMF και των χαρακτηριστικών των αγροτεμαχίων καλλιέργειας για τους μικτούς οπωρώνες πυρηνόκαρπων (df 20; F -ratio 13.94; p = 0.0002). Το R^2 (προσαρμοσμένο για df) ήταν 56.12 %. Η διαδικασία αντίστροφης επιλογής, βασισμένη στην τιμή p (>0.05) αφαίρεσε πέντε μεταβλητές (εδαφική αναπνοή, είδη ζιζανίων, AMF%, οργανική ουσία%, και οργανικό άζωτο%) για την απλοποίηση του μοντέλου. Το στατιστικό τεστ Durbin–Watson (DW) έδειξε ότι δεν υπήρχαν ενδείξεις αυτοσυσχετίσεων στις υπόλοιπες μεταβλητές, σε διάστημα εμπιστοσύνης 95.0%. Στο Σχήμα Σ4.1, παρουσιάζονται οι παρατηρούμενες έναντι των προβλεπόμενων τιμών. Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ανά MCal τροφής είχαν αρνητική συσχέτιση με την ηλικία των δέντρων και θετική με την σταθερότητα συσσωματωμάτων του εδάφους. Η εξίσωση του μοντέλου ήταν:

$$\text{Kg CO}_2\text{eq/Mcal} = -716.77 - 56.27 \times (\text{TA}) + 182.37 \times (\text{MWD})$$

όπου TA (tree age) είναι η ηλικία των δέντρων (σε έτη) και MWD είναι η μέση κατά βάρος διάμετρος των εδαφικών συσσωματωμάτων (mm).

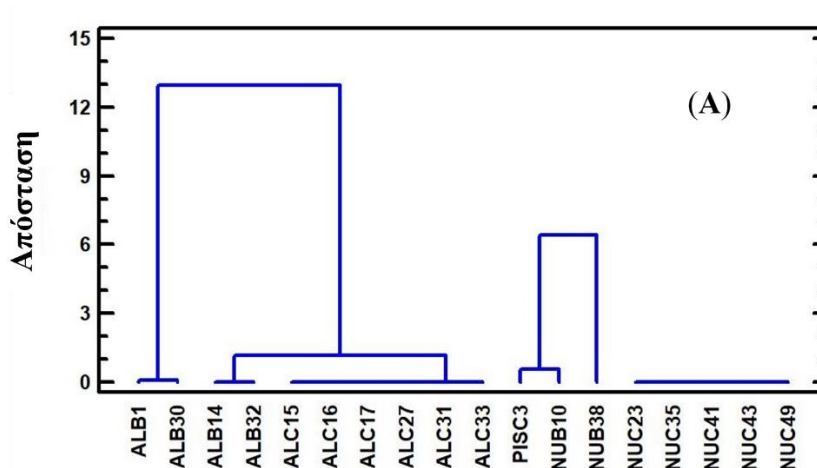
Στο Σχήμα 4.4A, οι προβλέψεις του μοντέλου (διάστημα εμπιστοσύνης 95%) παρουσιάζονται για τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου ($\text{kg CO}_2\text{-eq Mcal}^{-1}$) σε συνάρτηση με διαφορετικές τιμές ηλικίας δέντρων, ενώ οι άλλες παράμετροι του μοντέλου παρέμειναν σταθερές (ως οι μέσες τιμές που παρατηρήθηκαν σε οπωρώνες πυρηνόκαρπων): εδαφική αναπνοή 31,1 (CO_2 mg ανά 100 g εδάφους σε 24 ώρες στους 25 °C), οργανικό άζωτο 0,1 %, MWD 11,6 (mm), οργανική ουσία 1,1 %, αριθμός ειδών ζιζανίων 5,9, και AMF 27,6%. Στο Σχήμα 4.4B, η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε για διαφορετικές MWD. Σε αυτή την περίπτωση η ηλικία των δέντρων ήταν 10 έτη και όλες οι υπόλοιπες παράμετροι είχαν τεθεί όπως παρουσιάζεται παραπάνω.

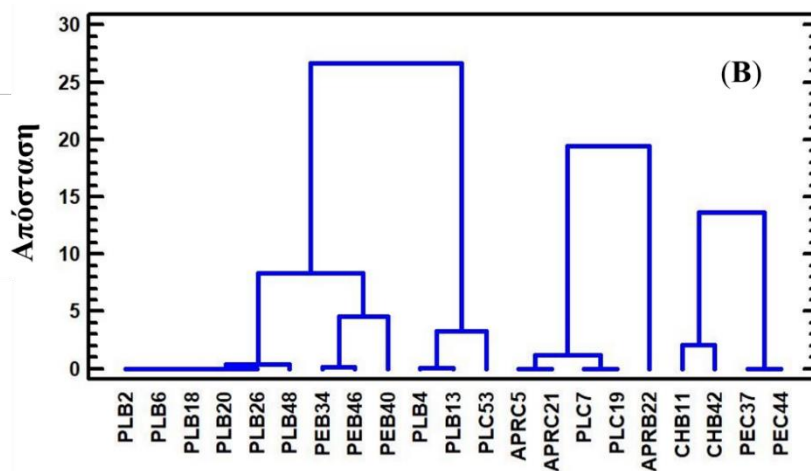


Σχήμα 4.4. Προβλέψεις μοντέλων (μέση τιμή και διαστήματα εμπιστοσύνης 95%) για τις τιμές εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου για: (A) διαφορετικές ηλικίες δέντρων και (B) τη μέση κατά βάρος διάμετρο εδαφικών συσσωματωμάτων (mm).

4.3.3 Ανάλυση συστάδων

Οι σπυρώνες ομαδοποιήθηκαν σε τρεις ομάδες στην περίπτωση των μικτών σπυρώνων ακρόδρυων (Σχήμα 4.5A) και των μικτών σπυρώνων πυρηνόκαρπων (Σχήμα 4.5B), βάση των παραμέτρων NETK. Οι κεντροειδείς τιμές των ομάδων παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.3.





Σχήμα 4.5. Δενδρόγραμμα των αποτελεσμάτων της ανάλυσης συστάδων (μέθοδος Ward, τετραγωνισμένη Ευκλείδεια απόσταση) στην περίπτωση: (A) των ακρόδρυων και (B) των πυρηγόκαρπων. Επίσης αναφέρεται ο κωδικός του κάθε οπωρώνα έπειτα από το είδος του δέντρου, όπου: αμυγδαλιά (AL; almonds), φιστικιά (PIS; pistachios), καρυδιά (NU; walnuts), δαμασκηλιά (PL; plums), ροδακινιά (PE; peaches), βερικοκιά (APR; apricots), κερασιά (CH; cherries). Το καλλιεργητικό σύστημα αναφέρεται ως: βιολογικά (B; organic), συμβατικά (C; conventional).

Πίνακας 4.3. Κεντροειδείς τιμές των παραμέτρων NETK για τις τρεις ομάδες στην περίπτωση οπωρώνων ακρόδρυων και πυρηγόκαρπων.

Ομάδα	Μέλη	Ποσοστό	EI (MJ/ha)	Παραγωγή (Mcal ha ⁻¹)	WF (m ³ ha ⁻¹)	CF (kg CO ₂ eq ha ⁻¹)
Ακρόδρυα						
1	10	55.56	3477.3	18.245	291.3	819.76
2	3	16.67	16,198.2	28.3133	1980.67	3974.47
3	5	27.78	28,021.8	26.0	3923.0	6698.7
Πυρηγόκαρπα						
1	12	57.14	17,444.1	2.101	2771.25	1891.35
2	5	23.81	12,936.7	7.732	4053.8	2011.1
3	4	19.05	26,413.4	5.287	4234.0	3696.57

4.3.4 Σύνδεση της σχέσης NETK με τις ΟΥ.

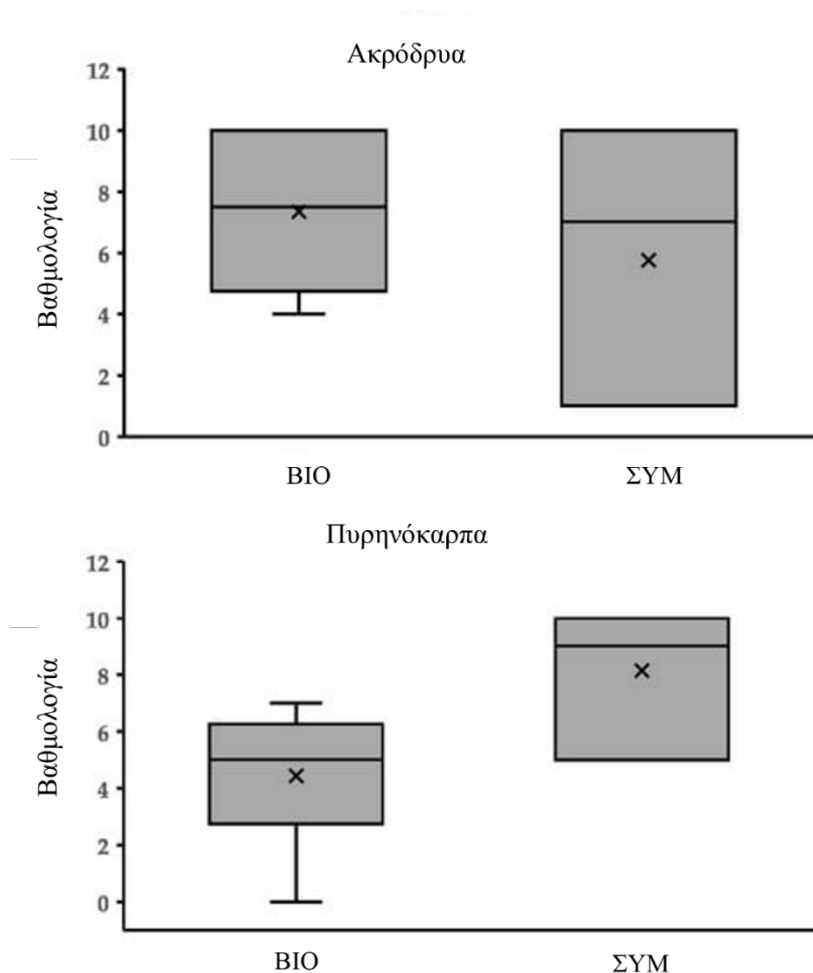
Στα Σχήματα Σ4.2 και Σ4.3 (Παράρτημα Β), παρουσιάζονται οι ομάδες οι οποίες προκύπτουν βάσει των τιμών των παραμέτρων NETK για τους μικτούς οπωρώνες. Με βάση αυτές τις κατηγορίες και τον Πίνακα 4.2 (βλέπε υποενότητα 4.2.5), οι 39 μικτοί οπωρώνες ομαδοποιήθηκαν όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα Σ4.4 (Παράρτημα Β) και υπολογίστηκε η βαθμολογία τους, (3 = υψηλή, 1 = μέση, 0 = χαμηλή), ως προσεγγιστικός δείκτης για την παροχή ΟΥ από τους μικτούς οπωρώνες ακρόδρυων (Πίνακας 4.4) και από τους μικτούς οπωρώνες πυρηνόκαρπων (Πίνακας 4.5). Στο Σχήμα 4.6 παρατίθεται η βαθμολογία για τη σύνδεση των παραμέτρων NETK με τις οικοσυστημικές υπηρεσίες για τους μικτούς οπωρώνες.

Πίνακας 4.4. Κατηγοριοποίηση των μικτών οπωρώνων ακρόδρυων βάσει της βαθμολογίας τους για ΟΥ [3 = υψηλή (πράσινο), 1 = μέση (πορτοκαλί), 0 = χαμηλή (κόκκινο)]. ΓΠ: γεωργικές πρακτικές διαχείρισης, Β: βιολογικοί οπωρώνες, C: συμβατικοί οπωρώνες (conventional), CF: αποτύπωμα άνθρακα (carbon footprint), WF: υδατικό αποτύπωμα (water footprint), ΕΙ: ένταση χρήσης ενέργειας (energy intensity).

Κωδικός	ΓΠ	CF	WF	Τροφή	ΕΙ	Βαθμολογία
ALB1	B	3	0	0	3	6
PISC3	C	1	1	1	1	4
NUB10	B	1	1	1	1	4
ALB14	B	3	3	1	3	10
ALC15	C	3	3	1	3	10
ALC16	C	3	3	1	3	10
ALC17	C	3	3	1	3	10
NUC23	C	0	0	1	0	1
ALC27	C	3	3	1	3	10
ALB30	B	3	3	0	3	9
ALC31	C	3	3	1	3	10
ALB32	B	3	3	1	3	10
ALC33	C	3	3	1	3	10
NUC35	C	0	0	1	0	1
NUB38	B	0	1	3	1	5
NUC41	C	0	0	1	0	1
NUC43	C	0	0	1	0	1
NUC49	C	0	0	1	0	1

Πίνακας 4.5. Κατηγοριοποίηση των μικτών οπωρώνων πυρηνόκαρπων βάσει της βαθμολογίας τους για ΟΥ [3 = υψηλή (πράσινο), 1 = μέση (πορτοκαλί), 0 = χαμηλή (κόκκινο)]. ΓΠ: γεωργικές πρακτικές διαχείρισης, Β: βιολογικοί οπωρώνες, C: συμβατικοί οπωρώνες (conventional), CF: αποτύπωμα άνθρακα (carbon footprint), WF: υδατικό αποτύπωμα (water footprint), ΕΙ: ένταση χρήσης ενέργειας (energy intensity).

Κωδικός	ΓΠ	CF	WF	Τροφή	ΕΙ	Βαθμολογία
PLB2	B	3	1	0	1	5
PLB4	B	1	3	0	3	7
APRC5	C	3	1	3	3	10
PLB6	B	3	1	0	1	5
PLC7	C	3	0	3	3	9
CHB11	B	0	0	0	0	0
PLB13	B	1	3	0	3	7
PLB18	B	3	1	0	1	5
PLC19	C	3	0	3	3	9
PLB20	B	3	1	0	1	5
APRC21	C	3	1	3	3	10
APRB22	B	3	0	0	3	6
PLB26	B	3	1	0	1	5
PEB34	B	1	1	0	0	2
PEC37	C	1	0	3	1	5
PEB40	B	1	3	0	1	5
CHB42	B	0	0	0	0	0
PEC44	C	1	0	3	1	5
PEB46	B	1	1	0	1	3
PLB48	B	3	1	0	3	7
PLC53	C	3	3	0	3	9



Σχήμα 4.6. Θηκογράμματα της βαθμολογίας σύνδεσης των ΟΥ με τις παραμέτρους NETK.

4.4 Συζήτηση

Στην παρούσα εργασία, οι τέσσερις παράμετροι του πλέγματος NETK αξιολογήθηκαν με τη βοήθεια τεσσάρων δεικτών, συγκεκριμένα των CF, WF, EI, και της γεωργικής απόδοσης για βιολογικούς και συμβατικούς μικτούς οπωρώνες ακρόδρυων και πυρηνόκαρπων. Δημιουργήθηκε ένα ενοποιημένο πλαίσιο για τη σύνδεση των παραμέτρων NETK με τις ΟΥ που προσφέρονται από αυτούς τους μικτούς οπωρώνες. Αυτή η προσέγγιση υποστηρίζει την εφαρμογή και άσκηση γεωργίας χαμηλού περιβαλλοντικού αντίκτυπου, ενώ ταυτόχρονα λαμβάνει υπόψη την μεγιστοποίηση των ΟΥ. Για παράδειγμα, η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία (https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en, (πρόσβαση στις 20 Απριλίου 2022)) και η στρατηγική «Από το Αγρόκτημα στο Πιάτο» (https://ec.europa.eu/food/horizontal-topics/farm-fork-strategy_en, (πρόσβαση στις 20 Απριλίου 2022)) έχουν φιλόδοξους στόχους για τη μείωση των εισροών και τον μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής και συνεπώς, πρέπει να δημιουργηθούν ευκόλως

εφαρμοζόμενα πλαίσια για την ποσοτικοποίηση των ωφελειών που συνδέονται με αλλαγές στις γεωργικές πρακτικές διαχείρισης.

Η γεωργική απόδοση αποτελεί τον πιο συναφή δείκτη για την παροχή τροφής στα αγροοικοσυστήματα. Στην περίπτωση των μικτών οπωρώνων ακρόδρυων, η παραγωγή ήταν σημαντικά μεγαλύτερη στα συμβατικά αγροτεμάχια έναντι των βιολογικών. Αυτό μπορεί να σχετίζεται με παραμέτρους όπως η μειωμένη ποσότητα και η βραδύτερη απελευθέρωση θρεπτικών στοιχείων όταν γίνεται χρήση οργανικών λιπασμάτων, σε αντίθεση με τη χρήση συνθετικών λιπασμάτων τα οποία έχουν σχεδιαστεί για τη βέλτιστη και ταχύτερη απελευθέρωση θρεπτικών με σκοπό τη μεγιστοποίηση της παραγωγής (Duru et al., 2015; Lassaletta et al., 2014). Ωστόσο, για τους δείκτες CF, WF, και EI, δεν παρουσιάστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των βιολογικών και των συμβατικών μικτών οπωρώνων ακρόδρυων, παρόλο που τυπικά οι βιολογικοί οπωρώνες παρουσιάζουν χαμηλότερες τιμές για αυτές τις κατηγορίες. Οι αυξημένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και της χρήσης νερού και ενέργειας σε κάποια από τα βιολογικά και συμβατικά αγροτεμάχια δεν προσέφεραν βελτιωμένη προσφορά τροφής. Αυτό υποδεικνύει ότι υπάρχουν προοπτικές μετριασμού προς την κατεύθυνση της γεωργίας με χαμηλότερες εισροές (Litskas et al., 2019; Michos et al., 2018). Οι τιμές CF, WF, και EI, (ανά κιλό ξηρών καρπών) ήταν χαμηλότερες για τους βιολογικούς οπωρώνες σε σχέση με τους συμβατικούς, λόγω μικρότερων εισροών (π.χ. λιπασμάτων). Συνεπώς, οι βιολογικοί μικτοί οπωρώνες είναι ιδανικοί για τη μετάβαση σε μειωμένες ή μηδενικές εκπομπές και τη βιώσιμη χρήση νερού και ενέργειας στη γεωργία. Ωστόσο, τα συστήματα αυτά έχουν ως αποτέλεσμα τη χαμηλότερη προσφορά τροφής από ότι οι συμβατικοί οπωρώνες. Οι μικτοί οπωρώνες ακρόδρυων προσφέρουν περισσότερες θερμίδες ανά κιλό τροφής (Πίνακας 4.1) σε σύγκριση με τα άλλα είδη, παρά την μειωμένη γεωργική τους απόδοση (kg ha^{-1}) και καταλαμβάνουν συνήθως λιγότερο γόνιμη γεωργική γη σε σύγκριση με άλλες καλλιέργειες (φρούτα, δημητριακά και λαχανικά).

Αντίστοιχα η παραγωγή (Mcal ha^{-1}) ήταν σημαντικά μειωμένη στην περίπτωση των μικτών βιολογικών οπωρώνων πυρηνόκαρπων όταν συγκρίνονταν με τους συμβατικούς οπωρώνες. Όπως προαναφέρθηκε, οι αυξημένες εισροές (π.χ. νερού και λιπασμάτων) σε συμβατικά ή/και βιολογικά αγροτεμάχια παραγωγής φρούτων έχουν ως στόχο την μεγιστοποίηση της παραγωγικότητας και συνεπώς του κέρδους των αγροτών. Τα δεδομένα της μελέτης αφορούν στην περίοδο 2012-2014, όταν οι τιμές των λιπασμάτων και των καυσίμων ήταν πολύ χαμηλότερες από αυτές που παρατηρήθηκαν κατά και μετά την πανδημία COVID-19,

όπου τα μεταφορικά κόστη αυξήθηκαν. Συνεπώς, οι υψηλές τιμές για αυτές τις εισροές δεν αποτελούν παράγοντα μείωσης τους σε σύγκριση με αυτό που παρατηρήθηκε κατά την πανδημία COVID-19 (Pinova et al., 2021). Χαμηλότερες ή ακόμα και μηδενικές εισροές (π.χ. λιπασμάτων, εντομοκτόνων, ενέργειας και νερού) μπορούν να παρατηρηθούν σε μικτούς οπωρώνες, οι οποίοι τυπικά καλύπτουν οικογενειακές (όχι εμπορικές) ανάγκες. Ωστόσο, στην περίπτωση αυτή οι αποδόσεις μπορεί να διαφέρουν σημαντικά μεταξύ των ετών, κάτι που δεν επιλέγεται στην εμπορική γεωργία και για λόγους επισιτιστικής ασφάλειας.

Το αποτύπωμα άνθρακα εκφράστηκε ως $\text{kg CO}_2\text{-eq}$ ανα kg με σκοπό τη σύγκριση του με δεδομένα από την αντίστοιχη βιβλιογραφία, όπου οι χαμηλότερες τιμές αναφέρονται σε καλλιέργειες λαχανικών ($0,37 \text{ kg CO}_2\text{-eq kg}^{-1}$), καλλιέργειες φρούτων ($0,42 \text{ kg CO}_2\text{-eq kg}^{-1}$), δημητριακά (εκτός του ρυζιού) και όσπρια ($0,50\text{-}0,51 \text{ kg CO}_2\text{-eq kg}^{-1}$) (Clune et al., 2017). Οι τιμές για τα ακρόδρυα είναι ελαφρώς πιο αυξημένες ($1,20 \text{ kg CO}_2\text{-eq kg}^{-1}$). Το ρύζι παρουσίασε το υψηλότερο ανθρακικό αποτύπωμα ανάμεσα στις φυτικές καλλιέργειες ($2,55 \text{ kg CO}_2\text{-eq kg}^{-1}$), ελαφρώς υψηλότερο από τα φρούτα και από τα λαχανικά σε θερμοκήπια ($2,13 \text{ kg CO}_2\text{-eq kg}^{-1}$). Επιπρόσθετα, αναφέρονται οι τιμές αποτυπώματος άνθρακα $0,28\text{-}0,85 \text{ kg CO}_2\text{-eq kg}^{-1}$ για σταφύλια και $0,05\text{-}0,463 \text{ kg CO}_2\text{-eq kg}^{-1}$ για αρωματικά φυτά που παράγονται στην Κύπρο (Litskas et al., 2017; Litskas et al., 2020; Litskas et al., 2019). Οι τιμές οι οποίες αναφέρονται στην παρούσα εργασία, στα $0,674$ και $0,899 \text{ kg CO}_2\text{-eq kg}^{-1}$ για βιολογικά και συμβατικά ακρόδρυα και $0,490$ και $0,680 \text{ kg CO}_2\text{-eq kg}^{-1}$ για βιολογικά και συμβατικά πυρηνόκαρπα, είναι εντός του εύρους τιμών αποτυπώματος άνθρακα που αναφέρονται για τα γεωργικά προϊόντα. Ωστόσο, οι τιμές αποτυπώματος άνθρακα για τα ακρόδρυα στην περίπτωση της παρούσας εργασίας ήταν χαμηλότερες, ενώ οι αντίστοιχες τιμές για τα πυρηνόκαρπα ήταν υψηλότερες από αυτές που παρουσιάζονται παραπάνω. Αυτό συνδέεται με τη χαμηλότερη γεωργική απόδοση (kg ha^{-1}) και τις υψηλότερες εισροές στην περίπτωση κάποιων οπωρώνων πυρηνόκαρπων. Από την άλλη, οι οπωρώνες ακρόδρυων φαίνεται να έχουν μειωμένες εισροές σε σχέση με τυπικές αναφορές από άλλες χώρες. Προσοχή πρέπει να δοθεί στο γεγονός ότι σε τέτοιες συγκρίσεις χρησιμοποιούνται διαφορετικά όρια και λειτουργικές μονάδες (boundaries and functional units) στην ανάλυση κύκλου ζωής - LCA (Clune et al., 2017). Υπογραμμίζεται ότι σε αυτή την έρευνα μετρήθηκαν μόνο οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που αντιστοιχούν στη χρήση καυσίμων και λιπασμάτων (έμμεσα και άμεσα), το οποίο οδηγεί σε υποεκτίμηση των εκπομπών. Όμως η ενέργεια και τα λιπάσματα, τα οποία λήφθηκαν υπόψη, διαδραματίζουν

καθοριστικό ρόλο στην εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου από τη γεωργία (Flammini et al., 2022; Litskas et al., 2017; Litskas et al., 2019).

Το υδατικό αποτύπωμα ήταν 393 L kg^{-1} για βιολογικούς και 489 L kg^{-1} για συμβατικούς μικτούς οπωρώνες ακρόδρυων, ενώ αυτές οι τιμές ήταν 680 και 237 L kg^{-1} για βιολογικούς και συμβατικούς οπωρώνες πυρηνόκαρπων, αντίστοιχα. Αυτές οι τιμές είναι πολύ υψηλότερες από αυτές που αντιστοιχούν στα σταφύλια (μη αρδευόμενα) στην Κύπρο (Litskas, Mandoulaki, et al., 2020), υπογραμμίζοντας τη σημασία της χρήσης καλλιεργειών και ποικιλιών ανθεκτικών στη ξηρασία, για μια βιώσιμη γεωργία (και χρήση του νερού) στα νησιά της Μεσογείου. Οι ανάγκες των λαχανικών με υψηλές αρδευτικές απαιτήσεις μπορούν να φτάσουν ακόμα και το πενταπλάσιο της ετήσιας βροχόπτωσης στην Κύπρο (Litskas et al., unpublished data). Μια μελέτη στο παγκόσμιο (συνολικό) υδατικό αποτύπωμα για διάφορες καλλιέργειες ανέφερε τιμές για τα ζαχαρότευτλα (197 L kg^{-1}), λαχανικά (322 L kg^{-1}), φρούτα (962 L kg^{-1}), δημητριακά (1644 L kg^{-1}), όσπρια (4055 L kg^{-1}) και ξηρούς καρπούς (9063 L kg^{-1}) (Mekonnen & Hoekstra, 2011; Mekonnen & Hoekstra, 2014). Οι τιμές αυτές είναι συγκρίσιμες με την παρούσα μελέτη, καθώς αναφέρονται σε νερό άρδευσης. Παρατηρήθηκαν χαμηλότερες τιμές υδατικού αποτυπώματος για τα ακρόδρυα, οι οποίες οφείλονται σε μειωμένη άρδευση στην Κύπρο.

Η χρήση ενέργειας στην περίπτωση των μικτών βιολογικών και συμβατικών οπωρώνων ακρόδρυων ήταν $1,763$ και $3,762 \text{ MJ kg}^{-1}$, αντίστοιχα. Στους βιολογικούς και συμβατικούς μικτούς οπωρώνες πυρηνόκαρπων, αυτές οι τιμές ήταν $4,232$ και $0,929 \text{ MJ kg}^{-1}$, αντίστοιχα. Οι τιμές χρήσης ενέργειας βρίσκονται εντός του εύρους τιμών που παρατηρήθηκαν για τα φαρμακευτικά και αρωματικά φυτά που καλλιεργούνται στην Κύπρο ($0,18$ - $5,8 \text{ MJ kg}^{-1}$, (Litskas et al., 2019). Η χρήση ενέργειας αυξάνεται όταν εφαρμόζεται συχνή κατεργασία εδάφους λόγω υψηλότερης κατανάλωσης ενέργειας και χρήσης μηχανημάτων (Litskas, Tzortzakis, et al., 2020; Michos et al., 2018). Η χρήση ενέργειας μπορεί να αυξηθεί περαιτέρω σε εντατικά συμβατικά διαχειριζόμενα αγροτεμάχια, με τους ελαιώνες να φτάνουν τα 59 MJ kg^{-1} (Genitsariotis et al., 2000), ενώ οι τιμές που παρατηρούνται για βιολογικούς ελαιώνες είναι πολύ χαμηλότερες στα 17.5 MJ kg^{-1} (Kaltsas et al., 2007).

Τυπικά, οι παράμετροι του πλέγματος NETK εκφράζονται ανά κιλό τελικού προϊόντος, καθώς αυτή είναι η λειτουργική μονάδα στις χρησιμοποιούμενες προσεγγίσεις LCA που χρησιμοποιήθηκαν (Clune et al., 2017). Για την ανάλυση επιλέχθηκε η έκφραση και ανάλυση των δεδομένων ανά εκτάριο καλλιεργούμενης γης. Η παραγωγή των ακρόδρυων

και πυρηνόκαρπων στην περιοχή της Μεσογείου διαφέρει λόγω εχθρών/ασθενειών και κλίματος, αλλά οι αγρότες συνήθως εφαρμόζουν τις ίδιες εισροές (π.χ. άρδευση, λιπάσματα και ενέργεια) κάθε χρόνο ανά εκτάριο. Συνεπώς, μελετώντας το πλέγμα NETK και τις ΟΥ ανά εκτάριο μπορεί να είναι προτιμότερο για την επιλογή των καλλιεργειών από την άποψη της χρήσης γης προς την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και την αύξηση των ΟΥ.

Στην περίπτωση των μικτών οπωρώνων ακρόδρυων, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ανά MCal παραγόμενης τροφής δεν παρουσίασαν σημαντική συσχέτιση με τις εδαφικές παραμέτρους (οργανική ουσία, εδαφική αναπνοή, οργανικό άζωτο και μέγεθος συσσωματωμάτων), την παράμετρο AMF και τα χαρακτηριστικά των αγροτεμαχίων (ηλικία δέντρων, είδη ζιζανίων). Αντίθετα παρατηρήθηκε σημαντική συσχέτιση για αυτές τις παραμέτρους στην περίπτωση των πυρηνόκαρπων (Σχήμα 4.4). Έπειτα από τη χρήση της διαδικασίας βηματικής παλινδρόμησης (stepwise regression) για την αφαίρεση ορισμένων ανεξάρτητων μεταβλητών, η ηλικία των δέντρων και το μέσο βάρος της διαμέτρου των συσσωματωμάτων αναγνωρίστηκαν ως τα πιο σημαντικά. Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου εκτιμήθηκαν βάσει της χρήσης καυσίμων και λιπασμάτων, καθώς και εδαφικών εκπομπών. Στην περίπτωση των μικτών οπωρώνων πυρηνόκαρπων, αυτές οι παράμετροι μειώνονταν όσο η ηλικία των δέντρων αυξανόταν. Επομένως, όσο μεγαλύτερη είναι η ηλικία των δέντρων, τόσο μεγαλύτερη είναι η ικανότητά τους να εξερευνούν το έδαφος για θρεπτικά συστατικά και νερό. Επιπλέον, η παραγωγικότητα αυξάνεται μέχρι να φτάσει στο υψηλότερο σημείο της (κιλά παραγωγής ανά δέντρο), γεγονός που συνεπάγεται χαμηλότερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ανά MCal τροφής σε σύγκριση με ένα νεότερο δέντρο, το οποίο είναι λιγότερο παραγωγικό. Η αυξημένη σταθερότητα των εδαφικών συσσωματωμάτων αποτελεί δείκτη μιας καλύτερης δομής του εδάφους, ευνοώντας τη μεταφορά νερού, αέρα και θερμότητας στο έδαφος, συμβάλλοντας έτσι στην αύξηση της εδαφικής αναπνοής. (Yang et al., 2019). Αντίθετα, η μείωση της διαμέτρου των εδαφικών συσσωματωμάτων επηρεάζει τη μεταφορά νερού, αέρα και θερμότητας στο έδαφος, το οποίο δυνητικά μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένη εδαφική αναπνοή.

Η ανάλυση συστάδων χρησιμοποιήθηκε για την ομαδοποίηση των μικτών οπωρώνων σύμφωνα με το αποτύπωμα άνθρακα, το υδατικό αποτύπωμα, την ένταση χρήσης ενέργειας και την παραγωγή τροφής, όλα εκφρασμένα σε εκτάριο καλλιεργούμενης γης. Ανεξαρτήτως της γεωργικής απόδοσης, οι γεωργοί εφαρμόζουν τις ίδιες πρακτικές κάθε χρόνο (π.χ. χρήση λιπασμάτων). Βάσει των κεντροειδών τιμών (Πίνακας 4.3) για τους μικτούς οπωρώνες

ακρόδρυων, ήταν ξεκάθαρο ότι η αυξημένη προσφορά τροφής οδηγεί σε αύξηση των τιμών αποτυπώματος άνθρακα, υδατικού αποτυπώματος και έντασης χρήσης ενέργειας, λόγω αυξημένων εισροών (άρδευση, λιπάσματα και ενέργεια). Εν τούτοις, οι περισσότεροι οπωρώνες, (55,6%) χαρακτηρίζονται από την ομάδα χαμηλότερων τιμών για τις παραμέτρους NETK που αξιολογήθηκαν. Αυτό δείχνει ξεκάθαρα την ικανότητα των μικτών οπωρώνων ακρόδρυων να χρησιμοποιηθούν σε γεωργία χαμηλών εισροών με μειωμένες τιμές παραμέτρων αποτυπώματος άνθρακα, υδατικού αποτυπώματος και χρήσης ενέργειας. Ένα άλλο εύρημα αποτελεί το γεγονός ότι η υψηλότερη παραγωγή ($MCal\ ha^{-1}$) δεν προέκυψε έπειτα από τη μεγιστοποίηση των εισροών (Πίνακας 4.3), το οποίο έχει ως αποτέλεσμα υψηλότερες τιμές αποτυπώματος άνθρακα, υδατικού αποτυπώματος και έντασης χρήσης ενέργειας. Μέσω αυτού υπογραμμίζεται η δυνατότητα των μικτών οπωρώνων ακρόδρυων για μείωση των εισροών με σκοπό τη βελτιωμένη περιβαλλοντική απόδοση. Ωστόσο, πρέπει να τονιστεί ότι η αυξημένη άρδευση οδήγησε σε υψηλότερη απόδοση. Δεδομένου ότι τα συστήματα άρδευσης λειτουργούν με τη χρήση ενέργειας (κυρίως καυσίμων), αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των τιμών EI και CF. Αντίστοιχα αποτελέσματα εξήχθησαν και στην περίπτωση των μικτών οπωρώνων πυρηνόκαρπων. Οι περισσότεροι από τους οπωρώνες ανήκουν στην ομάδα με τη χαμηλότερη παραγωγή, η οποία παρουσιάζει επίσης χαμηλή χρήση αρδευτικού νερού σε σχέση με τις άλλες δύο ομάδες. Η μέγιστη παραγωγή επίσης δεν προέκυψε από τη μεγιστοποίηση των εισροών. Αυτό είναι σημαντικό καθώς σε πολλές περιπτώσεις οι αγρότες προτιμούν να μεγιστοποιούν τις εισροές για να επιτύχουν τη μεγαλύτερη δυνατή παραγωγή και εισόδημα.

Υπογραμμίζεται επίσης ότι η αποθήκευση άνθρακα στα φυτά και το έδαφος δεν λήφθηκαν υπόψη στις σχετικές μετρήσεις για το αποτύπωμα άνθρακα. Είναι πιθανό οι εκπομπές στα αγροτεμάχια που μελετήθηκαν να είναι ακόμα χαμηλότερες, εάν ο αποθηκευμένος άνθρακας σε φυτική βιομάζα και στο έδαφος ληφθεί υπόψη (Ledo et al., 2020).

Η βαθμολογία (ενδεικτική της παροχής ΟΥ) η οποία λήφθηκε έπειτα από τη σύνδεση των παραμέτρων του πλέγματος NETK με τις ΟΥ για τους μικτούς οπωρώνες ήταν υψηλότερη στους μικτούς βιολογικούς οπωρώνες ακρόδρυων σε σχέση με τους συμβατικούς οπωρώνες. Τυπικά αυτό συνδέεται με χαμηλότερες τιμές κατανάλωσης ενέργειας, αποτυπώματος άνθρακα και υδατικού αποτυπώματος και συνεπάγεται μειωμένο αντίκτυπο στη σύνθεση και τη ρύθμιση της ατμόσφαιρας, στον κύκλο του νερού και στη διαθεσιμότητα του (Πίνακας 4.2). Μείωση της παραγωγής όμως από τους βιολογικούς οπωρώνες ακρόδρυων οδηγεί σε μειωμένη προσφορά τροφής. Αυτός είναι ο παράγοντας για τον οποίο οι μικτοί βιολογικοί οπωρώνες πυρηνόκαρπων βαθμολογήθηκαν χαμηλότερα για τις ΟΥ τους από

τους συμβατικούς οπωρώνες (Πίνακας 4.5). Η βαθμολόγηση ΟΥ συνάδει με τις κεντροειδείς τιμές των ομάδων και μάλιστα υπάρχουν παραδείγματα οπωρώνων (π.χ., NUB10; APRC5) όπου μπορεί να επιτευχθεί μεγαλύτερη παραγωγή χωρίς την αύξηση των χρησιμοποιούμενων πόρων.

Είναι χαρακτηριστικό ότι οι χαμηλές τιμές έντασης χρήσης ενέργειας, υδατικού αποτυπώματος και αποτυπώματος άνθρακα συνδέονται με μικρότερη παραγωγικότητα. Σε αυτή την περίπτωση, η μεγιστοποίηση της παραγωγής δεν πρέπει να είναι ο μοναδικός στόχος στα συστήματα μικτών οπωρώνων της Μεσογείου, καθώς η αύξηση της υποβιβάζει τις ΟΥ. Οι εντατικές γεωργικές πρακτικές, οι οποίες εφαρμόζονται με σκοπό την αύξηση της παραγωγής και οι περιβαλλοντικές αλλαγές οι οποίες συμβαίνουν στα νησιά της Μεσογείου, μπορούν να επηρεάσουν την δυνατότητα των τοπικών αγροοικοσυστημάτων να παρέχουν αγαθά και υπηρεσίες (Demestihis et al., 2017; Kefalas et al., 2019). Αντίθετα, οι βιολογικοί μικτοί οπωρώνες της Μεσογείου συμβάλλουν στην αποτροπή της υποβάθμισης του εδάφους, ειδικά σε ορεινές περιοχές όπου η οικο-γεωμορφολογία και οι συγκεκριμένες χρήσεις γης με μειωμένη βλάστηση έχουν ως αποτέλεσμα τη διάβρωση του εδάφους (Martínez-Murillo et al., 2020). Η προώθηση της μειωμένης ή μηδενικής κατεργασίας και η χρήση οργανικών λιπασμάτων μπορεί να ωφελήσει τόσο την ποιότητα όσο και τη γονιμότητα εδάφους (Morugán-Coronado et al., 2020).

Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας αποδεικνύουν ότι η αυξημένη εφαρμογή θρεπτικών ουσιών στο έδαφος είναι σημαντική για την παροχή τροφής, καθώς αυξάνει τη παραγωγικότητα. Όμως η υπερβολική χρήση χημικών λιπασμάτων (ιδίως N) έχει αρνητικό αντίκτυπο στην ποιότητα του νερού (Lassaletta et al., 2016) και στην ανακύκλωση θρεπτικών, καθώς και στη ρύθμιση του κλίματος και των αερίων του θερμοκηπίου (Bell et al., 2015; Lassaletta et al., 2016; Markhi et al., 2019; Thapa et al., 2016). Ένα σοβαρότερο ζήτημα είναι η απώλεια του N των λιπασμάτων λόγω μετατροπής τους σε N₂O και η επακόλουθη αύξηση του CF των προϊόντων. Σχετικά με τα χαρακτηριστικά των καλλιεργειών, το μέγεθος των οπωρώνων ήταν παρόμοιο σε πολλές περιπτώσεις, αλλά τα δέντρα ήταν συχνά μεγαλύτερης ηλικίας στα συμβατικά αγροτεμάχια έναντι των οργανικών. Είναι τυπική πρακτική για τους αγρότες στην Κύπρο και σε άλλες χώρες, να χρησιμοποιούν τις ίδιες ποσότητες εισροών (π.χ. λιπάσματα και αγροχημικά) όταν τα δέντρα φτάσουν σε φάση πλήρους παραγωγής, γεγονός το οποίο παρατηρήθηκε τόσο στους οργανικούς όσο και στους συμβατικούς οπωρώνες στα πλαίσια της παρούσας μελέτης.

Η διαφοροποίηση των καλλιεργειών είναι μια επιλογή για τη μείωση των αρνητικών επιδράσεων της γεωργίας και την ταυτόχρονη βελτίωση των ΟΥ από τα γεωργικά οικοσυστήματα (Alcon et al., 2020). Οι μικτοί οπωρώνες υποστηρίζουν τη διαφοροποίηση των καλλιεργειών. Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης συνάδουν με αυτά των Demestihis et al. (2017), πως οι οπωρώνες έχουν μεγάλες δυνατότητες παροχής ΟΥ και επίσης ότι οι πρακτικές γεωργικής διαχείρισης και τα γεωργικά συστήματα επηρεάζουν τις ΟΥ.

Το Μεσογειακό τοπίο επηρεάζεται από τη γεωργία, η οποία έχει δημιουργήσει ένα εύρος προτύπων αγροτεμαχίων και χρήσεων γης (Barbera & Cullotta, 2016; Lasanta et al., 2017; Manolaki et al., 2020). Αυτό κυμαίνεται από συγκεκριμένους τύπους, όπως είναι οι οπωρώνες φρούτων, τα αρδευόμενα ή ξηρικά καλλιεργούμενα χωράφια, τα συστήματα βόσκησης και τη φυσική βλάστηση, μέχρι πιο σύνθετα τοπία. Από διαχειριστική οπτική, η παρούσα μελέτη δίνει ένα πλαίσιο για την επιλογή γεωργικών πρακτικών οι οποίες θα συνεχίσουν να ωφελούν τη διατήρηση του τοπίου και τις ΟΥ.

4.5 Συμπεράσματα

Οι μικτοί οπωρώνες των νησιών την Μεσογείου και των παράκτιων περιοχών απειλούνται από την αστικοποίηση και την εγκατάλειψη. Συνεπώς, η παρούσα μελέτη παρέχει στοιχεία για τη συμβολή αυτών των συστημάτων στην παροχή οικοσυστημικών υπηρεσιών (ΟΥ) και στη σύνδεση τους με το πλέγμα NETK. Για τους σκοπούς της μελέτης επιλέχθηκαν 39 μικτοί οπωρώνες (βιολογικοί και συμβατικοί) και έγινε ανάλυση των γεωργικών πρακτικών διαχείρισης και προσδιορισμός της ποιότητας του εδάφους τους. Οι εισροές και οι γεωργικές πρακτικές διαχείρισης εκφράστηκαν σε EI, WF και CF και προσδιορίστηκε επίσης και η παραγωγικότητα. Αναπτύχθηκε ένα ενοποιητικό πλαίσιο σύνδεσης των παραμέτρων NETK με τις ΟΥ. Τα αποτελέσματα της μελέτης αναδεικνύουν τη σημαντικότητα της συνεκτίμησης των ΟΥ και του πλέγματος NETK, καθώς και της γεωργικής απόδοσης, κατά τις προσπάθειες για βιώσιμη γεωργία στις περιοχές της Μεσογείου. Παρόλα αυτά, τα ευρήματα αυτά θα πρέπει να υποστηριχθούν με λήψη περαιτέρω δεδομένων σχετικά με την παροχή ΟΥ, από αντίστοιχες γεωργικές εκμεταλλεύσεις. Κλείνοντας, τα αποτελέσματα της μελέτης είναι σημαντικά για τη διαχείριση μικτών οπωρώνων και την υιοθέτηση γεωργικών πρακτικών με δυνατότητα υποστήριξης ΟΥ.

Βιβλιογραφία

- Adhikari, K., & Hartemink, A. E. (2016). Linking soils to ecosystem services. *Geoderma*, 262, 101–111. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.08.009>.
- Albrecht, T. R., Crootof, A., & Scott, C. A. (2018). The Water-Energy-Food Nexus: A Systematic Review of Methods for Nexus Assessment. *Environ. Res. Lett*, 13, 043002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaa9c6>.
- Alcon, F., Marín-Miñano, C., Zabala, J. A., de-Miguel, M.-D., & Martínez-Paz, J. M. (2020). Valuing Diversification Benefits through Intercropping in Mediterranean Agroecosystems: A Choice Experiment Approach. *Ecological Economics*, 171, 106593. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106593>
- Altieri, M. (2004). *Biodiversity and pest management in agroecosystems* (2nd ed.). CRC Press: Boca Raton, FL, USA.
- Arthur, M., Liu, G., Hao, Y., Zhang, L., Liang, S., Asamoah, E. F., & Lombardi, G. V. (2019). Urban Food-Energy-Water Nexus Indicators: A Review. *Resources, Conservation and Recycling*, 151, 104481. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104481>.
- Balzan, M. V., Caruana, J., & Zammit, A. (2018). Assessing the Capacity and Flow of Ecosystem Services in Multifunctional Landscapes: Evidence of a Rural-Urban Gradient in a Mediterranean Small Island State. *Land Use Policy*, 75, 711–725. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.08.025>.
- Balzan, M. V., Sadula, R., & Scalvenzi, L. (2020). Assessing Ecosystem Services Supplied by Agroecosystems in Mediterranean Europe: A Literature Review. *Land*, 9, 245. <https://doi.org/10.3390/land9080245>.
- Barbera, G., & Cullotta, S. (2016). The Traditional Mediterranean Polycultural Landscape as Cultural Heritage: Its Origin and Historical Importance, Its AgroSilvoPastoral Complexity and the Necessity for Its Identification and Inventory. In M. Agnoletti & F. Emanuelli (Eds.), *Biocultural Diversity in Europe* (pp. 21–48). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/9783319263151_2
- Bàrberi, P., & Cascio, B. L. (2001). Long-Term Tillage and Crop Rotation Effects on Weed Seedbank Size and Composition. *Weed Research*, 41, 325–340. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3180.2001.00241.x>.
- Bell, A., Matthews, N., & Zhang, W. (2016). Opportunities for Improved Promotion of Ecosystem Services in Agriculture under the Water-Energy-Food Nexus. *J Environ Stud Sci*, 6, 183–191. <https://doi.org/10.1007/s13412-016-0366-9>.
- Bell, M. J., Hinton, N., Cloy, J. M., Topp, C. F. E., Rees, R. M., Cardenas, L., Scott, T.,

- Webster, C., Ashton, R. W., Whitmore, A. P., Williams, J. R., Balshaw, H., Paine, F., Goulding, K. W. T., & Chadwick, D. R. (2015). Nitrous oxide emissions from fertilised UK arable soils: Fluxes, emission factors and mitigation. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *212*, 134–147. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.07.003>
- Braat, L. C., & Groot, R. (2012). The Ecosystem Services Agenda: Bridging the Worlds of Natural Science and Economics, Conservation and Development, and Public and Private Policy. *Ecosystem Services*, *1*, 4–15. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.07.011>.
- Brunori, E., Maesano, M., Moresi, F. V., Matteucci, G., Biasi, R., & Scarascia Mugnozza, G. (2019). The Hidden Land Conservation Benefits of Olive-based (*Olea Europaea* L.) Landscapes: An Agroforestry Investigation in the Southern Mediterranean (Calabria Region, Italy). *Land Degrad Dev*, *31*, 80–815. <https://doi.org/10.1002/ldr.3484>.
- Camera, C., Zomeni, Z., Noller, J. S., Zissimos, A. M., Christoforou, I. C., & Bruggeman, A. (2017). A High Resolution Map of Soil Types and Physical Properties for Cyprus: A Digital Soil Mapping Optimization. *Geoderma*, *285*, 35–49. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.09.019>.
- Carpenter, S. R., DeFries, R., Dietz, T., Mooney, H. A., Polasky, S., Reid, W. V., & Scholes, R. J. (2006). Millennium Ecosystem Assessment: Research Needs. *Science*, *314*, 257–258. <https://doi.org/10.1126/science.1131946>.
- Castro-Díez, P., Vaz, A. S., Silva, J. S., Loo, M., Alonso, Á., Aponte, C., Bayón, Á., Bellingham, P. J., Chiuffo, M. C., & Di-Manno, N. (2019). Global Effects of Non-Native Tree Species on Multiple Ecosystem Services. *Biological Reviews*, *94*, 1477–1501. <https://doi.org/10.1111/brv.12511>.
- Chalhoub, M., Gabrielle, B., Tournebize, J., Chaumont, C., Maugis, P., Girardin, C., Montagne, D., Baveye, P. C., & Garnier, P. (2020). Measurement of Selected Soil Services in a Drained Agricultural Field: Methodology Development and Case Study in Saclay (France). *Ecosystem Services*, *42*, 101088. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101088>.
- Chen, Z., Sarkar, A., Hasan, A. K., Li, X., & Xia, X. (2021). Evaluation of Farmers' Ecological Cognition in Responses to Specialty Orchard Fruit Planting Behavior: Evidence in Shaanxi and Ningxia, China. *Agriculture*, *11*, 1056. <https://doi.org/10.3390/agriculture11111056>.
- Clune, S., Crossin, E., & Verghese, K. (2017). Systematic Review of Greenhouse Gas

- Emissions for Different Fresh Food Categories. *Journal of Cleaner Production*, *140*, 766–783. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.082>.
- Cui, F., Tang, H., Zhang, Q., Wang, B., & Dai, L. (2019). Integrating Ecosystem Services Supply and Demand into Optimized Management at Different Scales: A Case Study in Hulunbuir, China. *Ecosystem Services*, *39*, 100984. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.100984>.
- Dale, V. H., & Polasky, S. (2007). Measures of the Effects of Agricultural Practices on Ecosystem Services. *Ecological Economics*, *64*, 286–296. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.05.009>.
- Dane, J. H., Topp, G. C., & Campbell, G. S. (2002). *Methods of Soil Analysis. Part 4*. Soil Science Society of America: Madison, WI, USA.
- De Leijster, V., Santos, M. J., Wassen, M. J., Ramos-Font, M. E., Robles, A. B., Díaz, M., Staal, M., & Verweij, P. A. (2019). Agroecological Management Improves Ecosystem Services in Almond Orchards within One Year. *Ecosystem Services*, *38*, 100948. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.100948>.
- Demestihias, C., Plénet, D., Génard, M., Cortazar-Atauri, I., Launay, M., Ripoche, D., Beaudoin, N., Simon, S., Charreyron, M., & Raynal, C. (2018). Analyzing Ecosystem Services in Apple Orchards Using the STICS Model. *European Journal of Agronomy*, *94*, 108–119. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.01.009>.
- Demestihias, C., Plénet, D., Génard, M., Raynal, C., & Lescourret, F. (2017). Ecosystem Services in Orchards. A Review. *Agron. Sustain. Dev*, *37*, 12. <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0422-1>.
- Demestihias, C., Plénet, D., Génard, M., Raynal, C., & Lescourret, F. (2019). A Simulation Study of Synergies and Tradeoffs between Multiple Ecosystem Services in Apple Orchards. *Journal of Environmental Management*, *236*, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.01.073>.
- Duru, M., Therond, O., Martin, G., Martin-Clouaire, R., Magne, M.-A., Justes, E., Journet, E.-P., Aubertot, J.-N., Savary, S., & Bergez, J.-E. (2015). How to Implement Biodiversity-Based Agriculture to Enhance Ecosystem Services: A Review. *Agron. Sustain. Dev*, *35*, 1259–1281. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0306-1>.
- Eurostat. (n.d.). *Organic Crop Production by Crops (from 2012 Onwards)*—Eurostat. Retrieved October 30, 2020, from https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/org_croppro
- Fang, X., Zhao, L., Zhou, G., Huang, W., & Liu, J. (2015). Increased Litter Input Increases Litter Decomposition and Soil Respiration but Has Minor Effects on Soil Organic

- Carbon in Subtropical Forests. *Plant Soil*, 392, 139–153. <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2450-4>.
- Flammini, A., Pan, X., Tubiello, F. N., Qiu, S. Y., Souza, R., Quadrelli, R., Bracco, S., Benoit, P., & Sims, R. (2022). Emissions of Greenhouse Gases from Energy Use in Agriculture, Forestry and Fisheries: 1970–2019. *Earth System Science Data*, 14, 811–821. <https://doi.org/10.5194/essd-14-811-2022>.
- Flörke, M., Schneider, C., & McDonald, R. I. (2018). Water Competition between Cities and Agriculture Driven by Climate Change and Urban Growth. *Nat Sustain*, 1, 51–58. <https://doi.org/10.1038/s41893-017-0006-8>.
- Garcia, L., Celette, F., Gary, C., Ripoche, A., Valdés-Gómez, H., & Metay, A. (2018). Management of Service Crops for the Provision of Ecosystem Services in Vineyards: A Review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 251, 158–170. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.09.030>.
- Genitsariotis, M., Chlioumis, G., Tsarouhas, B., Tsatsarelis, K., & Sfakiotakis, E. (2000). Energy and Nutrient Inputs and Outputs of a Typical Olive Orchard in Northern Greece. *Acta Horticulturae*, 455–458. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2000.525.66>.
- Haines-Young, R., & Potschin, M. (2018). *Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure* (p. 53). Fabis Consulting. <https://cices.eu/content/uploads/sites/8/2018/01/Guidance-V51-01012018.pdf>
- Hiremath, R. B., Balachandra, P., Kumar, B., Bansode, S. S., & Murali, J. (2013). Indicator-Based Urban Sustainability—A Review. *Energy for Sustainable Development*, 17, 555–563. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2013.08.004>.
- Holifield Collins, C. D., Stone, J. J., & Cratic, L. (2015). Runoff and Sediment Yield Relationships with Soil Aggregate Stability for a State-and-Transition Model in Southeastern Arizona. *Journal of Arid Environments*, 117, 96–103. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2015.02.016>.
- Hugé, J., Rochette, A. J., Béthune, S., Parra Paitan, C.C, Vanderhaegen, K., Vandervelden, T., Passel, S., Vanhove, M. P. M., Verbist, B., & Verheyen, D. (2020). Ecosystem Services Assessment Tools for African Biosphere Reserves: A Review and User-Informed Classification. *Ecosystem Services*, 42, 101079. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101079>.
- Ilinova, A., Dmitrieva, D., & Kraslawski, A. (2021). Influence of COVID-19 Pandemic on Fertilizer Companies: The Role of Competitive Advantages. *Resources Policy*, 71,

102019. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102019>.
- Ioannidou, S. C., Litskas, V. D., Stavriniades, M. C., & Vogiatzakis, I. N. (2022). Linking Management Practices and Soil Properties to Ecosystem Services in Mediterranean Mixed Orchards. *Ecosystem Services*, 53, 101378. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101378>.
- Kaltsas, A. M., Mamolos, A. P., Tsatsarelis, C. A., Nanos, G. D., & Kalburtji, K. L. (2007). Energy Budget in Organic and Conventional Olive Groves. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 122, 243–251. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2007.01.017>.
- Kang, S., Doh, S., Lee, D., Lee, D., Jin, V. L., & Kimball, J. S. (2003). Topographic and Climatic Controls on Soil Respiration in Six Temperate Mixed-Hardwood Forest Slopes, Korea. *Global Change Biology*, 9, 1427–1437. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2003.00668.x>.
- Kefalas, G., Kalogirou, S., Poirazidis, K., & Lorilla, R. S. (2019). Landscape Transition in Mediterranean Islands: The Case of Ionian Islands, Greece 1985–2015. *Landscape and Urban Planning*, 191, 103641. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.103641>.
- Kehagias, M. C., Michos, M. C., Menexes, G. C., Mamolos, A. P., Tsatsarelis, C. A., Anagnostopoulos, C. D., & Kalburtji, K. L. (2015). Energy Equilibrium and Carbon Dioxide, Methane, and Nitrous Oxide-Emissions in Organic, Integrated and Conventional Apple Orchards Related to Natura 2000 Site. *Journal of Cleaner Production*, 91, 89–95. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.12.007>.
- Kragt, M. E., & Robertson, M. J. (2014). Quantifying Ecosystem Services Trade-Offs from Agricultural Pr. *Ecological Economics*, 102, 147–157. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.04.001>.
- Lasanta, T., Errea, M. P., & Nadal-Romero, E. (2017). Traditional Agrarian Landscape in the Mediterranean Mountains. A Regional and Local Factor Analysis in the Central Spanish Pyrenees. *Land Degradation & Development*, 28, 1626–1640. <https://doi.org/10.1002/ldr.2695>.
- Lassaletta, L., Billen, G., Garnier, J., Bouwman, L., Velazquez, E., Mueller, N. D., & Gerber, J. S. (2016). Nitrogen Use in the Global Food System: Past Trends and Future Trajectories of Agronomic Performance, Pollution, Trade, and Dietary Demand. *Environ. Res. Lett*, 11, 095007. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/9/095007>.
- Lassaletta, L., Billen, G., Grizzetti, B., Garnier, J., Leach, A. M., & Galloway, J. N. (2014). Food and Feed Trade as a Driver in the Global Nitrogen Cycle: 50-Year Trends. *Biogeochemistry*, 118, 225–241. <https://doi.org/10.1007/s10533-013-9923-4>.

- Ledo, A., Smith, P., Zerihun, A., Whitaker, J., Vicente-Vicente, J. L., Qin, Z., McNamara, N. P., Zinn, Y. L., Llorente, M., Liebig, M., Kuhnert, M., Dondini, M., Don, A., DiazPines, E., Datta, A., Bakka, H., Aguilera, E., & Hillier, J. (2020). Changes in Soil Organic Carbon under Perennial Crops. *Glob Change Biol*, *26*(7), 4158–4168. <https://doi.org/10.1111/gcb.15120>
- Lee, H., Lautenbach, S., Nieto, A. P. G., Bondeau, A., Cramer, W., & Geijzendorffer, I. R. (2019). The Impact of Conservation Farming Practices on Mediterranean Agro-Ecosystem Services Provisioning—a Meta-Analysis. *Reg Environ Change*, *19*, 2187–2202. <https://doi.org/10.1007/s10113-018-1447-y>.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.057>.
- Litskas, V. D., Tzortzakis, N., & Stavrinides, M. C. (2020). Determining the Carbon Footprint and Emission Hotspots for the Wine Produced in Cyprus. *Atmosphere*, *11*, 463. <https://doi.org/10.3390/atmos11050463>.
- Litskas, V., Chrysargyris, A., Stavrinides, M., & Tzortzakis, N. (2019). Water-Energy-Food Nexus: A Case Study on Medicinal and Aromatic Plants. *Journal of Cleaner Production*, *233*, 1334–1343. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.065>.
- Litskas, V., Mandoulaki, A., Vogiatzakis, I. N., Tzortzakis, N., & Stavrinides, M. (2020). Sustainable Viticulture: First Determination of the Environmental Footprint of Grapes. *Sustainability*, *12*, 8812. <https://doi.org/10.3390/su12218812>.
- Lourdes, K. T., Gibbins, C. N., Hamel, P., Sanusi, R., Azhar, B., & Lechner, A. M. (2021). A Review of Urban Ecosystem Services Research in Southeast Asia. *Land*, *10*(1), 40. <https://doi.org/10.3390/land10010040>.
- Lovell, S. T., Hayman, J., Hemmelgarn, H., Hunter, A. A., & Taylor, J. R. (2021). Community Orchards for Food Sovereignty, Human Health, and Climate Resilience: Indigenous Roots and Contemporary Applications. *Forests*, *12*, 1533. <https://doi.org/10.3390/f12111533>.
- Mancini, M. S., Galli, A., Coscieme, L., Niccolucci, V., Lin, D., Pulselli, F. M., Bastianoni, S., & Marchettini, N. (2018). Exploring Ecosystem Services Assessment through Ecological Footprint Accounting. *Ecosystem Services*, *30*, 228–235. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.01.010>.
- Manolaki, P., Zotos, S., & Vogiatzakis, I. N. (2020). An Integrated Ecological and Cultural Framework for Landscape Sensitivity Assessment in Cyprus. *Land Use Policy*, *92*,

104336. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104336>
- Markhi, A., Laftouhi, N., Grusson, Y., & Soulaïmani, A. (2019). Assessment of Potential Soil Erosion and Sediment Yield in the Semi-Arid N0fis Basin (High Atlas, Morocco) Using the SWAT Model. *Acta Geophys.*, *67*, 263–272. <https://doi.org/10.1007/s11600-019-00251-z>.
- Marques, F. J. M., Pedroso, V., Trindade, H., & Pereira, J. L. S. (2018). Impact of Vineyard Cover Cropping on Carbon Dioxide and Nitrous Oxide Emissions in Portugal. *Atmospheric Pollution Research*, *9*, 105–111. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2017.07.006>.
- Martínez-Murillo, J. F., Remond, R., & Ruiz-Sinoga, J. D. (2020). Validation of RUSLE K Factor Using Aggregate Stability in Contrasted Mediterranean Eco-Geomorphological Landscapes (Southern Spain). *Environmental Research*, *183*, 109160. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109160>.
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2011). The Green, Blue and Grey Water Footprint of Crops and Derived Crop Products. *Hydrology and Earth System Sciences*, *15*, 1577–1600. <https://doi.org/10.5194/hess-15-1577-2011>.
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2014). Water Footprint Benchmarks for Crop Production: A First Global Assessment. *Ecological Indicators*, *46*, 214–223. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.06.013>.
- Michos, M. C., Menexes, G. C., Mamolos, A. P., Tsatsarelis, C. A., Anagnostopoulos, C. D., Tsaboula, A. D., & Kalburtji, K. L. (2018). Energy Flow, Carbon and Water Footprints in Vineyards and Orchards to Determine Environmentally Favourable Sites in Accordance with Natura 2000 Perspective. *Journal of Cleaner Production*, *187*, 400–408. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.251>.
- Montanaro, G., Xiloyannis, C., Nuzzo, V., & Dichio, B. (2017). Orchard Management, Soil Organic Carbon and Ecosystem Services in Mediterranean Fruit Tree Crops. *Scientia Horticulturae*, *217*, 92–101. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.01.012>.
- Montoya, D., Haegeman, B., Gaba, S., Mazancourt, C., Bretagnolle, V., & Loreau, M. (2019). Trade-Offs in the Provisioning and Stability of Ecosystem Services in Agroecosystems. *Ecological Applications*, *29*, e01853. <https://doi.org/10.1002/eap.1853>.
- Morugán-Coronado, A., Linares, C., Gómez-López, M. D., Faz, Á., & Zornoza, R. (2020). The Impact of Intercropping, Tillage and Fertilizer Type on Soil and Crop Yield in Fruit Orchards under Mediterranean Conditions: A Meta-Analysis of Field Studies. *Agricultural Systems*, *178*, 102736. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102736>.

- Murray, I., Jover-Avellà, G., Fullana, O., & Tello, E. (2019). Biocultural Heritages in Mallorca: Explaining the Resilience of Peasant Landscapes within a Mediterranean Tourist Hotspot, 1870–2016. *Sustainability*, *11*, 1926. <https://doi.org/10.3390/su11071926>.
- Naidoo, D., Nhamo, L., Mpandeli, S., Sobratee, N., Senzanje, A., Liphadzi, S., Slotow, R., Jacobson, M., Modi, A. T., & Mabhaudhi, T. (2021). Operationalising the Water-Energy-Food Nexus through the Theory of Change. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *149*, 111416. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111416>.
- Nimmo, J. R., & Perkins, K. S. (2018). 22.6 Aggregate Stability and Size Distribution, in: *Methods of Soil Analysis* (pp. 317–328). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.4.c14>
- Pardoe, J., Conway, D., Namaganda, E., Vincent, K., Dougill, A. J., & Kashaigili, J. J. (2018). Climate Change and the Water–Energy–Food Nexus: Insights from Policy and Practice in Tanzania. *Climate Policy*, *18*, 863–877. <https://doi.org/10.1080/14693062.2017.1386082>.
- Pastor, A. V., Palazzo, A., Havlik, P., Biemans, H., Wada, Y., Obersteiner, M., Kabat, P., & Ludwig, F. (2019). The Global Nexus of Food–Trade–Water Sustaining Environmental Flows by 2050. *Nat Sustain*, *2*, 499–507. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0287-1>.
- Phillips, J. M., & Hayman, D. S. (1970). Improved Procedures for Clearing Roots and Staining Parasitic and Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi for Rapid Assessment of Infection. *Transactions of the British Mycological Society*, *55*, 158–118. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(70\)80110-3](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(70)80110-3).
- Raveh, A., & Avnimelech, Y. (1979). Total Nitrogen Analysis in Water, Soil and Plant Material with Persulphate Oxidation. *Water Research*, *13*, 911–912. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(79\)90227-6](https://doi.org/10.1016/0043-1354(79)90227-6).
- Rodríguez-de-Francisco, J. C., Duarte-Abadía, B., & Boelens, R. (2019). Payment for Ecosystem Services and the Water-Energy-Food Nexus: Securing Resource Flows for the Affluent? *Water*, *11*, 1143. <https://doi.org/10.3390/w11061143>.
- Rowell, M. J. (1995). Colorimetric Method for CO₂ Measurement in Soils. *Soil Biology and Biochemistry*, *27*, 373–375. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(94\)00218-P](https://doi.org/10.1016/0038-0717(94)00218-P).
- Sharma, S. (1997). Applied Multivariate Techniques. *Technometrics*, *39*(1), 101. <https://doi.org/10.2307/1270777>
- Statistical Service. (n.d.). *Agriculture - Key Figures*. Retrieved January 28, 2021, from https://www.mof.gov.cy/mof/cystat/statistics.nsf/agriculture_51main_en/agriculture

_51main_en?OpenForm&sub=1&sel=2

- Thapa, R., Chatterjee, A., Awale, R., McGranahan, D. A., & Daigh, A. (2016). Effect of Enhanced Efficiency Fertilizers on Nitrous Oxide Emissions and Crop Yields: A Meta-Analysis. *Soil Science Society of America Journal*, *80*, 1121–1134. <https://doi.org/10.2136/sssaj2016.06.0179>.
- Vallecillo, S., Notte, A., Ferrini, S., & Maes, J. (2019). How Ecosystem Services Are Changing: An Accounting Application at the EU Level. *Ecosystem Services*, *40*, 101044. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.101044>.
- van den Heuvel, L., Blicharska, M., Masia, S., Sušnik, J., & Teutschbein, C. (2020). Ecosystem Services in the Swedish Water-Energy-Food- Land-Climate Nexus: Anthropogenic Pressures and Physical Interactions. *Ecosystem Services*, *44*, 101141. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101141>.
- Vanham, D. (2016). Does the Water Footprint Concept Provide Relevant Information to Address the Water–Food–Energy–Ecosystem Nexus? *Ecosystem Services*, *17*, 298–307. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2015.08.003>.
- Vos, B. D., Lettens, S., Muys, B., & Deckers, J. A. (2007). Walkley–Black Analysis of Forest Soil Organic Carbon: Recovery, Limitations and Uncertainty. *Soil Use and Management*, *23*, 221–229. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2007.00084.x>.
- Ward, J. H. (1963). Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function. *Journal of the American Statistical Association*, *58*(301), 236–244. <https://doi.org/10.1080/01621459.1963.10500845>
- Weißhuhn, P., Reckling, M., Stachow, U., & Wiggering, H. (2017). Supporting Agricultural Ecosystem Services through the Integration of Perennial Polycultures into Crop Rotations. *Sustainability*, *9*, 2267. <https://doi.org/10.3390/su9122267>.
- Wu, X., Hu, S., & Mo, S. (2013). Carbon Footprint Model for Evaluating the Global Warming Impact of Food Transport Refrigeration Systems. *Journal of Cleaner Production*, *54*, 115–124. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.04.045>.
- Yang, C., Liu, N., & Zhang, Y. (2019). Soil Aggregates Regulate the Impact of Soil Bacterial and Fungal Communities on Soil Respiration. *Geoderma*, *337*, 444–452. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.10.002>.
- Zapata-Caldas, E., Calcagni, F., Baró, F., & Langemeyer, J. (2022). Integrating Ecosystem Services Supply and Demand into Optimized Management at Different Scales: A Case Study in Hulunbuir, China. *Ecosystem Services*, *56*, 101445. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2022.101445>.

Κεφάλαιο 5

Ο Ρόλος των Οπωρώνων στην Αποθήκευση Άνθρακα για τον Μετριασμό των Επιπτώσεων της Κλιματικής Αλλαγής

Περίληψη

Οι οπωρώνες αποτελούν σημαντικές χωρικές μονάδες κάλυψης γης, οι οποίοι λόγω της βιομάζας τους και της μακροχρόνιας παρουσίας τους στο τοπίο συμμετέχουν ουσιαστικά στον κύκλο του άνθρακα αποτελώντας στρατηγικά στοιχεία μετριασμού των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Δύο κρίσιμες λειτουργίες, η δέσμευση άνθρακα ως ετήσια μεταβολή ή ροή αποθεμάτων και η αποθήκευση άνθρακα στα ξυλώδη μέρη των δέντρων εξαρτώνται άμεσα από τη διαχείριση των αγροοικοσυστημάτων αυτών. Η ανάπτυξη των δέντρων σε οπωρώνες, εκφραζόμενη ως παραγωγή υπέργειας και υπόγειας βιομάζας, συμβάλλει στη δέσμευση και αποθήκευση του ατμοσφαιρικού άνθρακα, συνιστώντας μια σημαντική χερσαία δεξαμενή η οποία υποστηρίζει τη ρύθμιση του κλίματος και τις οικοσυστημικές υπηρεσίες (OY). Προς το σκοπό αυτό εφαρμόστηκαν με βάση τη διεθνή βιβλιογραφία έξι μοντέλα (M1-6) αλλομετρικών εξισώσεων για την εκτίμηση της βιομάζας των δέντρων και προτείνεται μια απλή αποτελεσματική και αποδοτική μέθοδος για την εκτίμηση της δέσμευσης CO₂ από μικτούς οπωρώνες χρησιμοποιώντας ευκόλως μετρήσιμα βιομετρικά χαρακτηριστικά των δέντρων. Μεγαλύτερη μέση ολική βιομάζα προβλέφθηκε από το μοντέλο M1 (31,89 τόνοι/εκτάριο), ενώ τέσσερα μοντέλα (M1, M2, M3 και M6) πρόβλεψαν βιομάζα μεγαλύτερη των 20 τόνων/εκτάριο. Καταγράφηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο συστημάτων βιολογικής και συμβατικής γεωργίας (*p*

<0.05), ενώ οι βιολογικοί και συμβατικοί οπωρώνες ίδιας παραγωγικής φάσης δεν διέφεραν μεταξύ τους. Διαφορές παρατηρήθηκαν μεταξύ των έξι μεθόδων κατά τον υπολογισμό δέσμευσης άνθρακα στη βιομάζα δέντρων. Τα αποτελέσματα κρίνονται σημαντικά για μελλοντικές εκτιμήσεις αποθεμάτων CO₂ αγροτικών τοπίων όπου συν-καλλιεργούνται διαφορετικά οπωροφόρα είδη, αλλά και ως εναλλακτική λύση μετρήσεων έναντι στις καταστροφικές μεθόδους εκτίμησης της βιομάζας.

5.1 Εισαγωγή

Για να εξασφαλιστεί δίκαιη δράση για το κλίμα με στόχο τον έλεγχο των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (ΑτΘ) την επιτάχυνση των λύσεων προς υγιέστερα οικοσυστήματα με μεγαλύτερη ανθεκτικότητα, είναι απαραίτητο να διερευνηθούν πιθανές δράσεις σε κάθε τομέα. Η υπερθέρμανση του πλανήτη λόγω των ατμοσφαιρικών εκπομπών ΑτΘ από διάφορες πηγές (CO₂, CH₄, N₂O, SO₂ και όζον) είναι μια συνεχής απειλή που επηρεάζει το περιβάλλον και τον άνθρωπο, με τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες να αποτελούν έναν από τους κύριους παράγοντες εκπομπών (Mehmood et al., 2020). Οι δραστηριότητες του γεωργικού τομέα το έτος 2019 αντιπροσώπευαν το 22% (13 GtCO₂-eq) των παγκόσμιων συνολικών καθαρών ανθρωπογενών εκπομπών ΑτΘ (IPCC, 2021). Τα τρία ΑτΘ σχετιζόμενα με την αγροδιατροφική αλυσίδα αφορούν το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το μεθάνιο (CH₄) και το οξείδιο του αζώτου (N₂O) (Balafoutis et al., 2017; Snyder et al., 2009). Η επισιτιστική ασφάλεια και η παγκόσμια περιβαλλοντική σταθερότητα κινδυνεύουν λόγω της ταχείας αύξησης του παγκόσμιου πληθυσμού (Raza et al., 2019), καθώς οι εντατικές γεωργικές δραστηριότητες για κάλυψη της αυξανόμενης ζήτησης τροφίμων επιφέρουν υψηλότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.

Η πρόκληση της επίτευξης βιώσιμης παραγωγής τροφίμων και άλλων γεωργικών προϊόντων χωρίς να διακυβεύεται η ανθεκτικότητα των οικοσυστημάτων (FAO, 2017; Gerten et al., 2020), λαμβάνει παγκοσμίως μεγάλη προσοχή λόγω των εντεινόμενων ανησυχιών σχετικά με την όξυνση των επιπτώσεων της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής στη γεωργική παραγωγή (IPCC, 2021). Οι παγκόσμιες μεταβολές στα επίπεδα των αερίων του θερμοκηπίου ενισχύουν την εμφάνιση ακραίων καιρικών φαινομένων και μεταβολών στις κλιματικές συνθήκες (καύσωνες, χαλάζι, ξηρασία ή/και πλημμύρες). Τα γεγονότα αυτά επιφέρουν δυσμενείς επιπτώσεις σε διάφορα επίπεδα των γεωργικών συστημάτων (Zhao et al., 2017). Χαρακτηριστικά, λόγω των αρνητικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής επηρεάζονται η ανάπτυξη των φυτών και ικανότητα τους για δέσμευση άνθρακα, η γονιμότητα του εδάφους, η μικροβιακή δραστηριότητα και ποικιλομορφία, οι μεταβολές

στην ανθεκτικότητα εχθρών και ασθενειών και η απόδοση καλλιεργειών κ.α. (Dhankher and Foyer, 2018; Rosenzweig et al., 2013; Zhao et al., 2017). Ως εκ τούτου, η διατήρηση της γεωργικής παραγωγικότητας και της επισιτιστικής ασφάλειας θα πρέπει να βρίσκεται στο επίκεντρο κάθε βιώσιμης στρατηγικής για το κλίμα, μέσω της μείωσης των παραγόμενων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (ΑτΘ) και παράλληλα της δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα (Montanaro et al., 2021).

Οι οπωρώνες καρποφόρων δέντρων θεωρούνται σημαντικός τύπος χρήσης γης παγκοσμίως, καλύπτοντας περίπου το 22% των αρδευόμενων γεωργικών εκτάσεων (Yasin et al., 2021). Ωστόσο, ο παγκόσμιος ρόλος της δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα από τα δέντρα στις γεωργικές εκτάσεις και η λειτουργία τους ως δυνητική δεξαμενή διοξειδίου του άνθρακα είναι μέχρι στιγμής ελάχιστα κατανοητός και ενδέχεται να έχει υποτιμηθεί σημαντικά (Plénet et al., 2022; Zomer et al., 2016). Η δέσμευση άνθρακα μπορεί να οριστεί ως οποιαδήποτε συνεχής αύξηση της αποθήκευσης του είτε στο έδαφος, είτε στα φυτικά υλικά, είτε στη θάλασσα (Hutchinson et al., 2007), μέσω διεργασιών που τελικά αυξάνουν την περιεκτικότητα σε άνθρακα οποιασδήποτε άλλη δεξαμενή άνθρακα εκτός της ατμόσφαιρας. Οι οπωρώνες καρποφόρων δένδρων κατέχουν σημαντικό ρόλο στη διαδικασία δέσμευσης άνθρακα, καθώς το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) από την ατμόσφαιρα προσλαμβάνεται μέσω της φωτοσύνθεσης και αποθηκεύεται στη συνέχεια ως άνθρακας στη βιομάζα (κορμοί δένδρων, κλαδιά, φύλλωμα και ρίζες) και στο έδαφος (IPCC, 2018; Sharma et al., 2021).

Η δυνατότητα μείωσης ή/και ελέγχου των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και του ισοζυγίου άνθρακα μέσω γεωργικών πρακτικών (ΓΠ) που εφαρμόζονται σε διάφορα συστήματα, όπως βιολογική, συντηρητική, ολοκληρωμένη, αναγεννητική ή/και γεωργία ακριβείας έχει εξεταστεί σε αρκετές μελέτες (Balafoutis et al., 2017; Du et al., 2022; Gomiero et al., 2011; Lal, 2015). Το σύνολο των στοχευμένων ΓΠ που εφαρμόζονται στα προαναφερθέντα συστήματα, υπό την ομπρέλα της «γεωργίας άνθρακα» οδηγούν σε μετριασμό και αντιστάθμιση των αρνητικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στη γεωργική βιωσιμότητα (Malhi et al., 2021). Συγκεκριμένα, ορισμένες πρακτικές διαχείρισης των γεωργικών εκμεταλλεύσεων (π.χ. οργανική λίπανση, ορθολογιστική διαχείριση της άρδευσης, χαμηλή κατεργασία του εδάφους, εδαφοκάλυψη, φύτευση δένδρων) συμβάλλουν τόσο στη μείωση των εκπομπών όσο και στην αποφυγή εκπομπών και ενισχύουν την απομάκρυνση του άνθρακα μέσω της δέσμευσης και της μόνιμης αποθήκευσής του στη βιομάζα των δέντρων και στα εδάφη (Pardo et al., 2017). Οι καλλιεργειες μικτών οπωρώνων και η περαιτέρω υιοθέτηση καλλιεργητικών πρακτικών που συντελούν στην αποθήκευση

άνθρακα θα πρέπει να αντιμετωπίζονται ως προτεραιότητα στις γεωργικές προσπάθειες μετριασμού του κλίματος, καθώς μπορούν να αυξήσουν τη δέσμευση άνθρακα, να αντισταθμίσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και να μειώσουν το παραγόμενο αποτύπωμα άνθρακα (Liu et al., 2016; Toensmeier, 2017) προσφέροντας επιπρόσθετα οφέλη με τη μορφή οικοσυστημικών υπηρεσιών.

Η δέσμευση και αποθήκευση άνθρακα σε πολυετή βιομάζα δέντρων μπορεί να θεωρηθεί μια βιώσιμη, βασισμένη στη φύση και οικονομικά αποδοτική γεωργική λύση για τον μετριασμό των επιπτώσεων των εκπομπών ΑτΘ (Asbjornsen et al., 2013; Griscom et al., 2017; Quiñones et al., 2013). Η βιομάζα των οπωρώνων μπορεί να συμβάλει σημαντικά ως άλλη χερσαία δεξαμενή άνθρακα για την αποθήκευση του ατμοσφαιρικού CO₂, ενόσω οι ρυθμοί ανάπτυξης της παγκόσμιας οικονομίας και του πληθυσμού αυξάνονται (Lal, 2015). Καθώς η ξυλώδης βλάστηση μπορεί να δεσμεύσει το ατμοσφαιρικό CO₂ μέσω της φωτοσύνθεσης, ο οργανικός άνθρακας του εδάφους και η βιομάζα των δέντρων αποτελούν σχετικές δεξαμενές άνθρακα στους οπωρώνες, οι οποίες δύνανται να παρακολουθούνται και να καταγράφονται (Mehmood et al., 2020).

Οι δενδρώδεις καλλιέργειες συμμετέχουν σε μια πολυετή συνεχόμενη περίοδο ανταλλαγής CO₂ με το περιβάλλον (Rossi et al., 2021). Συνεπώς, παρουσιάζουν προοπτικές μακροπρόθεσμης αποθήκευσης (20-30 ετών) άνθρακα στο έδαφος και στα ξυλώδη μέρη, ιδίως μέσω της υιοθέτησης από τους γεωργούς πρακτικών που μεγιστοποιούν τη δέσμευση του CO₂, συμβάλλοντας ουσιαστικά στο δυναμικό δέσμευσης άνθρακα (Bithas & Latinopoulos, 2021). Εκτός από τον μακρύ κύκλο ζωής τους, άλλα σημαντικά δομικά χαρακτηριστικά, όπως τα μόνιμα όργανα (κορμός, κλαδιά και ρίζες) και οι υψηλές αποδόσεις, τους επιτρέπουν να συσσωρεύουν σημαντική ποσότητα άνθρακα (Henry et al., 2020, Scandellari et al., 2016; Sharma et al., 2021). Ως εκ τούτου, ορισμένες χρήσεις γης, όπως τα αγροοικοσυστήματα οπωρώνων, είναι σε θέση να συμβάλουν στον κύκλο του άνθρακα των χερσαίων οικοσυστημάτων λόγω της δέσμευσης που προσφέρουν (Wu et al., 2012) και θα μπορούσαν δυνητικά να αποτελέσουν μεγάλο σύμμαχο κατά της κλιμακούμενης κλιματικής κρίσης.

Καθώς τα δέντρα θεωρούνται δεξαμενή άνθρακα των χερσαίων οικοσυστημάτων, επιτελώντας σημαντικό ρόλο στον παγκόσμιο κύκλο του άνθρακα (Stephenson et al., 2014; Zomer et al., 2016), η ποσότητα άνθρακα που δεσμεύουν εξαρτάται σημαντικά από την παραγόμενη βιομάζα τους. Ένας πιθανός τρόπος για να γίνει κατανοητή η έκταση των

οφελών της απομάκρυνσης ατμοσφαιρικού CO₂ που προκύπτει από τη δέσμευση άνθρακα μέσω των οπωροφόρων δέντρων, είναι η εκτίμηση της υπέργειας και της υπόγειας βιομάζας (ολική βιομάζα). Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC; Intergovernmental Panel on Climate Change), αναγνωρίζει ότι στα οικοσυστήματα οπωροφόρων δένδρων, ο οργανικός άνθρακας του εδάφους και η βιομάζα των δένδρων αποτελούν σχετικές δεξαμενές άνθρακα (IPCC, 2008). Έτσι, οι οπωρώνες δύνανται να παρακολουθούνται και να καταγράφονται στις ετήσιες εθνικές εκθέσεις για τα αέρια του θερμοκηπίου και θα πρέπει να λαμβάνονται αξιόπιστες εκτιμήσεις με βάση τη συγκέντρωση μετρήσεων για συγκεκριμένες τοποθεσίες (IPCC, 2019; Mehmood et al., 2020). Καθώς η παραγωγή βιομάζας δέντρων και η ικανότητα τους για δέσμευση CO₂ παρουσιάζει διακυμάνσεις και επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες (είδος δέντρου, εδαφικές και περιβαλλοντικές συνθήκες, πρακτικές διαχείρισης), οι επιτόπιες εκτιμήσεις κρίνονται σημαντικές.

Η σημασία της δεξαμενής άνθρακα στη βιομάζα δασικών δέντρων αναγνωρίζεται ευρέως στη διεθνή βιβλιογραφία, όπου μεγάλο πλήθος ερευνών αποτυπώνει πιθανούς τρόπους είτε άμεσης ή/και πιο γενικευμένης εκτίμησης της βιομάζας (Alvarez et al., 2012; Chave et al., 2005; Chave et al., 2014; McEwan et al., 2011). Το δυναμικό των πολυετών δενδρωδών συστημάτων στον μετριασμό του κλίματος δεν έχει αναγνωριστεί πλήρως και η βιομάζα τους που μπορεί να αποθηκεύει σημαντικές ποσότητες άνθρακα έχει λιγότερο μελετηθεί (Plassmann & Norton, 2017). Η διερεύνηση του ρόλου των οπωροφόρων δέντρων στη μείωση του ατμοσφαιρικού CO₂, συνήθως περιλαμβάνει την αξιολόγηση της συμβολής της βιομάζας μονοκαλλιεργειών (Johnson & Gerhold, 2001; Ledo et al., 2018; Miranda et al., 2017; Panzacchi et al., 2012; Wu et al., 2012). Ο ρόλος των μικτών οπωρώνων φυλλοβόλων, των οποίων γενετική ποικιλομορφία ενισχύει την ικανότητα διατήρησης των επίπεδων βιομάζας σε αγροτικά τοπία, βελτιώνοντας την ανθεκτικότητα και την αντοχή των αγροοικοσυστημάτων στην περιβαλλοντική μεταβλητότητα (Hajjar et al., 2008) δεν έχει διερευνηθεί επαρκώς.

Ο ρόλος των μικτών οπωρώνων φυλλοβόλων δέντρων (γένη: *Prunus*, *Malus*, *Juglans*, *Punica* και *Ficus*) στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και η ικανότητα τους να αποθηκεύουν άνθρακα μέσω της βιομάζας τους αποτελεί αντικείμενο της παρούσας μελέτης. Μεταξύ διαφόρων μεθόδων που έχουν αναπτυχθεί για τον προσδιορισμό της βιομάζας δέντρων, για την παρούσα μελέτη επιλέχθηκαν γενικευμένες (generalized) και εξειδικευμένες με βάση το είδος και την τοποθεσία (species and site specific) αλλομετρικές

εξισώσεις (μοντέλα), προκειμένου να διερευνηθεί η καταλληλότητα των διαφόρων μεθόδων για ποσοτικοποίηση της δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα και σε μικτούς οπωρώνες στην Κύπρο. Η εφαρμογή αλλομετρικών εξισώσεων θεωρείται θεμελιώδες και οικονομικά αποδοτικό εργαλείο για τη μη καταστροφική εκτίμηση της βιομάζας στη ξυλώδη βλάστηση, η οποία εκφράζεται ως συνάρτηση ευκόλως μετρήσιμων παραμέτρων των δέντρων (διάμετρος, ύψος, πυκνότητα ξύλου ή/και συνδυασμός αυτών) (Brown, 2002; Chave et al., 2005; Kuyah et al., 2012; Miranda et al., 2017). Αντίθετα, οι καταστροφικές μέθοδοι εκτίμησης της βιομάζας των δέντρων, εκτός από την καταστροφή των δέντρων απαιτούν μεγάλη επένδυση σε χρόνο και χρήμα (Quiñones et al., 2013).

Δέκα είδη φυλλοβόλων οπωροφόρων (*Ficus carica*; *Juglans regia*; *Malus domestica*; *Pistacia vera*; *Prunus armeniaca*; *Prunus avium*; *Prunus domestica*; *Prunus dulcis*; *Prunus persica*; *Punica granatum*) που καλλιεργούνται στην Κύπρο και υποστηρίζουν την παροχή τροφής και άλλες ΟΥ σε μεγάλο βαθμό (Ioannidou et al., 2022), αποτελούν το αντικείμενο της παρούσας μελέτης. Η μελέτη διερευνά το δυναμικό παραγωγής της ολικής βιομάζας (OB) δένδρων των δέκα καλλιεργουμένων ειδών, εκφραζόμενη ως το άθροισμα της υπέργειας (above ground biomass; AGB) και υπόγειας (below ground biomass; BGB) βιομάζας και την ικανότητα τους για δέσμευση και αποθήκευση άνθρακα σε οπωρώνες της Κύπρου. Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η ποσοτικοποίηση της βιομάζας και της δέσμευσης άνθρακα για πρώτη φορά σε μικτούς οπωρώνες στην Κύπρο με τη χρήση και σύγκριση έξι αλλομετρικών εξισώσεων.

Οι επιμέρους στόχοι είναι:

- 1) Η ποσοτικοποίηση της ολικής βιομάζας των δένδρων δέκα φυλλοβόλων οπωροφόρων ειδών σε οπωρώνες στην Κύπρο
- 2) Η σύγκριση της ικανότητας δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα σε βιολογικούς και συμβατικούς οπωρώνες στην Κύπρο
- 3) Η σύγκριση έξι προσεγγιστικών μεθόδων ποσοτικοποίησης της βιομάζας και της δέσμευσης άνθρακα με γενικευμένες (generalized) και ειδικευμένες με βάση το είδος ή/και την τοποθεσία (species and site specific) αλλομετρικές εξισώσεις

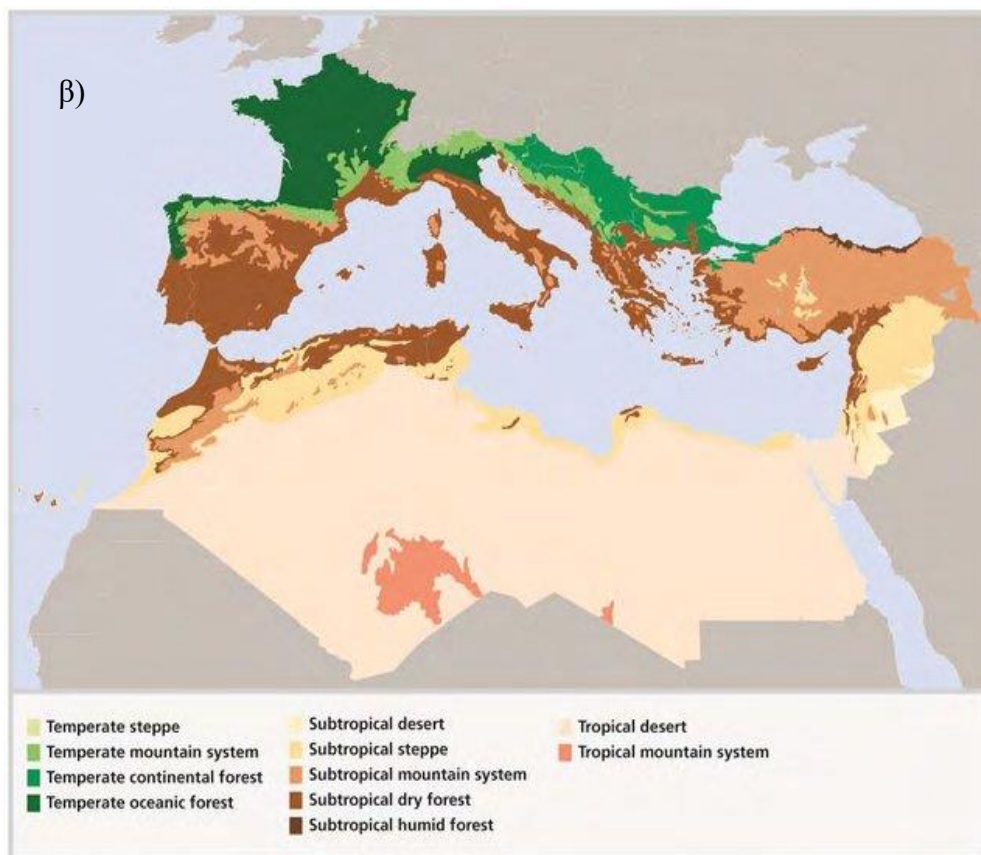
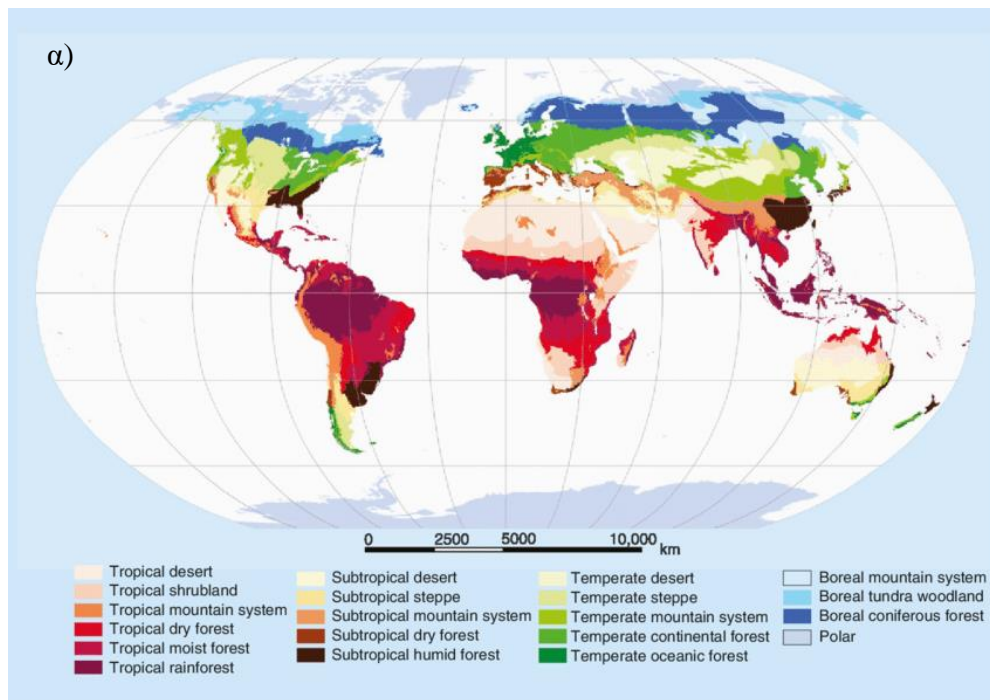
5.2 Υλικά και μέθοδοι

5.2.1 Περιοχή μελέτης και επιλογή οπωρώνων

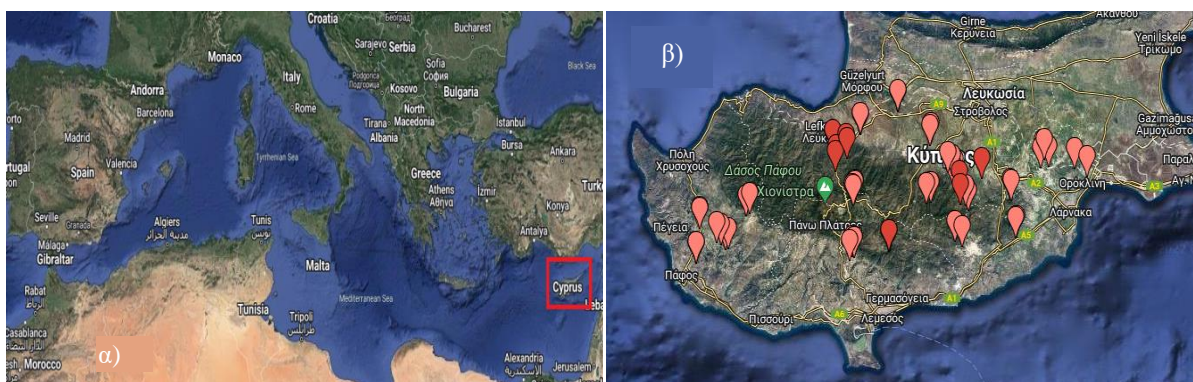
Σαράντα εννέα μικτοί οπωρώνες, 25 συμβατικοί και 24 βιολογικοί, οι οποίοι βρίσκονται σε ορεινές και ημιορεινές περιοχές της Κύπρου επιλέχθηκαν για τη μελέτη αυτή. Το κλίμα της Κύπρου θεωρείται μεσογειακού, ημίξηρου τύπου σύμφωνα με την κλιματική ταξινόμηση Köppen (Peel et al., 2007), ενώ παράλληλα και για σκοπούς επιλογής γενικευμένων αλλομετρικών εξισώσεων σύμφωνα με τον FAO (2012) ανήκει επίσης στην παγκόσμια οικολογική ζώνη υποτροπικών ξηρών δασών (Σχήμα 5.1). Οι πολύ ήπιοι βροχεροί χειμώνες και τα ζεστά έως θερμά ξηρά καλοκαίρια χωρίζονται με ταχείες αλλαγές στις καιρικές συνθήκες με σύντομες φθινοπωρινές και εαρινές περιόδους. Στη μελέτη συμπεριλήφθηκαν οι πιο αντιπροσωπευτικές εδαφικές συνθήκες, καθώς οι οπωρώνες βρίσκονται κυρίως σε ορεινές και ημιορεινές περιοχές του Τροόδου, ενώ ορισμένοι οπωρώνες βρίσκονται σε πεδινές περιοχές (Σχήμα 5.2β).

Το συνολικό μέσο μέγεθος της έκτασης που καταγράφηκε στους οπωρώνες ήταν 0,58 εκτάρια, ενώ το ελάχιστο και το μέγιστο μέγεθος ήταν 0,10 και 1,67 εκτάρια αντίστοιχα. Ο κατακερματισμός της γεωργικής γης αποτελεί σύνηθες φαινόμενο στην Κύπρο όπου παρουσιάζονται μικρού μεγέθους με ακανόνιστο σχήμα αγροτεμάχια (Demetriou et al., 2013; Stylianou et al., 2020). Οι περισσότεροι οπωρώνες βρίσκονταν σε πλήρη παραγωγή με μέση ηλικία δέντρων 13 έτη, ενώ οι ηλικίες δέντρων που καταγράφηκαν κυμαίνονταν από 4 έως 40 έτη, καλύπτοντας όλα τα στάδια ανάπτυξης (νεαρά, παραγωγικά και ώριμα). Περαιτέρω πληροφορίες και χαρακτηριστικά για τους οπωρώνες παρουσιάζονται στον Πίνακα Σ5.1 (Παραρτήμα Γ).

Στους 49 μικτούς οπωρώνες της μελέτης καλλιεργούνται περισσότερα από ένα καλλιεργούμενα φυλλοβόλα είδη (συνήθως 2-3) γεγονός το οποίο θεωρείται τυπικό για τη δενδροκομία στην Κύπρο. Σύμφωνα με την παρουσία του κυρίαρχου είδους δέντρων που καλλιεργείται σε κάθε οπωρώνα (γένος/είδος στο οποίο ανήκει η κυρίαρχη καλλιέργεια), σχηματίστηκαν δέκα ομάδες οπωρώνων, όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα Σ5.2 (Παράρτημα Γ). Η ομαδοποίηση των οπωρώνων κρίθηκε απαραίτητη για την εφαρμογή παραμέτρων σχετιζόμενων με το είδος σε κάθε ομάδα φυτών, προκειμένου να εκτιμηθεί η ολική βιομάζα των δέντρων και η ικανότητα δέσμευσης άνθρακα σε κάθε ένα από αυτά.



Σχήμα 5.1: Οικολογικές ζώνες κατά FAO (2012): α) παγκόσμια, β) Μεσόγειος. Οι παγκόσμιες οικολογικές ζώνες του FAO αναγνωρίζουν πέντε κύριους τομείς τροπικός (tropical), υποτροπικός (subtropical), εύκρατος (temperate), βόρειος (boreal) και πολικός (polar) και 20 οικολογικές ζώνες.



Σχήμα 5.2: Περιοχή μελέτης: α) η γεωγραφική θέση της Κύπρου στη Μεσόγειο, β) οι θέσεις των υπό μελέτη οπωρώνων στην Κύπρο

5.2.2 Συλλογή δεδομένων

Για τον προσδιορισμό της βιομάζας των δέντρων και της ικανότητας τους να δεσμεύουν άνθρακα, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις πεδίου σε 49 οπωρώνες για συγκεκριμένα χαρακτηριστικά των δέντρων. Ειδικότερα, λήφθηκαν τα ακόλουθα δεδομένα: ηλικία των δέντρων (σε έτη), στηθαία περιφέρεια κορμού (Girth at Breast Height; GBH) (σε cm) και ύψος του δέντρου (σε m) (μέσος όρος δεδομένων πέντε δέντρων). Στη συνέχεια από τις ανωτέρω μετρήσεις υπολογίστηκαν πρόσθετες παράμετροι που απαιτούνταν για τους σκοπούς της μελέτης, όπως η ακτίνα του δέντρου (radius; r) (σε cm), η στηθαία διάμετρος του κορμού (Diameter at Breast Height; DBH) (σε cm) και η επιφάνεια της βάσης (Basal Area; BA) (σε cm^2). Καταγράφηκαν επίσης δεδομένα όπως η τοποθεσία των οπωρώνων (συντεταγμένες) και το μέγεθος των αγροτεμαχίων (σε εκτάρια).

Τα απαιτούμενα δεδομένα σχετικά με την πυκνότητα του ξύλου (ρ) (σε g/cm^3) για τα είδη *Malus domestica*, *Prunus persica*, *Prunus domestica*, *Prunus avium*, *Prunus armeniaca*, *Punica granatum* και *Juglans regia*, ελήφθησαν από τη βάση δεδομένων των Zanne et al. (2009). Για τα είδη *Ficus carica* και *Pistacia vera* για τα οποία δεν υπήρχαν διαθέσιμα στοιχεία πυκνότητας ξύλου, ο μέσος όρος εξήχθη από τα στοιχεία της βάσης δεδομένων των Zanne et al. (2009) που αφορούσαν άλλα είδη των γενών *Ficus* και *Pistacia* αντίστοιχα. Συγκεκριμένα η πυκνότητα ξύλου για το είδος *Ficus carica* υπολογίστηκε ως ο μέσος όρος των ειδών *Ficus anthelmintica*, *Ficus citrifolia* και *Ficus eugenioides*. Παρομοίως για το είδος *Pistacia vera* η πυκνότητα ξύλου υπολογίστηκε ως ο μέσος όρος των ειδών *Pistacia chinensis* και *Pistacia integerrima*. Για το είδος *Prunus dulcis*, όπου επίσης δεν εντοπίστηκαν δεδομένα στη προαναφερθείσα βάση η πυκνότητα ξύλου υπολογίστηκε ως ο

μέσος όρος από τα αποτελέσματα των σχετικών εργασιών των Fathi et al. (2022) και Nabi et al. (2017).

5.2.3 Εκτίμηση υπέργεια βιομάζας δέντρων

Για τον υπολογισμό της υπέργεια βιομάζας ανά είδος δέντρων έγινε χρήση αλλομετρικών εξισώσεων, η οποία βασίστηκε σε βιβλιογραφική ανασκόπηση για εξειδικευμένες και γενικευμένες αλλομετρικές εξισώσεις των δέκα καλλιεργούμενων ειδών της μελέτης. Το ακόλουθο ερώτημα τέθηκε στη βάση Scopus προς αναζήτηση αλλομετρικών εξισώσεων στην Ευρώπη ή/και στη Μεσόγειο και το οποίο συμπεριελάμβανε τα γένη και τις κοινές ονομασίες για τα υπό μελέτη οπωροφόρα είδη: **"allometric equations" AND ("Europe" OR "Mediterranean") AND ("prunus" OR "malus" OR "pistachia" OR "juglans" OR "figus carica" OR "punica" OR "apples" OR "peach" OR "almonds" OR "plums" OR "cherries" OR "apricots" OR "figs" OR "walnuts" OR "pistachios" OR "pomegranates") AND (LIMIT-TO (SUBJAREA, "AGRI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA, "ENVI"))**. Από την αναζήτηση προέκυψαν 177 μελέτες και στη συνέχεια τα αποτελέσματα περιορίστηκαν περαιτέρω στις χώρες της στενότερης λεκάνης της Μεσογείου (Γαλλία, Ισπανία, Ιταλία, Πορτογαλία, Ελλάδα, Αίγυπτος, Ισραήλ) όπου προέκυψαν 45 σχετικές μελέτες.

Η ανασκόπηση έδειξε περιορισμένη παρουσία εξειδικευμένων αλλομετρικών εξισώσεων ανά είδος και γεωγραφική περιοχή (species and site specific) για τα γεωργικά οπωροφόρα είδη σε μελέτες στην περιοχή της Μεσογείου. Ειδικότερα, τα αποτελέσματα έδειξαν εξειδικευμένες εξισώσεις στα καλλιεργούμενα είδη *Malus domestica* (μηλιά) και *Prunus persica* (ροδακινιά). Ωστόσο, σχετικά με το είδος *Prunus persica*, οι εξισώσεις αφορούσαν ξεχωριστά φυτικά μέρη (κορμός, κλαδιά, κλαδίσκοι κ.α.) υπολογισμού της βιομάζας και όχι συνολική υπέργεια βιομάζα. Επιπλέον, διαφάνηκε ότι οι αλλομετρικές εξισώσεις για την εκτίμηση της βιομάζας των δέντρων είναι ευρέως χρησιμοποιούμενες μέθοδοι στα δασικά είδη, σε αντίθεση με τα γεωργικά είδη. Τα παραπάνω αποτελέσματα ελήφθησαν υπόψη και στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν οι σημαντικότερες εργασίες στη βιβλιογραφία για τον εντοπισμό περαιτέρω πληροφοριών με βάση την παρατιθέμενη βιβλιογραφία τους, ακολουθώντας τη μέθοδο της χιονοστιβάδας (Daniel, 2012; Yadav et al., 2019). Η επιλογή αλλομετρικών εξισώσεων από άλλες χώρες κρίθηκε απαραίτητη λόγω της απουσίας οποιασδήποτε εξειδικευμένης ή/και γενικευμένης αλλομετρικής εξίσωσης για τα δέκα υπό μελέτη οπωροφόρα είδη στην Κύπρο.

Επιλέχθηκαν έξι αλλομετρικές εξισώσεις (μέθοδοι M1-6), για τον υπολογισμό της παραμέτρου AGB σε οπωρώνες φυλλοβόλων δένδρων στην Κύπρο (Πίνακας 5.1). Τα κριτήρια επιλογής των εξισώσεων αφορούσαν στην εγγύτητα των δειγματοληπτικών δέντρων με την μελέτη ως προς: το καλλιεργούμενο είδος (π.χ. μηλιά, ροδακινιά, αμυγδαλιά), τις υπολογιζόμενες διαστάσεις (βιομετρικά χαρακτηριστικά δέντρων) που χρησιμοποιεί κάθε εξίσωση (στηθαία διάμετρος κορμού - DBH και ύψος δέντρου - H), το εύρος των διαστάσεων DBH και H, καθώς και τη γεωγραφική τους κατανομή (Μεσόγειος-Ευρώπη - παγκόσμια).

Συγκεκριμένα, επιλέχθηκε η μέθοδος M1 των Ledo et al. (2018) με βάση την εγγύτητα της στο καλλιεργούμενο είδος *Malus* sp και τη γεωγραφική της κατανομή (Μεσόγειος). Η μέθοδος M1 αποτέλεσε τη βασική προσεγγιστική μέθοδο υπολογισμού βιομάζας για τη μελέτη (proxy method) με την οποία συγκρίθηκαν οι υπόλοιπες μέθοδοι, καθώς παρουσίασε τη μεγαλύτερη εγγύτητα στις συνθήκες της παρούσας μελέτης και τις εξεταζόμενες παραμέτρους. Η μέθοδος M2 των Johnson και Gerhold (2001) επιλέχθηκε με βάση την εγγύτητα της στο καλλιεργούμενο είδος *Malus* sp και για λόγους σύγκρισης με την μέθοδο M1, καθώς διαφέρουν ως προς τη γεωγραφική τους κατανομή (Αμερική και Μεσόγειος αντίστοιχα). Η μέθοδος M3 των Annighöfer et al. (2012) επιλέχθηκε με βάση την εγγύτητα της στο καλλιεργούμενο γένος *Prunus* και τη γεωγραφική της κατανομή (Μεσόγειος).

Περαιτέρω επιλέχθηκαν οι γενικευμένες δασοκομικές μέθοδοι M4 και M5 των Chave et al., (2014) και Brown (2002) αντίστοιχα και η γενικευμένη μέθοδος σε αγροτικά τοπία των Kuyah et al. (2012) για εφαρμογή τους στα γεωργικά είδη της μελέτης. Οι δασοκομικές μέθοδοι M4 και M5 επιλέχθηκαν καθώς έχουν χρησιμοποιηθεί επανειλημμένα σε έρευνες και στη βιβλιογραφία (περισσότερες από 2000 και 3000 αναφορές αντίστοιχα σύμφωνα με το Google Scholar). Η μέθοδος M4 αφορά σε εξίσωση παλινδρόμησης της υπέργεια βιομάζας των δέντρων (AGB) ως προς το γινόμενο $\rho \cdot DBH^2 \cdot H$, όπου σύμφωνα με τους Chave et al., (2014) τα αποτελέσματα της οδηγούν σε ένα μοντέλο στο οποίο οι αλλομετρικές AGB είναι συνεπείς σε διαφορετικές τοποθεσίες και μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν δεν υπάρχουν τοπικές αλλομετρικές εξισώσεις. Η μέθοδος M5 επιλέχθηκε καθώς αφορά μια γενικευμένη εξίσωση παλινδρόμησης της βιομάζας για φυλλοβόλα δάση πολλών ειδών, για θερμές και ξηρές περιοχές και κατά συνέπεια παρουσιάζει εγγύτητα ως προς το κλίμα και τα είδη (φυλλοβόλα) της παρούσας μελέτης. Τέλος, η γενικευμένη μέθοδος M6 επιλέχθηκε καθώς υπολογίζει την υπέργεια βιομάζα σε γεωργικά τοπία και λαμβάνει υπόψη την ετερογένεια της ποικιλότητας των δέντρων που επηρεάζονται από τη διαχείριση, σε

αντίθεση με τις γενικές και ειδικές για κάθε είδος αλλομετρικές για περιοχές όπως τα δάση (Kuyah et al., 2012).

Πίνακας 5.1: Επιλεγμένες αλλομετρικές εξισώσεις υπολογισμού βιομάζας για τον σκοπό της μελέτης. [M1-M6: αυθαίρετη κωδικοποίηση της αλλομετρικής εξίσωσης για σκοπούς παραπομπής, AGB: Υπέργεια βιομάζα δέντρου (ξηρή βιομάζα σε kg/δένδρο), AGE: ηλικία δέντρου (σε έτη), DBH: στήθαία διάμετρος κορμού (σε cm), H: ύψος δένδρου (σε m), BA: Επιφάνεια βάσης κορμού δένδρου (σε cm²), ρ: πυκνότητα ξύλου φυτικού είδους (σε g/cm³)]

Κωδικός Μεθόδου	Κωδικός Εξίσωσης	Αλλομετρική εξίσωση	Βιβλιογραφική Πηγή
M1	(1)	$AGB=0.683*(AGE)^{1.76}$	(Ledo et al., 2018)
M2	(2)	$AGB = 0.0217 * (DBH^2 * H)^{1.1574}$	(Johnson & Gerhold, 2001)
M3	(3)	$AGB = 0.14 * DBH^{2.37}$	(Annighöfer et al., 2012)
M4	(4)	$AGB= 0.0673*(\rho*(DBH)^2 * H) * 0.976$	(Chave et al., 2014)
M5	(5)	$AGB=10^{(-0.535+\log_{10}(BA))}$	(Brown, 1997)
M6	(6)	$AGB = 0.091*(DBH)^{2.472}$	(Kuyah et al., 2012)

5.2.4 Εκτίμηση υπόγειας βιομάζας και συνολικής βιομάζας δέντρων

Η υπόγεια βιομάζα σε κάθε οπωρώνα (βιομάζα ριζικού συστήματος) υπολογίστηκε με τη χρήση ενός συντελεστή που υιοθετήθηκε από τον IPCC (2008), ο οποίος λαμβάνει τιμή 0,28 (ποσοστό της υπόγειας βιομάζας προς την υπέργεια βιομάζα δέντρων). Στη συνέχεια, καθώς η βιομάζα ενός δέντρου είναι ένα μέτρο της ξηρής μάζας της ξυλώδους και της φυλλικής μάζας (kg), η υπέργεια βιομάζα και η υπόγεια βιομάζα συνυπολογίστηκαν για τον προσδιορισμό της παραμέτρου της ολικής βιομάζας (OB) ανά δέντρο για κάθε οπωρώνα (εξίσωση 7). Η βιομάζα των φύλλων συνεισφέρει συνήθως λιγότερο από το 5% της συνολικής υπέργειας βιομάζας (Delitti et al., 2006) και λόγω της φυλλόπτωσης που εξυπακούεται στα φυλλοβόλα είδη στην παρούσα μελέτη, η παράμετρος αυτή δεν λήφθηκε υπόψη. Ως εκ τούτου, εφαρμόστηκε συντελεστής πολλαπλασιασμού 128% για την ποσοτικοποίηση της ολικής βιομάζας ανά δέντρο σύμφωνα για κάθε μια από τις μεθόδους M1-6.

$$OB_{M1-6}=1.28*AGB_{M1-6} \quad (7)$$

Όπου:

- OB_{M1-6} : ολική βιομάζα ανά δέντρο (kg ξηρής βιομάζας) ανά μέθοδο
- 1.28: αναλογικός συντελεστής κατά IPCC υπολογισμού υπόγειας βιομάζας
- AGB_{M1-6} : υπέργεια βιομάζα (kg/δέντρο) ανά μέθοδο

5.2.5 Εκτίμηση δέσμευσης άνθρακα (CO₂ seq)

Η περιεκτικότητα της βιομάζας ενός δέντρου σε άνθρακα αντιπροσωπεύει περίπου το 50% της ολικής ξηρής βιομάζας του (IPCC, 2019). Για σκοπούς της παρούσας μελέτης, οι τιμές του κλάσματος άνθρακα (C_f , % άνθρακα) για κάθε καλλιεργούμενο είδος (π.χ. μήλα, αμύγδαλα, δαμάσκηνα) ελήφθησαν από τους Bilanzdija et al. (2012) όπου το ποσοστό άνθρακα για κάθε είδος προσδιορίστηκε ως το κλάσμα βάρους επί ξηρής ουσίας (κ.β. % επί ξηρής ουσίας). Για τους σπωρόνες με *Punica granatum L.* και *Pistacia vera* ως κυρίαρχα καλλιεργούμενα είδη, δεδομένου ότι δεν βρέθηκαν επαληθευμένες πληροφορίες που να δικαιολογούν διαφορετική τιμή, χρησιμοποιήθηκε η προκαθορισμένη τιμή 0,50 σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές του IPCC (2019). Η περιεκτικότητα σε άνθρακα για κάθε δέντρο υπολογίστηκε πολλαπλασιάζοντας την ολική βιομάζα ξηρού βάρους με το κλάσμα άνθρακα κάθε φυτικού είδους.

Η δέσμευση άνθρακα στους σπωρόνες αποδίδεται στο CO₂ που δεσμεύεται στις μόνιμες δομές (π.χ. ξύλο και ρίζες). Ο αποθηκευμένος άνθρακας στην ολική βιομάζα των δέντρων μετατρέπεται στη συνέχεια σε στοιχειομετρικό «απόθεμα» διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) με αναλογία μοριακών βαρών (CO₂:C 44/12=3,67), όπως αναφέρεται στους Litskas et al. (2020). Ο προσδιορισμός του βάρους του διοξειδίου του άνθρακα που δεσμεύεται ανά δέντρο (σε kg) υπολογίστηκε ανά μέθοδο σύμφωνα με την εξίσωση 8 (Fransen, 2019):

$$CO_2 \text{ seq}_{M1-6} = OB_{M1-6} * C_f * 3.67 \quad (8)$$

Όπου:

- $CO_2 \text{ seq}_{M1-6}$: Η δέσμευση άνθρακα ανά δέντρο (kg/δέντρο), ανά μέθοδο
- OB_{M1-6} : Ολική Βιομάζα ανά δέντρο (kg ξηρής βιομάζας), ανά μέθοδο
- C_f : Κλάσμα άνθρακα της βιομάζας δέντρων (% άνθρακα)
- 3.67: ο συντελεστής πολλαπλασιασμού για τον προσδιορισμό της ισοδύναμης ποσότητας διοξειδίου του άνθρακα

Στη συνέχεια τα αποτελέσματα εκφράστηκαν ως ετήσια τιμή (CO₂seq/δέντρο/έτος) κατόπιν διαίρεσης της υπολογιζόμενης τιμής με την ηλικία δέντρου για κάθε οπωρώνα.

5.2.6 Σημείο μετάβασης από την καθαρή εκπομπή στην καθαρή απορρόφηση άνθρακα στη βιομάζα δέντρων

Τέλος η αξιολόγηση της ικανότητας δέσμευσης άνθρακα για κάθε οπωρώνα βασίστηκε στον καθορισμό του σημείου μετάβασης από την καθαρή εκπομπή C στην καθαρή απορρόφηση C στην ολική βιομάζα τους, με βάση τις ηλικίες των δέντρων (καθαρό ισοζύγιο εκπομπών-απορρόφησης). Το σημείο καθαρού ισοζυγίου εκπομπών-απορρόφησης υπολογίστηκε με τη χρήση της συνάρτησης παραβολής των Wu et al. (2012), (εξίσωση 9), λαμβάνοντας υπόψη τις σχέσεις μεταξύ της ηλικίας των δέντρων (X_{age}) και της υπολογιζόμενης δέσμευσης C ($C_{seqM1-6}$) για κάθε οπωρώνα. Συγκεκριμένα ο υπολογισμός αυτός επιτρέπει τον καθορισμό του σημείου όπου ένας οπωρώνας μπορεί να φτάσει σε ισορροπία, δηλαδή τα δέντρα αποτελούν πλέον δεξαμενές άνθρακα καθώς μεταβαίνουν από καθαρή εκπομπή σε καθαρή απορρόφηση άνθρακα.

$$C_{seqM1-6} = -0,0159X_{age}^2 + 0,05853 * X_{age} - 3,5194 \quad (9)$$

Όπου:

$C_{seqM1-6}$: δέσμευση άνθρακα στη βιομάζα δέντρων ανά μέθοδο (Kg/δέντρο/έτος)

X_{age} : η ηλικία των δέντρων

5.2.7 Στατιστική ανάλυση

Για τα αποτελέσματα OB_{M1-6} , $CO_{2seqM1-6}$ /δέντρο/έτος τα οποία ελήφθησαν έπειτα από την εφαρμογή έξι αλληλομετρικών εξισώσεων έγινε υπολογισμός περιληπτικών στατιστικών τιμών. Διεκπεραιώθηκε ανάλυση διακύμανσης κατά ένα παράγοντα, για την εξέταση των πιθανών στατιστικά σημαντικών διαφορών στις μέσες τιμές της δέσμευσης άνθρακα (CO₂ seq), μεταξύ των δύο καλλιεργητικών συστημάτων (βιολογική και συμβατική γεωργία) για όλους τους οπωρώνες. Στη συνέχεια διεκπεραιώθηκε τεστ Kruskal–Wallis για την εξέταση των πιθανών στατιστικά σημαντικών διαφορών στις μέσες κατατάξεις της ανεξάρτητης μεταβλητής CO₂ seq με τη χρήση της διόρθωσης Bonferroni (διαστήματα 95%), μεταξύ των καλλιεργητικών συστημάτων (M1-6) για τους οπωρώνες ίδιας παραγωγικής φάσης. Η ανάλυση δεδομένων πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό πακέτο SPSS v.20 και στο Microsoft excel.

5.3 Αποτελέσματα

5.3.1 Ολική βιομάζα δέντρων μικτών οπωρώνων

Οι περιληπτικές στατιστικές τιμές των δεδομένων για 49 οπωρώνες και για κάθε κυρίαρχο είδος οπωροφόρων δένδρων σε αυτούς (βλέπε Πίνακα Σ5.2-Παράρτημα Γ) που χρησιμοποιήθηκαν στις αλλομετρικές εξισώσεις για υπολογισμό της υπέργειας και ολικής βιομάζας παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.2. Τα αποτελέσματα από 49 αγροτεμάχια φυλλοβόλων οπωροφόρων δέντρων στην Κύπρο, αφορούσαν σε μέσους όρους τιμών που καταγράφηκαν σε σχέση με την ηλικία και άλλα κύρια βιομετρικά χαρακτηριστικά των δέντρων στους μικτούς οπωρώνες ως ακολούθως: μέση ηλικία οπωρώνων 13,9 έτη, μέση στηθαία διάμετρος κορμού 11,1 cm (με εύρος από 3,2 έως 31,8 cm) και μέσο ύψος δένδρων 4,6 μέτρα.

Πίνακας 5.2: Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία βιομετρικών χαρακτηριστικών των δειγματοληπτικών δέντρων από τους 49 οπωρώνες της μελέτης. [AGE: ηλικία δέντρου (σε έτη), DBH: στηθαία διάμετρος κορμού (σε cm), BA: επιφάνεια βάσης κορμού δένδρου (σε cm²), H: ύψος δένδρου (σε m), ρ: πυκνότητα ξύλου φυτικού είδους (σε g/cm³), Cf: κλάσμα άνθρακα στη βιομάζα δέντρων (σε % C)]

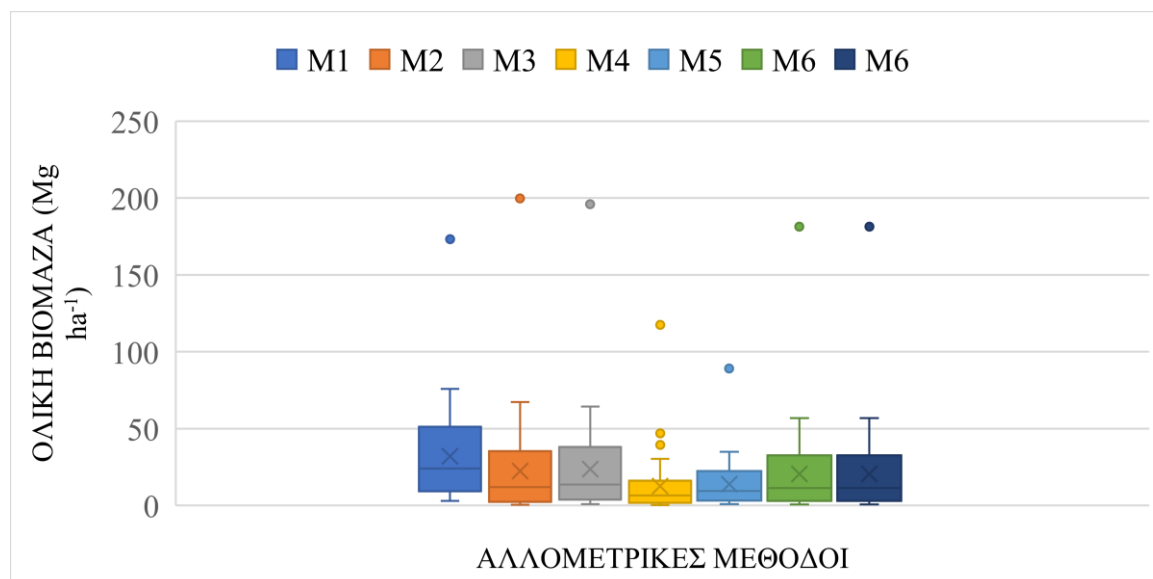
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΕΝΤΡΩΝ	Μέσος όρος	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή	Διάμεση τιμή	Τυπική απόκλιση
AGE	13,9	40	4	13	6
DBH	11,1	31,8	3,2	10,3	5,8
BA	122,8	795,8	7,9	84,1	133,4
H	4,6	7,0	2,5	5,0	1,3
ρ	0,60	0,92	0,38	0,56	0,19
Cf	0,48	0,50	0,46	0,48	0,01

Οι αλλομετρικές εξισώσεις M1-M6 της παρούσας μελέτης και οι τιμές των σταθερών και των συντελεστών τους που χρησιμοποιήθηκαν κατά την πρόβλεψη της βιομάζας αναφέρονται στον Πίνακα 5.1. Τα περιγραφικά στατιστικά στοιχεία της εκτιμώμενης ολικής βιομάζας (Mg ha⁻¹) για κάθε εξίσωση παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.3 και απεικονίζονται στο Σχήμα 5.3 Η μεγαλύτερη μέση OB προβλέφθηκε από την εξίσωση M1 (31,89 τόνου/εκτάριο) και η μικρότερη από την εξίσωση M4 (12,60 τόνου/εκτάριο). Τέσσερις εξισώσεις, οι M1-3 και M6 προέβλεψαν βιομάζα μεγαλύτερη των 20 τόνων/εκτάριο, ενώ οι

εξισώσεις M4 και M5 προέβλεψαν χαμηλότερες τιμές. Ο μέσος όρος προβλεπόμενης ολικής βιομάζας για όλες τις μεθόδους έλαβε τιμή 20,74 τόνους/εκτάριο.

Πίνακας 5.3: Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία εκτιμώμενης ολικής βιομάζας δέντρων μικτών οπωρώνων. [OB_{M1-6}:Ολική βιομάζα δέντρων (ξηρή βιομάζα σε Mg ha⁻¹), με χαρακτήρες *italics* σημειώνεται η μέγιστη και ελάχιστη μέση τιμή ανά μέθοδο].

	Μέσος όρος OB ανά μέθοδο	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	Διάμεση τιμή	Τυπική Απόκλιση
OB _{M1}	<i>31,89</i>	3,1	173,13	23,95	29,97
OB _{M2}	22,29	0,35	199,63	11,99	31,84
OB _{M3}	23,519	0,84	195,98	13,66	31,37
OB _{M4}	<i>12,60</i>	0,24	117,50	6,57	18,95
OB _{M5}	13,76	0,89	89,15	9,42	14,94
OB _{M6}	20,383	0,61	181,31	11,27	28,70
Μέσος όρος μεθόδων	20,74				

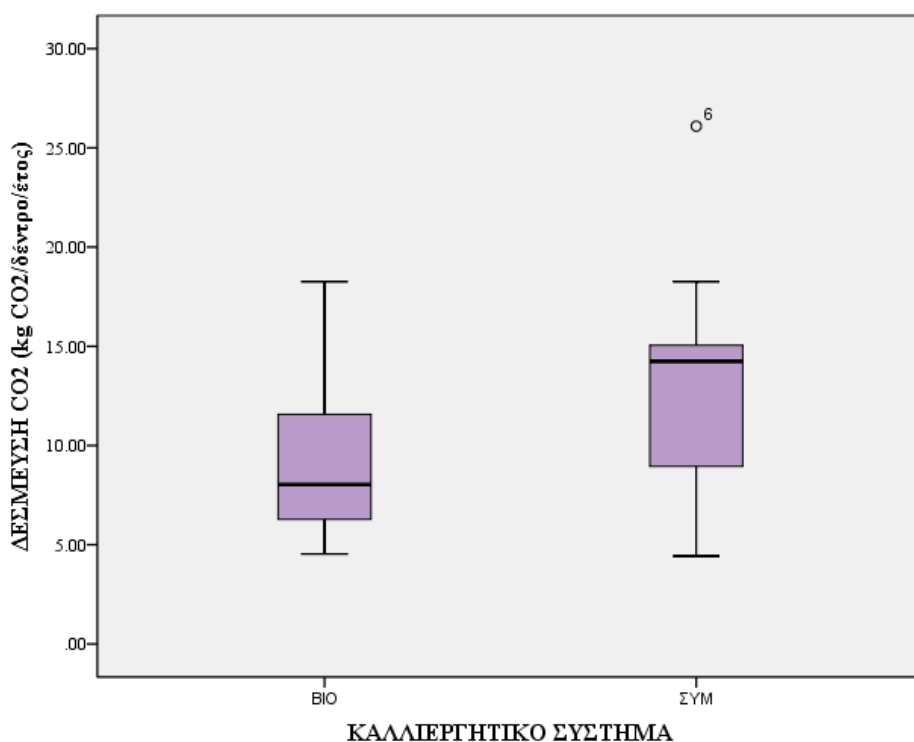


Σχήμα 5.3: Θηκογράμματα ολικής βιομάζας σε οπωρώνες της μελέτης ανά μέθοδο. [ολική βιομάζα: (Mg ha⁻¹), αλλομετρικές μέθοδοι: M1-M6, αντιστοιχούν στις εξισώσεις 1-M αντίστοιχα. Στο διάγραμμα του σχήματος το σημείο x παρουσιάζει τη μέση τιμή, η γραμμή στο πλαίσιο δείχνει τη διάμεσο, το πλαίσιο το ενδοτεταρτημοριακό εύρος και οι δείκτες δείχνουν τις ελάχιστες και μέγιστες τιμές].

5.3.2 Δέσμευση άνθρακα (CO₂ seq) στη βιομάζα μικτών οπωρώνων

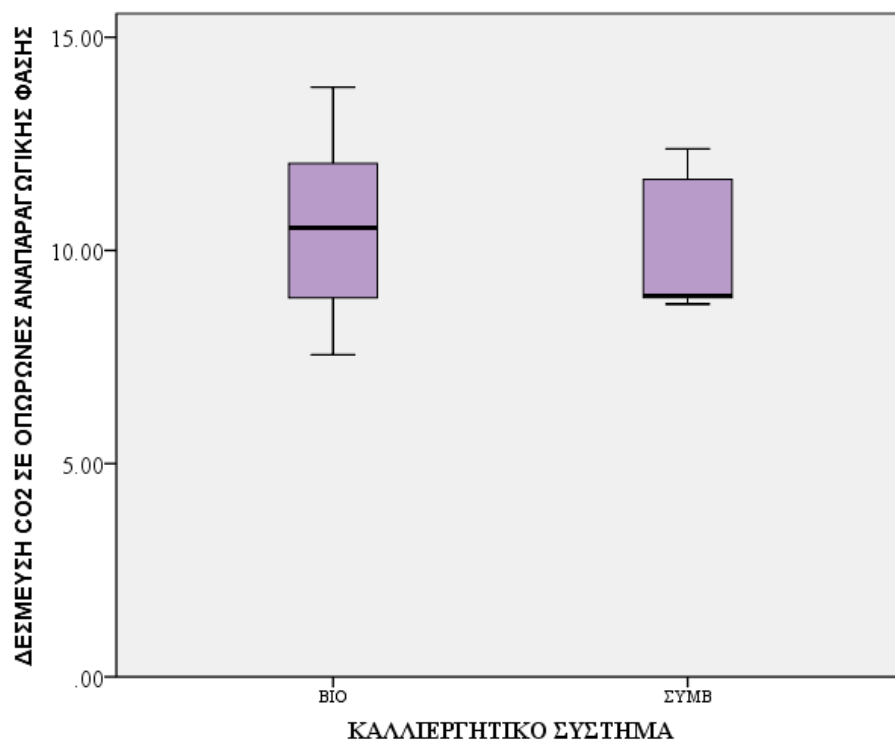
5.3.2.1 Δέσμευση άνθρακα (CO₂ seq) στη βιομάζα δέντρων ανά καλλιεργητικό σύστημα

Για την ποσοτικοποίηση της δέσμευσης άνθρακα στην ολική βιομάζα δέντρων σε 49 οπωρώνες, εφαρμόστηκε η βασική μέθοδος M1, σύμφωνα με την ενότητα 5.2. Εφαρμόστηκε ανάλυση διακύμανσης κατά ένα παράγοντα όπου η εξαρτημένη μεταβλητή ορίστηκε η «δέσμευση άνθρακα (CO₂ seq)» και ανεξάρτητη το «καλλιεργητικό σύστημα», (δύο επίπεδα: βιολογικό-συμβατικό). Για την πραγματοποίηση της ανάλυσης διακύμανσης προηγήθηκε έλεγχος των υποθέσεων κανονικότητας και ομοσκεδαστικότητας καταλοίπων. Κατά τη στατιστική ανάλυση των 49 παρατηρήσεων (24 βιολογικοί οπωρώνες, 25 συμβατικοί οπωρώνες) που λήφθηκαν από τη βασική μέθοδο M1, παρουσιάστηκε στατιστικά σημαντική επίδραση του παράγοντα «καλλιεργητικό σύστημα» και συνεπώς καταγράφηκε η ύπαρξη στατιστικά σημαντικής διαφοράς μεταξύ των δύο επιπέδων του ($F=12.12, p < 0.05$) (Σχήμα 5.4). Οι μέσες τιμές δέσμευσης άνθρακα που λήφθηκαν για κάθε σύστημα ήταν 9,09 και 13,19 kg CO₂/δέντρο/έτος για τους βιολογικούς και συμβατικούς οπωρώνες αντίστοιχα.



Σχήμα 3.4 Θηκογράμματα δέσμευσης άνθρακα σε οπωρώνες της μελέτης ανά καλλιεργητικό σύστημα. [Δέσμευση CO₂: (kg CO₂/δέντρο/έτος), καλλιεργητικό σύστημα: BIO: βιολογικοί, SYM: συμβατικοί οπωρώνες. Στο διάγραμμα του σχήματος η γραμμή στο πλαίσιο δείχνει τη διάμεσο, το πλαίσιο το ενδοτεταρτημοριακό εύρος και οι δείκτες δείχνουν τις ελάχιστες και μέγιστες τιμές.]

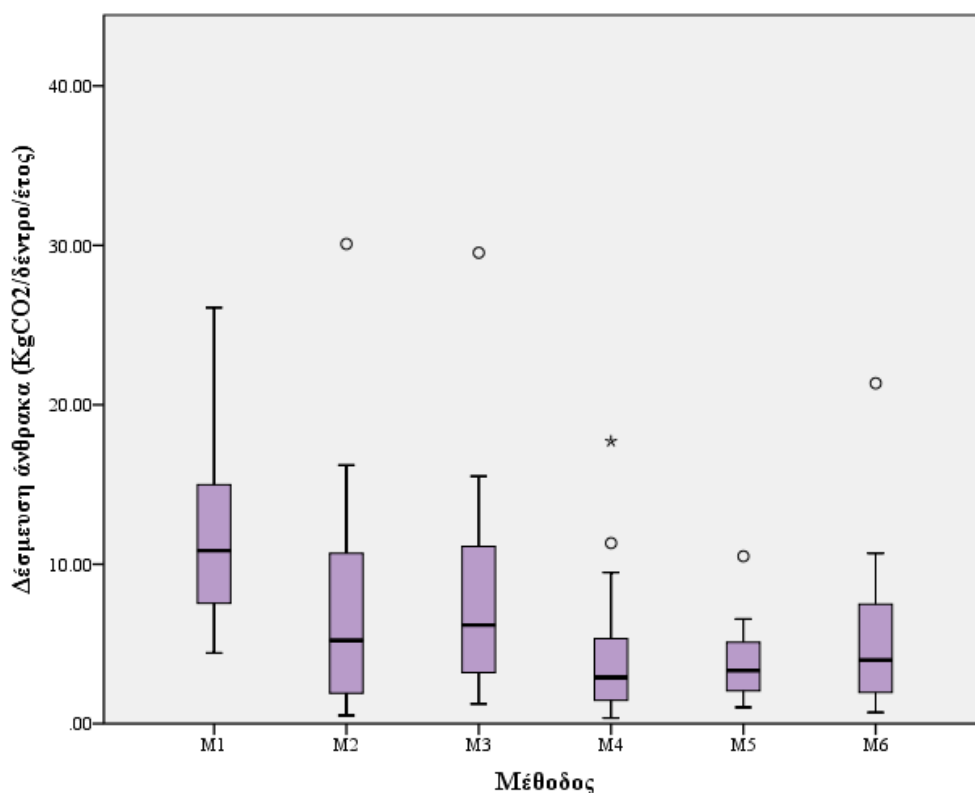
Δεδομένου ότι το δείγμα της μελέτης αποτελείται από οπωρώνες σε τρία στάδια (νεανικοί, αναπαραγωγικοί και ώριμοι), τα αποτελέσματα της δέσμευσης άνθρακα αναλύθηκαν περαιτέρω με το δείγμα να αποτελείται από 10 βιολογικούς και 11 συμβατικούς οπωρώνες ($n=21$) σε παραγωγική φάση (αφαίρεση οπωρώνων ηλικίας μικρότερης των 8 ετών και μεγαλύτερης των 18 ετών). Στο πλαίσιο αυτό χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό τεστ Kruskal-Wallis, καθώς παραβιαζόταν η υπόθεση της κανονικής κατανομής. Το τεστ ελέγχει τη μηδενική υπόθεση ότι οι μέσες κατατάξεις της εξαρτημένης μεταβλητής «CO₂ seq» (kg CO₂/δέντρο/έτος), σε κάθε ένα από τα 2 επίπεδα του παράγοντα «καλλιεργητικό σύστημα», βιολογικό (BIO) και συμβατικό (ΣΥΜ) είναι ίσες. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο συστημάτων ($p>0.05$), σε διάστημα εμπιστοσύνης 95% (Σχήμα 5.5). Οι μέσες τιμές δέσμευσης άνθρακα που λήφθηκαν για κάθε σύστημα ήταν 10,42 και 10,00 kg CO₂/δέντρο/έτος για τους βιολογικούς και συμβατικούς οπωρώνες αντίστοιχα.



Σχήμα 5.5 Θηκογράμματα δέσμευσης άνθρακα σε οπωρώνες της μελέτης ανά καλλιεργητικό σύστημα σε αναπαραγωγικούς οπωρώνες. [Δέσμευση CO₂: (kg CO₂/δέντρο/έτος), καλλιεργητικό σύστημα: BIO: βιολογικοί, ΣΥΜ: συμβατικοί οπωρώνες. Στο διάγραμμα του σχήματος η γραμμή στο πλαίσιο δείχνει τη διάμεσο, το πλαίσιο το ενδοτεταρτημοριακό εύρος και οι δείκτες δείχνουν τις ελάχιστες και μέγιστες τιμές.]

5.3.2.2 Δέσμευση άνθρακα (CO₂ seq) στη βιομάζα δέντρων μικτών οπωρώνων ανά μέθοδο

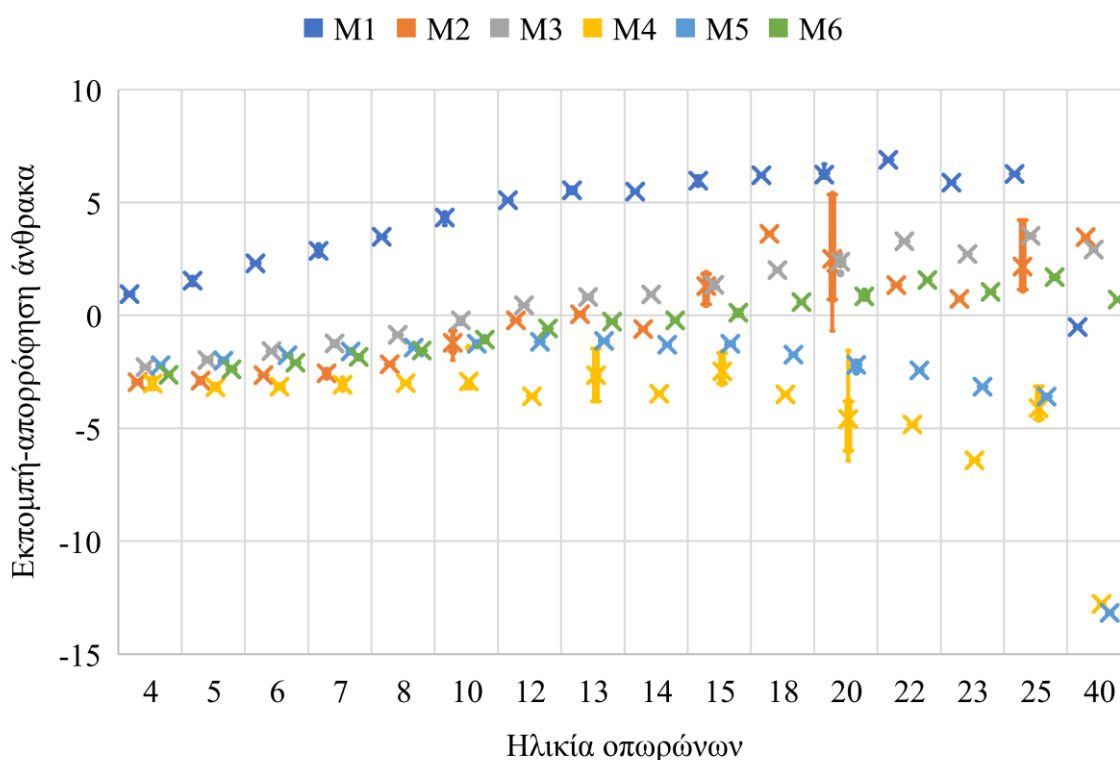
Έξι διαφορετικές μέθοδοι (M1-M6) εκτίμησης της βιομάζας δέντρων εφαρμόστηκαν για τον υπολογισμό της δέσμευσης άνθρακα ανά δέντρο και ανά έτος (CO₂ seq), με δεδομένα που συλλέχθηκαν από 49 οπωρώνες. Τα αποτελέσματα απεικονίζονται στο σχήμα 5.6. Οι μέσες τιμές δέσμευσης άνθρακα που λήφθηκαν για κάθε μέθοδο σε kg CO₂/δέντρο/έτος ήταν M1:11,18, M2:6,61, M3:7,28, M4:3,78, M5:3,58 και M6: 4,38. Η μέθοδος M1 έδωσε τις υψηλότερες τιμές, ακολουθούμενη από τις M3 και M2 οι οποίες έλαβαν μειωμένες τιμές κατά 34,9%, 40,8% αντίστοιχα. Οι γενικευμένες αλλομετρικές μέθοδοι M6, M4 και M5 υποτίμησαν τη δέσμευση άνθρακα στη βιομάζα δέντρων κατά 56,7%, 66,2% και 68% αντίστοιχα σε σχέση με τις τιμές που έλαβε η μέθοδος M1.



Σχήμα 5.6 Δέσμευση Άνθρακα σε οπωρώνες της μελέτης ανά μέθοδο. [Δέσμευση άνθρακα: (kg CO₂/δέντρο/έτος), Μέθοδος: M1-M6 αφορούν στις αλλομετρικές εξισώσεις 1-6 αντίστοιχα. Στο διάγραμμα του σχήματος η γραμμή στο πλαίσιο δείχνει τη διάμεσο, το πλαίσιο το ενδοτεταρτημοριακό εύρος και οι δείκτες δείχνουν τις ελάχιστες και μέγιστες τιμές].

5.3.2.3 Σημείο μετάβασης από την καθαρή εκπομπή στην καθαρή απορρόφηση άνθρακα στη βιομάζα δέντρων μικτών οπωρώνων ανά μέθοδο

Στο σχήμα 5.7 και στον συμπληρωματικό Πίνακα Σ5.3 (Παράρτημα Γ) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που αφορούν στην ικανότητα των οπωρώνων να δεσμεύουν άνθρακα στη βιομάζα τους. Συγκεκριμένα υπολογίστηκαν τα σημεία μετάβασης από την καθαρή εκπομπή στην καθαρή απορρόφηση άνθρακα (net C emission to net C sink) στη βιομάζα δέντρων βάσει της ηλικίας τους και ανά μέθοδο. Η M1 αποδίδει θετικά αποτελέσματα ως προς το καθαρό ισοζύγιο εκπομπών-απορρόφησης για όλες τις ηλικίες των δένδρων εκτός ενός οπωρώνα ηλικίας 40 ετών. Οι μέθοδοι M2 και M6 μεταβαίνουν στο σημείο αυτό πάνω από τα 15 έτη, ενώ η μέθοδος M3 άνω των 12 ετών. Οι μέθοδοι M4 και M5 παρουσιάζουν αρνητικά αποτελέσματα, ασυνέπεια στις τιμές και δεν προσδίδουν αποτελέσματα σταθερά ανάλογα με την ηλικία των οπωρώνων.



Σχήμα 5.7 Ικανότητα δέσμευσης άνθρακα σε οπωρώνες της μελέτης ανά ηλικία και ανά μέθοδο. [Εκπομπή - απορρόφηση άνθρακα: (kg CO₂/δέντρο/έτος), Μέθοδος: M1-M6 αφορούν στις αλλομετρικές εξισώσεις 1-6 αντίστοιχα, ηλικία οπωρώνων (έτη)].

5.4 Συζήτηση

Ο υπολογισμός της βιομάζας των οπωροφόρων δέντρων επιτρέπει την εκτίμηση της διαθέσιμης ποσότητας άνθρακα σε μια δεδομένη περιοχή (Sharma et al., 2021), παρέχοντας σημαντικά δεδομένα σχετικά με την ικανότητα αυτών των αγροοικοσυστημάτων να μετριάσουν τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής μέσω της δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα στα μόνιμα όργανα τους. Με τις πολυετείς καλλιέργειες να παρουσιάζουν σημαντικό δυναμικό δέσμευσης καθώς αποθηκεύουν ατμοσφαιρικό άνθρακα στη φυτική βιομάζα τους και στο έδαφος μακροπρόθεσμα (Funes et al., 2022), η πρόκληση της κάλυψης της παγκόσμιας ζήτησης τροφίμων με ταυτόχρονη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος μπορεί να αμβλυνθεί (Liu et al., 2016).

Τα αποτελέσματα των έξι μεθόδων εκτίμησης της βιομάζας υπολογίστηκαν για πρώτη φορά σε μικτούς οπωρώνες στην Κύπρο (Πίνακας 5.3) έδωσαν παραπλήσιες τιμές με εκτιμήσεις της βιομάζας σε παρόμοιους τύπους καλλιεργητικών συστημάτων σε έρευνες στη διεθνή βιβλιογραφία. Συγκεκριμένα τα αποτελέσματα στην παρούσα μελέτη συνάδουν με τιμές που καταγράφηκαν με χρήση αλλομετρικών εξισώσεων σε καλλιεργούμενες εκτάσεις φυλλοβόλων οπωροφόρων ($13.86 \text{ Mg C ha}^{-1}$) και ακρόδρυων ($27,40 \text{ Mg C ha}^{-1}$) (Funes et al., 2022) και είναι σε ελαιώνες (Almagro et al., 2010) στην Ισπανία. Η χρήση αλλομετρικών εξισώσεων σε οπωρώνες εσπεριδοειδών απέδωσε τιμές βιομάζας $14,55$ έως $21,43 \text{ Mg C ha}^{-1}$ σε οπωρώνες εσπεριδοειδών στο Πακιστάν (Yasin et al., 2021), ενώ με τη χρήση καταστροφικών μεθόδων σε οπωρώνες στην Ισπανία (Iglesias et al., 2013) και καταγράφηκαν τιμές $16,8 \text{ Mg C ha}^{-1}$. Επιπρόσθετα οι εκτιμήσεις βιομάζας των Winzer et al., (2017), στη Γερμανία οι οποίοι κατέγραψαν τιμές $18.3 \text{ Mg C ha}^{-1}$ με χρήση καταστροφικής μεθόδου σε οπωρώνες μηλιάς παραπλήσιας ηλικίας (10-15 ετών) συνάδουν με τα αποτελέσματα των οπωρώνων της παρούσας μελέτης. Παρομοίως με χρήση καταστροφικών μεθόδων υπολογίστηκαν τιμές $22.72 \text{ Mg C ha}^{-1}$ σε έρευνα των Scandellari et al., (2017) σε οπωρώνες στην Ιταλία. Τα αποτελέσματα υποδηλώνουν ότι η υιοθέτηση και χρήση αλλομετρικών εξισώσεων επιτρέπει προσεγγιστικά αντικειμενικές εκτιμήσεις βιομάζας στις περιπτώσεις όπου δεν είναι δυνατός ή/και επιθυμητός ο υπολογισμός της με καταστροφή δέντρων.

Επιπρόσθετα, τα αποτελέσματα της εκτιμώμενης βιομάζας στην παρούσα μελέτη ($M.O. 20.74 \text{ Mg ha}^{-1}$, Πίνακας 5.3) έδειξαν το αναμενόμενο υψηλότερο δυναμικό τους (λόγω της μόνιμης δομής του ξύλου) κατά τη σύγκριση τους με αποτελέσματα σε άλλα γεωργικά είδη. Συγκεκριμένα σε πρόσφατη έρευνα των Chen et al. (2022) στη Δανία σε 10 διαφορετικούς

τύπους καλλιεργειών, περιλαμβανομένων δύο μονοκαλλιεργειών (αραβόσιτος και τριτικάλε), αμειψισποράς, πέντε πολυετών αγρωστωδών (ψηλή φεστούκα, *festulolium*, καλαμοκανάρι, κοκκοφοίνικας και μίσχανθος) και δύο μιγμάτων αγρωστωδών/ψυχανθών, όπου η απόδοση βιομάζας κυμάνθηκε από 9,0 Mg ha⁻¹ έως 18,5 Mg ha⁻¹. Αυξημένη παρουσιάστηκε η βιομάζα στην παρούσα μελέτη και σε σχέση με αποδόσεις που καταγράφηκαν σε άλλες καλλιέργειες όπως βαμβάκι (3,11 Mg ha⁻¹) και σόγια 3,1 Mg ha⁻¹ (Nouri et al., 2019). Επιπρόσθετα σε έρευνα των Wendling et al. (2019) σε φυτικά είδη που αφορούσαν καλλιέργειες εδαφοκάλυψης η παραγωγή βιομάζας παρουσιάστηκε εξαιρετικά μεταβλητή και κυμαινόταν από 1 Mg ha⁻¹ έως περίπου 7 Mg ha⁻¹. Ο μέσος όρος ήταν μεταξύ 2 - 3,2 Mg ha⁻¹ για τις μεμονωμένες καλλιέργειες (*Brassica juncea*, *Pisum sativum*, *Avena strigosa*, *Phacelia tanacetifolia*, *Guizotia abyssinica* και *Raphanus sativus longipinnatus*) και περίπου 3,5 Mg ha⁻¹ για μείγματα (50% ψυχανθή και 50% άλλα είδη). Τα φυτικά είδη όπως ψυχανθή, αγρωστώδη βαμβάκι και σόγια, χαρακτηρίζονται από την απομάκρυνση όλων των υπολειμμάτων βιομάζας από το αγροοικοσύστημα με το πέρας της καλλιεργητικής περιόδου, γεγονός το οποίο συνεπάγεται το μειονέκτημα της απομάκρυνσης της οργανικής ύλης (Winzer et al., 2017), Συγκριτικά με τους προαναφερόμενους τύπους καλλιεργειών τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης υποδεικνύουν τη σημαντική συνεισφορά των πολυετών οπωροφόρων δέντρων στη δέσμευση και άνθρακα και μεγαλύτερη θετική συσχέτιση με την οικοσυστημική υπηρεσία της αποθήκευσης άνθρακα.

Γενικότερα, τα αποτελέσματα της μελέτης σε σχέση με την υφιστάμενη βιβλιογραφία υποδηλώνουν ότι οι οπωρώνες, λόγω αυξημένης συνολικής βιομάζας τους, δεσμεύουν και αποθηκεύουν μεγαλύτερες ποσότητες άνθρακα σε σύγκριση με τα ποώδη φυτά και άλλους τύπους καλλιεργειών. Ως εκ τούτου, οι οπωρώνες με τη διπλή τους συμβολή τους στην παροχή τροφής και τη δέσμευση άνθρακα (CO₂ seq) στη βιομάζα τους (Khalsa et al., 2020), μπορούν να διαδραματίσουν βασικό ρόλο τόσο στις οικοσυστημικές υπηρεσίες παροχής (τροφή), όσο και στις ρυθμιστικές υπηρεσίες (ρύθμιση ατμοσφαιρικών συνθηκών και κλίματος).

Σημαντικό ρόλο κατέχουν οι γεωργικές πρακτικές σε συνδυασμό με τις επικρατούσες εδαφοκλιματικές συνθήκες κάθε περιοχής, οι οποίες μπορούν να επηρεάσουν την ικανότητα των αγροοικοσυστημάτων, όπως οι οπωρώνες, να δεσμεύουν άνθρακα στη βιομάζα τους (da Silva et al., 2022) και στο έδαφος (Minasny et al., 2017; Paustian et al., 2016; Vicente-Vicente et al., 2016). Οι γεωργικές πρακτικές άνθρακα που χαρακτηρίζουν τη βιολογική καλλιέργεια (π.χ. οργανική λίπανση, μειωμένη κατεργασία, βελτιωμένη άρδευση)

ενισχύουν την περιβαλλοντική υγεία και σταθερότητα στο αγροοικοσύστημα (Paustian et al., 2016) και προάγουν τη δέσμευση CO₂seq στα εδάφη τους αλλά και στην παραγόμενη βιομάζα των δέντρων (da Silva et al., 2022; Scialabba & Müller-Lindenlauf, 2010). Προς το σκοπό αυτό, στην παρούσα μελέτη διερευνήθηκε η επίδραση του συστήματος καλλιέργειας (βιολογικό έναντι συμβατικού) σε σχέση με τις επιδόσεις των οπωρώνων στη δέσμευση άνθρακα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα για τη δέσμευση άνθρακα σε 24 βιολογικούς και 25 συμβατικούς οπωρώνες (Σχήμα 5.4), παρουσιάστηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο συστημάτων ($p < 0.05$), με τους βιολογικούς οπωρώνες να λαμβάνουν χαμηλότερες τιμές έναντι των συμβατικών. Στη συνέχεια η ανάλυση των δεδομένων εφαρμόστηκε σε οπωρώνες μόνο παραγωγικής φάσης, καθώς υπολογισμός της παραμέτρου CO₂seq με η μέθοδο M1 CO₂seq στην παρούσα μελέτη λαμβάνει υπόψη άμεσα την ηλικία των οπωρώνων. Τα αποτελέσματα της δέσμευσης άνθρακα σε 10 βιολογικούς και 11 συμβατικούς οπωρώνες (Σχήμα 5.5), δεν έδειξαν στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο συστημάτων ($p > 0.05$) τα οποία και έλαβαν παραπλήσιες τιμές CO₂ seq.

Η δέσμευση άνθρακα (CO₂seq) στη βιομάζα δέντρων μικτών οπωρώνων, πέρα από την επίδραση του καλλιεργητικού συστήματος (βιολογικό έναντι συμβατικού) επηρεάζεται επίσης σημαντικά από την ηλικία των δέντρων (Winzer et al., 2017), αποτέλεσμα που προέκυψε κατά την ανάλυση δεδομένων για βιολογικούς οπωρώνες με μέση ηλικία τα 10 έτη, έναντι συμβατικών οπωρώνων με μέση ηλικία τα 17 έτη. Το συμπέρασμα αυτό συμφωνεί με τα αποτελέσματα των Plénet et al., (2022) όπου καταγράφηκε σημαντικά χαμηλότερη ανάπτυξη βιομάζας και δέσμευση άνθρακα σε οπωρώνες με ροδακινίες στο νεανικό στάδιο σε σύγκριση με δέντρα στην παραγωγική τους φάση. Έρευνα των Khalsa et al. (2020), σε οπωρώνες αμυγδαλιάς επτά ετών αναφέρει ότι η εντατική αζωτούχα λίπανση έναντι μειωμένης λίπανσης, αύξησε τη βιομάζα και τη συνολική αποθήκευση άνθρακα στο αγροοικοσύστημα, υποδεικνύοντας τη συμβολή των συνθετικών εισροών στην παράμετρο αυτή.

Επίσης, σύμφωνα με τους Montanaro et al., (2017) η συνολική δέσμευση άνθρακα στη μόνιμη βιομάζα δέντρων ροδακινιάς δεν επηρεάστηκε σημαντικά από την επίδραση των βιολογικών και συμβατικών καλλιεργητικών πρακτικών, αποτέλεσμα που συνάδει με την ανάλυση αποτελεσμάτων οπωρώνων ίδιας ηλικίας στην παρούσα μελέτη. Ωστόσο σε προγενέστερη μελέτη σε οπωρώνες μηλιάς της ίδιας ηλικίας, τα δέντρα υπό βιολογική διαχείριση παρουσίασαν μεγαλύτερη βιομάζα έναντι δέντρων που καλλιεργήθηκαν υπό συμβατική διαχείριση (Roussos & Gasparatos, 2009) και συνεπώς επέδειξαν αυξημένη

ικανότητα για CO₂seq. Τα αποτελέσματα της μελέτης, σε συνδυασμό με τη βιβλιογραφία, υποδεικνύουν την ανάγκη για περαιτέρω έρευνα σχετικά με την επίδραση των γεωργικών πρακτικών και, κατά συνέπεια, του συστήματος καλλιέργειας στην ικανότητα δέσμευσης άνθρακα των οπωρώνων στη βιομάζα τους.

Καθώς το μέγεθος και η κατανομή της δεξαμενής φυτικού άνθρακα επηρεάζεται άμεσα από την συνύπαρξη και συγκαλλιέργεια διαφόρων ειδών (Laungani & Knops, 2009), ο ρόλος των μικτών οπωρώνων κρίνεται πολύ σημαντικός. Στο πλαίσιο της μελέτης εξετάστηκαν έξι μέθοδοι ως πιθανοί τρόποι εκτίμησης της ικανότητας δέσμευσης άνθρακα σε οπωρώνες δέκα ειδών. Ειδικότερα, η μέθοδος M1 των Ledo et al. (2018), η οποία υιοθετήθηκε στην παρούσα μελέτη ως βασική προσεγγιστική μέθοδος καθώς παρουσιάζει τη μεγαλύτερη συνάφεια με τα εξεταζόμενα είδη (*Malus domestica*) και με τις κλιματικές συνθήκες, διαφέρει στις τιμές CO₂seq που λαμβάνει σε σύγκριση με τις υπόλοιπες μεθόδους (M2-M6). Η ποσοτικοποίηση της βιομάζας και της δέσμευσης άνθρακα με αυτή τη μέθοδο χρησιμοποιεί μια αλλομετρική εξίσωση σε συνάρτηση με την ηλικία (έτος), μια παράμετρο που δεν χρησιμοποιείται σε καμία από τις άλλες μεθόδους, οι οποίες υπολογίζουν CO₂seq βάσει βιομετρικών χαρακτηριστικών των δέντρων. Τα αποτελέσματα της μεταβλητής CO₂seq με βάση τη M1 είναι και τα ψηλότερα που λήφθηκαν μεταξύ των έξι μεθόδων (M.O.: CO₂seq 11,18 Kg/δέντρο/έτος) και τα αποτελέσματα που προέκυψαν όσον αφορά τη βιομάζα των δέντρων συνάδουν με μελέτες σε άλλους οπωρώνες της Μεσογείου (Almagro et al., 2010; Funes et al., 2022; Scandellari et al., 2017; Winzer et al., 2017).

Η ποσοτικοποίηση της δέσμευσης του άνθρακα με την αλλομετρική εξίσωση M2 των Johnson και Gerhold (2001), έγινε με σκοπό τη σύγκριση των αποτελεσμάτων της με την εξίσωση M1, καθώς αφορούν το ίδιο γένος (*Malus spp.*), αλλά υπό διαφορετικές κλιματικές συνθήκες (Αμερική-Μεσόγειος αντίστοιχα). Τα αποτελέσματα CO₂seq μεταξύ M1-M2 διέφεραν κατά περίπου 40% (μείωση στη μέθοδο M2), υποδεικνύοντας ότι οι εξισώσεις με βάση το ίδιο φυτικό είδος αλλά σε διαφορετικές τοποθεσίες διαφέρουν. Ενδεχομένως οι διαφορές οφείλονται στην επίδραση των κλιματικών παραμέτρων στην ανάπτυξη των δέντρων, οδηγώντας στο συμπέρασμα ότι το κλίμα όπως και στην περίπτωση των γενικευμένων εξισώσεων (Forrester et al., 2017), πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στην περίπτωση υπολογισμού δέσμευσης άνθρακα με ειδικευμένες αλλομετρικές εξισώσεις.

Η μέθοδος M3 των Annighöfer et al. (2012) υιοθετήθηκε στη μελέτη για σκοπούς σύγκρισης με τη μέθοδο M1, καθώς και οι δύο αναφέρονται σε μεσογειακές συνθήκες. Ωστόσο, η M3

παρουσιάζει σχετική συνάφεια με το γένος και όχι με το φυτικό είδος της μελέτης (*Prunus spp.*). Η μείωση κατά 34,9% των μέσων τιμών CO₂seq που προέκυψαν από τη M3 σε σύγκριση με τη M1 μπορεί να υποδηλώνει ότι οι εξισώσεις που αφορούν στο ίδιο γένος και όχι στο είδος δεν αποδίδουν με την ίδια ακρίβεια στις ίδιες κλιματικές συνθήκες. Η σημαντικότητα του είδους κατά την ανάπτυξη και εφαρμογή αλλομετρικών εξισώσεων με στόχο την ορθότερη εκτίμηση βιομάζας και αποθεμάτων άνθρακα διαπιστώθηκε και σε φυλλοβόλα δάση ξηρικών περιοχών (Abich et al., 2018). Ωστόσο, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των μεθόδων M1, M2 και M3, εν απουσία αλλομετρικής ειδικευμένης εξίσωσης με βάση το είδος και την τοποθεσία, οι εξισώσεις που αφορούν στο γένος στην ίδια τοποθεσία εμφανίζουν βελτιωμένα αποτελέσματα σε σχέση με τις εξισώσεις που βασίζονται στο φυτικό είδος σε άλλη τοποθεσία.

Οι τρεις πιο γενικευμένες μέθοδοι (M4-6) των Chave et al., (2014), Brown, (1997) και Kuyah et al., (2012) παρουσίασαν παραπλήσιες τιμές δέσμευσης άνθρακα, υποτιμώντας τα αποτελέσματα της M1 κατά 66,2%, 68% και 56,7% αντίστοιχα. Οι δύο δασικές μέθοδοι M4 και M5 που αφορούν αλλομετρικές εξισώσεις σε δασικά είδη απέδωσαν τις χαμηλότερες τιμές στη μελέτη (M4: CO₂seq 3,78 και M5: 3,58 Kg/δέντρο/έτος, μέσοι όροι τιμών) και διαφέροντας τόσο με τις εξισώσεις που είναι βασισμένες στο είδος (M1 και M2) όσο και με τις εξισώσεις που είναι βασισμένες στην τοποθεσία (M1 και M3). Οι ανακριβείς εκτιμήσεις γενικευμένων μεθόδων όταν εφαρμόζονται σε μια συγκριμένη συστάδα δέντρων (Zianis & Mencuccini, 2003), ενδεχομένως οφείλονται στον τρόπο κατασκευής των γενικευμένων εξισώσεων, οι οποίες βαθμονομούνται με δεδομένα τα οποία προέρχονται από μεγαλύτερες περιοχές. Αντιθέτως οι εξειδικευμένες αλλομετρικές εξισώσεις που αφορούν συγκριμένες τοποθεσίες βασίζονται σε μικρό μέγεθος δείγματος (Kebede & Soromessa, 2018). Επιπρόσθετα σε έρευνα των Vorster et al., (2020) διαφάνηκε ότι οι τοπικές εξισώσεις δασικών ειδών απέδιδαν καλύτερα από εξισώσεις οι οποίες εφαρμόζονται σε εθνικό επίπεδο. Οι σημαντικές ανησυχίες σχετικά με την επιλογή του καλύτερου αλλομετρικού μοντέλου για την εκτίμηση της AGB των δέντρων σε δασικά είδη (Vahedi, 2016) και κατά συνέπεια της δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα επεκτείνονται και στα γεωργικά είδη. Τα αποτελέσματα της μελέτης συνάδουν με την άποψη των Ameztegui et al. (2022), ότι οι τοπικές εξισώσεις (εφόσον είναι διαθέσιμες) θα πρέπει να έχουν προτεραιότητα έναντι των γενικευμένων για υπολογισμό άνθρακα.

Γενικότερο εύρημα της μελέτης, αφορά στο ότι όταν γίνεται χρήση τοπικών εξειδικευμένων αλλομετρικών εξισώσεων (μέθοδος M1) για τις εκτιμήσεις AGB και CO₂seq λαμβάνονται

υψηλότερες τιμές και αυτή η μέθοδος M1 (η οποία είναι εξειδικευμένη ανά είδος και ανά τοποθεσία) διαφέρει από όλες τις άλλες. Επιπρόσθετα οι γενικευμένες εξισώσεις των δασικών ειδών (M4 και M5) ενδεχομένως δεν εφαρμόζονται στα γεωργικά είδη καθώς υποτιμούν τη βιομάζα και τη δέσμευση άνθρακα σχέση με τις εξειδικευμένες εξισώσεις οπωροφόρων ειδών. Σχετικά είναι και τα ευρήματα των Daba και Soromessa (2019) για μη καταλληλότητα εφαρμογής γενικευμένων δασικών εξισώσεων (σε δασικά είδη) και τη σημαντικότητα των εξισώσεων που είναι βασισμένες στα είδη για ορθότερες εκτιμήσεις. Το συγκεκριμένο εύρημα συμφωνεί και με τη μελέτη των Pandey et al. (2021) όπου κατά τη σύγκριση αλλομετρικών εξισώσεων προέκυψε η ανάγκη για ανάπτυξη αλλομετρικών μοντέλων πρόβλεψης βιομάζας με βάση το φυτικό είδος και τις συνθήκες της περιοχής, καθώς επίσης θεώρησαν ότι η εφαρμογή γενικευμένων μοντέλων μπορεί να μην είναι αντιπροσωπευτική.

Τα συνολικά αποτελέσματα της μελέτης όσον αφορά τη σύγκριση των έξι μεθόδων υπολογισμού CO₂ seq, υποδεικνύουν ότι δεν υπάρχει συνάφεια μεταξύ των μεθόδων αποδίδοντας διαφορετικά αποτελέσματα ανάλογα με τις συνθήκες κατασκευής της. Σε περίπτωση απουσίας ειδικευμένων αλλομετρικών εξισώσεων οι συνθήκες που επικρατούν σε κάθε περίπτωση (έκταση, κλίμα, γένος/είδος), θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την επιλογή αλλομετρικής εξίσωσης για τη λήψη όσο το δυνατόν ακριβέστερων μετρήσεων. Ωστόσο η προσέγγιση αυτή δεν αναιρεί την ανάγκη για δημιουργία ειδικών εξισώσεων βασιζόμενες τόσο στο είδος όσο και στην τοποθεσία για βελτιωμένη ακρίβεια ή/και μείωση της αβεβαιότητας των μετρήσεων δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα.

Τα αποτελέσματα που αφορούν στο σημείο μετάβασης από την καθαρή εκπομπή στην καθαρή απορρόφηση άνθρακα στη βιομάζα δέντρων μικτών οπωρώνων για τις δύο δασικές μεθόδους M4 και M5, υποδεικνύουν μη συμβατότητα τους λόγω αρνητικών τιμών στις εκτιμήσεις (Πίνακας Σ5.3). Ο μέσος όρος τιμών καθαρής απορρόφησης άνθρακα στη βιομάζα δέντρων μικτών οπωρώνων (1.65 Mg C ha⁻¹) που καταγράφηκε στην παρούσα μελέτη (μέθοδος M1) εμπίπτει στο εύρος των αποτελεσμάτων των Scandellari et al., (2016), όπου σε ώριμα οικοσυστήματα οπωροφόρων δένδρων παρουσιάστηκε καθαρό ισοζύγιο άνθρακα οικοσυστήματος (που κυμάνθηκε από 0,6 έως 5,9 t C ha⁻¹ y⁻¹), υποδεικνύοντας τη δυνατότητα αυτών των συστημάτων να αποθηκεύουν άνθρακα. Ωστόσο, στην παρούσα έρευνα λήφθηκε υπόψη μόνο η δέσμευση στα ξυλώδη μέρη των δέντρων και όχι οι εκπομπές και απορροφήσεις από άλλες συνιστώσες του αγροοικοσυστήματος (λίπανση, κλαδέματα, κλπ). Καθώς μια δεξαμενή άνθρακα προκύπτει όταν η δέσμευση άνθρακα είναι υψηλότερη

από τις εκπομπές άνθρακα κατά την ίδια περίοδο, τα αποτελέσματα καθαρού ισοζυγίου άνθρακα στη βιομάζα των δέντρων συνεισφέρουν στην κατανόηση των ωφελειών από τη δέσμευση του άνθρακα σε μικτούς οπωρώνες. Η παρούσα μελέτη εξετάζει μόνο το ισοζύγιο σε επίπεδο βιομάζας δέντρου, ενώ ένα ισοζύγιο άνθρακα σε επίπεδο οικοσυστήματος θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη ανάμεσα σε άλλα την κατανομή εντός του φυτού (μέρος αποθηκεύεται στα πολυετή όργανα), τις εκροές στους καρπούς και τη μεταφορά στο έδαφος (κλαδεύματα, φύλλα, νεκρές ρίζες) (Panzacchi et al., 2012). Σημαντικός περιορισμός στη παρούσα έρευνα ήταν η έλλειψη εξειδικευμένων αλλομετρικών εξισώσεων υπολογισμού ολικής βιομάζας δέντρων για αρκετά από τα καλλιεργούμενα είδη της μελέτης όπου θα οδηγούσαν σε περισσότερες συγκρίσεις και εξαγωγή συμπερασμάτων μεταξύ των μεθόδων για εκτίμηση της ικανότητας των οπωρώνων για CO₂seq. Επιπρόσθετο περιορισμό αποτέλεσε η χρονική διάρκεια της έρευνας (ένα έτος), καθώς η διαδικασία λήψης των δεδομένων είναι απαιτητική σε χρόνο και κόστος για ένα εύρος 49 οπωρώνων παγκύπρια.

5.5 Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα της μελέτης καταδεικνύουν ότι η δενδροκαλλιέργεια σε μικτούς οπωρώνες συμβάλλει σημαντικά ως δεξαμενή άνθρακα στη γεωργική γη. Ωστόσο η εφαρμογή στην παρούσα μελέτη γενικευμένων αλλομετρικών εξισώσεων, οι οποίες χρησιμοποιούνται ευρέως στη βιβλιογραφία δεν παρουσιάζει αποτελέσματα που να επιβεβαιώνουν την καταλληλότητα τους για χρήση σε γεωργικά είδη για την εκτίμηση ολικής βιομάζας και δέσμευσης άνθρακα. Σε περίπτωση απουσίας κάθε εξίσωσης για μια δεδομένη περιοχή και είδος, οι ειδικευμένες αλλομετρικές εξισώσεις θα πρέπει να έχουν προτεραιότητα έναντι των γενικευμένων. Παρόλο που οι αλλομετρικές εξισώσεις ποικίλλουν και αποδίδουν διαφορετικές μετρήσεις λόγω των διαφόρων παραμέτρων που λαμβάνονται υπόψη σε κάθε μια, η μέθοδος των Ledo et al., (2018) επιλέχθηκε ως προσεγγιστική μέθοδος για όλα τα φυλλοβόλα είδη της μελέτης λόγω της εγγύτητας της με τις κλιματικές συνθήκες και τα εξεταζόμενα είδη. Η υιοθέτηση και εφαρμογή αλλομετρικών εξισώσεων παρέχει τη δυνατότητα να δημιουργηθούν σενάρια βάσης (baseline scenarios) της εκτιμώμενης βιομάζας, δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα σε γεωργικά τοπία, παρέχοντας εύκολες και οικονομικά αποδοτικές πληροφορίες στις στρατηγικές αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής. Η συμβολή των οπωρώνων στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ως χερσαία δεξαμενή άνθρακα θα πρέπει να ληφθεί υπόψη από τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής (Scandellari et al., 2017), μέσω στήριξης των δενδροκαλλιεργητών (κρατικές επιδοτήσεις, ενισχύσεις, εκπαίδευσεις κ.α.) για ενίσχυση και ανάπτυξη των εργασιών τους.

Για ακριβέστερες εκτιμήσεις της ικανότητας των μικτών οπωρώνων να δεσμεύουν άνθρακα και να λειτουργούν κυρίως ως δεξαμενές, απαιτείται περαιτέρω έρευνα η οποία να λαμβάνει υπόψη τα βιομετρικά χαρακτηριστικά κάθε ξεχωριστού φυτικού είδους, τις εδαφοκλιματικές συνθήκες και τη μεταβολή της παραγόμενης βιομάζας στις διάφορες φαινολογικές φάσεις των δέντρων για τη διατήρηση ισορροπίας μεταξύ απόδοσης και βλαστικής ανάπτυξης. Η λήψη των πιο πάνω δεδομένων για μια σειρά ετών, σε συνδυασμό με εργαστηριακές αναλύσεις υπολογισμού άνθρακα στη βιομάζα δέντρων, μπορούν να παράγουν αλλομετρικές εξισώσεις που να αφορούν τα πιο πάνω είδη στην Κύπρο.

Βιβλιογραφία

- Abich, A., Mucheye, T., Tebikew, M., Gebremariam, Y., & Alemu, A. (2018). Species-specific allometric equations for improving aboveground biomass estimates of dry deciduous woodland ecosystems. *Journal of Forestry Research*, *30*(5), 1619–1632. <https://doi.org/10.1007/s11676-018-0707-5>
- Almagro, M., López, J., Boix-Fayos, C., Albaladejo, J., & Martínez-Mena, M. (2010). Belowground carbon allocation patterns in a dry Mediterranean ecosystem: A comparison of two models. *Soil Biology and Biochemistry*, *42*(9), 1549–1557. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.05.031>
- Alvarez, E., Duque, A., Saldarriaga, J., Cabrera, K., de las Salas, G., del Valle, I., Lema, A., Moreno, F., Orrego, S., & Rodríguez, L. (2012). Tree above-ground biomass allometries for carbon stocks estimation in the natural forests of Colombia. *Forest Ecology and Management*, *267*, 297–308. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.12.013>
- Ameztegui, A., Rodrigues, M., & Granda, V. (2022). Uncertainty of biomass stocks in Spanish forests: a comprehensive comparison of allometric equations. *European Journal of Forest Research*. <https://doi.org/10.1007/s10342-022-01444-w>
- Annighöfer, P., Mölder, I., Zerbe, S., Kawaletz, H., Terwei, A., & Ammer, C. (2012). Biomass functions for the two alien tree species *Prunus serotina* Ehrh. and *Robinia pseudoacacia* L. in floodplain forests of Northern Italy. *European Journal of Forest Research*, *131*(5), 1619–1635. <https://doi.org/10.1007/s10342-012-0629-2>
- Asbjornsen, H., Hernandez-Santana, V., Liebman, M., Bayala, J., Chen, J., Helmers, M., Ong, C. K., & Schulte, L. A. (2013). Targeting perennial vegetation in agricultural landscapes for enhancing ecosystem services. *Renewable Agriculture and Food Systems*, *29*(2), 101–125. <https://doi.org/10.1017/s1742170512000385>
- Balafoutis, A., Beck, B., Fountas, S., Vangeyte, J., Wal, T., Soto, I., Gómez-Barbero, M., Barnes, A., & Eory, V. (2017). Precision Agriculture Technologies Positively Contributing to GHG Emissions Mitigation, Farm Productivity and Economics. *Sustainability*, *9*(8), 1339. <https://doi.org/10.3390/su9081339>
- Bilanzdija, N., Voca, N., Kricka, T., Matin, A., & Jurisic, V. (2012). Energy potential of fruit tree pruned biomass in Croatia. *Spanish Journal of Agricultural Research*, *10*(2), 292. <https://doi.org/10.5424/sjar/2012102-126-11>
- Bithas, K., & Latinopoulos, D. (2021). Managing tree-crops for climate mitigation. An economic evaluation trading-off carbon sequestration with market goods. *Sustainable Production and Consumption*, *27*, 667–678.

<https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.01.033>

- Brown, S. (1997). Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: A Primer. *FAO Forestry Paper*, 134.
- Brown, S. (2002). Measuring carbon in forests: current status and future challenges. *Environmental Pollution*, 116(3), 363–372. [https://doi.org/10.1016/s0269-7491\(01\)00212-3](https://doi.org/10.1016/s0269-7491(01)00212-3)
- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M. A., Chambers, J. Q., Eamus, D., Fölster, H., Fromard, F., Higuchi, N., Kira, T., Lescure, J.-P., Nelson, B. W., Ogawa, H., Puig, H., Riéra, B., & Yamakura, T. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145(1), 87–99. <https://doi.org/10.1007/s00442-005-0100-x>
- Chave, J., Réjou-Méchain, M., Búrquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M. S., Delitti, W. B. C., Duque, A., Eid, T., Fearnside, P. M., Goodman, R. C., Henry, M., Martínez-Yrizar, A., Mugasha, W. A., Muller-Landau, H. C., Mencuccini, M., Nelson, B. W., Ngomanda, A., Nogueira, E. M., Ortiz-Malavassi, E., & Péliissier, R. (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, 20(10), 3177–3190. <https://doi.org/10.1111/gcb.12629>
- Chen, J., Manevski, K., Lærke, P. E., & Jørgensen, U. (2022). Biomass yield, yield stability and soil carbon and nitrogen content under cropping systems destined for biorefineries. *Soil and Tillage Research*, 221, 105397. <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105397>
- da Silva, L. J. R., Souza, T., Laurindo, L. K., Nascimento, G. dos S., de Lucena, E. O., & Freitas, H. (2022). Aboveground Biomass, Carbon Sequestration, and Yield of *Pyrus pyrifolia* under the Management of Organic Residues in the Subtropical Ecosystem of Southern Brazil. *Agronomy*, 12(2), 231. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020231>
- Daba, D. E., & Soromessa, T. (2019). The accuracy of species-specific allometric equations for estimating aboveground biomass in tropical moist montane forests: case study of *Albizia grandibracteata* and *Trichilia dregeana*. *Carbon Balance and Management*, 14(1). <https://doi.org/10.1186/s13021-019-0134-8>
- Daniel, J. (2012). *Sampling Essentials: Practical Guidelines for Making Sampling Choices*. <https://doi.org/10.4135/9781452272047>
- Delitti, W. B. C., Meguro, M., & Pausas, J. G. (2006). Biomass and mineral mass estimates in a “cerrado” ecosystem. *Revista Brasileira de Botânica*, 29(4), 531–540. <https://doi.org/10.1590/s0100-84042006000400003>

- Demetriou, D., Stillwell, J., & See, L. (2013). A new methodology for measuring land fragmentation. *Computers, Environment and Urban Systems*, 39, 71–80. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2013.02.001>
- Dhankher, O. P., & Foyer, C. H. (2018). Climate resilient crops for improving global food security and safety. *Plant, Cell & Environment*, 41(5), 877–884. <https://doi.org/10.1111/pce.13207>
- Du, C., Li, L., & Effah, Z. (2022). Effects of Straw Mulching and Reduced Tillage on Crop Production and Environment: A Review. *Water*, 14(16), 2471. <https://doi.org/10.3390/w14162471>
- FAO. (2012). *Global Ecological Zones for FAO Forest Reporting: 2010 Update. Working Paper 179*. <https://www.fao.org/3/ap861e/ap861e00.pdf>
- FAO. (2017). *The future of food and agriculture – Trends and challenges*. <https://www.fao.org/3/i6583e/I6583E.pdf>
- Fathi, L., Hasanagić, R., Iranmanesh, Y., Dahmardeh Ghalehno, M., Humar, M., & Bahmani, M. (2022). Physical and chemical properties of three wild almond wood species grown in Zagros forests. *Les/Wood*, 71(1), 23–30. <https://doi.org/10.26614/les-wood.2022.v71n01a03>
- Feldpausch, T. R., Lloyd, J., Lewis, S. L., Brienen, R. J. W., Gloor, M., Monteagudo Mendoza, A., Lopez-Gonzalez, G., Banin, L., Abu Salim, K., Affum-Baffoe, K., Alexiades, M., Almeida, S., Amaral, I., Andrade, A., Aragão, L. E. O. C., Araujo Murakami, A., Arets, E. J. M. M., Arroyo, L., Aymard C., G. A., & Baker, T. R. (2012). Tree height integrated into pantropical forest biomass estimates. *Biogeosciences*, 9(8), 3381–3403. <https://doi.org/10.5194/bg-9-3381-2012>
- Forrester, D. I., Tachauer, I. H. H., Annighoefer, P., Barbeito, I., Pretzsch, H., Ruiz-Peinado, R., Stark, H., Vacchiano, G., Zlatanov, T., Chakraborty, T., Saha, S., & Sileshi, G. W. (2017). Generalized biomass and leaf area allometric equations for European tree species incorporating stand structure, tree age and climate. *Forest Ecology and Management*, 396, 160–175. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.04.011>
- Fransen, B. (2019, August 5). *How to calculate CO2 sequestration*. EcoMatcher. <https://test6.ecomatcher.com/how-to-calculate-co2-sequestration/>
- Funes, I., Molowny-Horas, R., Savé, R., De Herralde, F., Aranda, X., & Vayreda, J. (2022). Carbon stocks and changes in biomass of Mediterranean woody crops over a six-year period in NE Spain. *Agronomy for Sustainable Development*, 42(5). <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00827-y>
- Gerten, D., Heck, V., Jägermeyr, J., Bodirsky, B. L., Fetzer, I., Jalava, M., Kummu, M.,

- Lucht, W., Rockström, J., Schaphoff, S., & Schellnhuber, H. J. (2020). Feeding ten billion people is possible within four terrestrial planetary boundaries. *Nature Sustainability*, 3(3), 200–208. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0465-1>
- Gomiero, T., Pimentel, D., & Paoletti, M. G. (2011). Environmental Impact of Different Agricultural Management Practices: Conventional vs. Organic Agriculture. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 30(12), 95–124. <https://doi.org/10.1080/07352689.2011.554355>
- Griscom, B. W., Adams, J., Ellis, P. W., Houghton, R. A., Lomax, G., Miteva, D. A., Schlesinger, W. H., Shoch, D., Siikamäki, J. V., Smith, P., Woodbury, P., Zganjar, C., Blackman, A., Campari, J., Conant, R. T., Delgado, C., Elias, P., Gopalakrishna, T., Hamsik, M. R., & Herrero, M. (2017). Natural climate solutions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(44), 11645–11650. <https://doi.org/10.1073/pnas.1710465114>
- Hajjar, R., Jarvis, D. I., & Gemmill-Herren, B. (2008). The utility of crop genetic diversity in maintaining ecosystem services. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 123(4), 261–270. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2007.08.003>
- Henry, R. J., Furtado, A., & Rangan, P. (2020). Pathways of Photosynthesis in Non-Leaf Tissues. *Biology*, 9(12), 438. <https://doi.org/10.3390/biology9120438>
- Hutchinson, J. J., Campbell, C. A., & Desjardins, R. L. (2007). Some perspectives on carbon sequestration in agriculture. *Agricultural and Forest Meteorology*, 142(2), 288–302. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.03.030>
- Iglesias, D. J., Quiñones, A., Font, A., Martínez-Alcántara, B., Forner-Giner, M. Á., Legaz, F., & Primo-Millo, E. (2013). Carbon balance of citrus plantations in Eastern Spain. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 171, 103–111. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.03.015>
- Ioannidou, S. C., Litskas, V. D., Stavriniades, M. C., & Vogiatzakis, I. N. (2022). Linking management practices and soil properties to Ecosystem Services in Mediterranean mixed orchards. *Ecosystem Services*, 53, 101378. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101378>
- IPCC. (2008). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – A primer, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme* (S. Eggleston, K. Miwa, N. Srivastava, & K. Tanabe, Eds.). Institute for Global Environmental Strategies.
- IPCC. (2018). Summary for Policymakers. In V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R.

- Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, & T. Waterfield (Eds.), *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* (pp. 1–24). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157940.001>
- IPCC. (2019). *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (C. Buendia, K. Tanabe, A. Kranjc, J. Baasansuren, M. Fukuda, S. Ngarize, A. Osako, Y. Pyrozhenko, P. Shermanau, & S. Federici, Eds.). IPCC.
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. Connors, C. Péan, Y. Chen, L. Goldfarb, M. Gomis, J. Matthews, S. Berger, M. Huang, O. Yelekçi, R. Yu, B. Zhou, E. Lonnoy, T. Maycock, T. Waterfield, K. Leitzell, & N. Caud, Eds.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
- Johnson, A. D., & Gerhold, H. D. (2003). Carbon storage by urban tree cultivars, in roots and above-ground. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2(2), 65–72. <https://doi.org/10.1078/1618-8667-00024>
- Johnson, A., & Gerhold, H. (2001). Carbon Storage by Utility-Compatible Trees. *Arboriculture & Urban Forestry*, 27(2), 57–68. <https://doi.org/10.48044/jauf.2001.008>
- Kebede, B., & Soromessa, T. (2018). Allometric equations for aboveground biomass estimation of *Olea europaea* L. subsp. *cuspidata* in Mana Angetu Forest. *Ecosystem Health and Sustainability*, 4(1), 1–12. <https://doi.org/10.1080/20964129.2018.1433951>
- Khalsa, S. D. S., Smart, D. R., Muhammad, S., Armstrong, C. M., Sanden, B. L., Houlton, B. Z., & Brown, P. H. (2020). Intensive fertilizer use increases orchard N cycling and lowers net global warming potential. *Science of the Total Environment*, 722, 137889. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137889>
- Kuyah, S., Dietz, J., Muthuri, C., Jamnadass, R., Mwangi, P., Coe, R., & Neufeldt, H. (2012). Allometric equations for estimating biomass in agricultural landscapes: I. Aboveground biomass. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 158, 216–224. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.05.011>
- Lal, R. (2015). Sequestering carbon and increasing productivity by conservation agriculture.

Journal of Soil and Water Conservation, 70(3), 55A62A.
<https://doi.org/10.2489/jswc.70.3.55a>

- Laungani, R., & Knops, J. M. H. (2009). The impact of co-occurring tree and grassland species on carbon sequestration and potential biofuel production. *GCB Bioenergy*, 1(6), 392–403. <https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2009.01031.x>
- Ledo, A., Heathcote, R., Hastings, A., Smith, P., & Hillier, J. (2018). Perennial-GHG: A new generic allometric model to estimate biomass accumulation and greenhouse gas emissions in perennial food and bioenergy crops. *Environmental Modelling & Software*, 102, 292–305. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.12.005>
- Litskas, V. D., Tzortzakis, N., & Stavrinides, M. C. (2020). Determining the Carbon Footprint and Emission Hotspots for the Wine Produced in Cyprus. *Atmosphere*, 11, 463. <https://doi.org/10.3390/atmos11050463>.
- Liu, C., Cutforth, H., Chai, Q., & Gan, Y. (2016). Farming tactics to reduce the carbon footprint of crop cultivation in semiarid areas. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(4). <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0404-8>
- Malhi, G. S., Kaur, M., & Kaushik, P. (2021). Impact of Climate Change on Agriculture and Its Mitigation Strategies: A Review. *Sustainability*, 13(3), 1318. <https://doi.org/10.3390/su13031318>
- Martinez-Yrizar, A., Sarukhan, J., Perez-Jimenez, A., Rincon, E., Maass, J. M., Solis-Magallanes, A., & Cervantes, L. (1992). Above-ground phytomass of a tropical deciduous forest on the coast of Jalisco, México. *Journal of Tropical Ecology*, 8(01), 87–96. <https://doi.org/10.1017/s0266467400006131>
- McEwan, R. W., Lin, Y.-C., Sun, I-Fang., Hsieh, C.-F., Su, S.-H., Chang, L.-W., Song, G.-Z. M., Wang, H.-H., Hwong, J.-L., Lin, K.-C., Yang, K.-C., & Chiang, J.-M. (2011). Topographic and biotic regulation of aboveground carbon storage in subtropical broad-leaved forests of Taiwan. *Forest Ecology and Management*, 262(9), 1817–1825. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.07.028>
- Mehmood, I., Bari, A., Irshad, S., Khalid, F., Liaqat, S., Anjum, H., & Fahad, S. (2020). Carbon cycle in response to global warming. In S. Fahad, M. Hasanuzzaman, M. Alam, H. Ullah, M. Saeed, A. Khan, & M. Adnan (Eds.), *Environment, Climate, Plant and Vegetation Growth* (pp. 1–15). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-49732-3%E2%82%81>
- Minasny, B., Malone, B. P., McBratney, A. B., Angers, D. A., Arrouays, D., Chambers, A., Chaplot, V., Chen, Z.-S., Cheng, K., Das, B. S., Field, D. J., Gimona, A., Hedley, C. B., Hong, S. Y., Mandal, B., Marchant, B. P., Martin, M., McConkey, B. G., Mulder,

- V. L., & O'Rourke, S. (2017). Soil carbon 4 per mille. *Geoderma*, 292, 59–86. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.01.002>
- Miranda, C., Santesteban, L. G., Escalona, J. M., De Herralde, F., Aranda, X., Nadal, M., Intrigliolo, D. S., Castel, J. R., Royo, J. B., & Medrano, H. (2017). Allometric relationships for estimating vegetative and reproductive biomass in grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 23(3), 441–451. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12285>
- Montanaro, G., Amato, D., Briglia, N., Russo, C., & Nuzzo, V. (2021). Carbon Fluxes in Sustainable Tree Crops: Field, Ecosystem and Global Dimension. *Sustainability*, 13(16), 8750. <https://doi.org/10.3390/su13168750>
- Montanaro, G., Xiloyannis, C., Nuzzo, V., & Dichio, B. (2017). Orchard management, soil organic carbon and ecosystem services in Mediterranean fruit tree crops. *Scientia Horticulturae*, 217, 92–101. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.01.012>
- Nabi, S., Qaisar, K. N., Ahmad Rather, S., Khan, P. A., & Nabi, B. (2017). Fuelwood Characteristics of Some Important Tree Species in Prevalent Agroforestry Systems of District Budgam, Kashmir Valley. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(11), 3801–3806. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.611.445>
- Nouri, A., Lee, J., Yin, X., Saxton, A. M., Tyler, D. D., Sykes, V. R., & Arelli, P. (2019). Crop species in no-tillage summer crop rotations affect soil quality and yield in an Alfisol. *Geoderma*, 345, 51–62. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.02.026>
- Pandey, H. P., Bhandari, S. K., & Harrison, S. (2021). Comparison among allometric models for tree biomass estimation using non-destructive trees' data. *Tropical Ecology*. <https://doi.org/10.1007/s42965-021-00210-0>
- Panzacchi, P., Tonon, G., Ceccon, C., Scandellari, F., Ventura, M., Zibordi, M., & Tagliavini, M. (2012). Belowground carbon allocation and net primary and ecosystem productivities in apple trees (*Malus domestica*) as affected by soil water availability. *Plant and Soil*, 360(1-2), 229–241. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1235-2>
- Pardo, G., del Prado, A., Martínez-Mena, M., Bustamante, M. A., Martín, J. A. R., Álvaro-Fuentes, J., & Moral, R. (2017). Orchard and horticulture systems in Spanish Mediterranean coastal areas: Is there a real possibility to contribute to C sequestration? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 238, 153–167. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.09.034>
- Paustian, K., Lehmann, J., Ogle, S., Reay, D., Robertson, G. P., & Smith, P. (2016). Climate-

- smart soils. *Nature*, 532(7597), 49–57. <https://doi.org/10.1038/nature17174>
- Peel, M. C., Finlayson, B. L., & McMahon, T. A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11(5), 1633–1644. <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>
- Plassmann, K., & Norton, A. (2017). Recognizing the benefits of above-ground carbon sequestration in the carbon footprint of products derived from woody perennial systems. *Carbon Management*, 8(4), 343–349. <https://doi.org/10.1080/17583004.2017.1362947>
- Plénet, D., Borg, J., Barra, Q., Bussi, C., Gomez, L., Memah, M.-M., Lescourret, F., & Vercambre, G. (2022). Net primary production and carbon budget in peach orchards under conventional and low input management systems. *European Journal of Agronomy*, 140, 126578. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126578>
- Quiñones, A., Martínez-Alcántara, B., Font, A., Forner-Giner, M. Á., Legaz, F., Primo-Millo, E., & Iglesias, D. J. (2013). Allometric Models for Estimating Carbon Fixation in Citrus Trees. *Agronomy Journal*, 105(5), 1355–1366. <https://doi.org/10.2134/agronj2013.0015>
- Raza, A., Razzaq, A., Mehmood, S. S., Zou, X., Zhang, X., Lv, Y., & Xu, J. (2019). Impact of Climate Change on Crops Adaptation and Strategies to Tackle Its Outcome: A Review. *Plants*, 8(2). <https://doi.org/10.3390/plants8020034>
- Rosenzweig, C., Elliott, J., Deryng, D., Ruane, A. C., Müller, C., Arneth, A., Boote, K. J., Folberth, C., Glotter, M., Khabarov, N., Neumann, K., Piontek, F., Pugh, T. A. M., Schmid, E., Stehfest, E., Yang, H., & Jones, J. W. (2013). Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(9), 3268–3273. <https://doi.org/10.1073/pnas.1222463110>
- Rossi, F., Chieco, C., Virgilio, N. D., Georgiadis, T., & Nardino, M. (2021). Is Agriculture Always a GHG Emitter? A Combination of Eddy Covariance and Life Cycle Assessment Approaches to Calculate C Intake and Uptake in a Kiwifruit Orchard. *Sustainability*, 13(12), 6906. <https://doi.org/10.3390/su13126906>
- Roussos, P. A., & Gasparatos, D. (2009). Apple tree growth and overall fruit quality under organic and conventional orchard management. *Scientia Horticulturae*, 123(2), 247–252. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.09.011>
- Scandellari, F., Caruso, G., Liguori, G., Meggio, F., Palese Assunta, M., Zanutelli, D., Celano, G., Gucci, R., Inglese, P., Pitacco, A., & Tagliavini, M. (2016). A survey of carbon sequestration potential of orchards and vineyards in Italy. *European Journal*

- of *Horticultural Science*, 81(2), 106–114. <https://doi.org/10.17660/ejhs.2016/81.2.4>
- Scialabba, N. E.-H., & Müller-Lindenlauf, M. (2010). Organic agriculture and climate change. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 25(2), 158–169. <https://doi.org/10.1017/s1742170510000116>
- Sharma, S., Rana, V. S., Prasad, H., Lakra, J., & Sharma, U. (2021). Appraisal of Carbon Capture, Storage, and Utilization Through Fruit Crops. *Frontiers in Environmental Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.700768>
- Snyder, C. S., Bruulsema, T. W., Jensen, T. L., & Fixen, P. E. (2009). Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 133(3-4), 247–266. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.04.021>
- Stephenson, N. L., Das, A. J., Condit, R., Russo, S. E., Baker, P. J., Beckman, N. G., Coomes, D. A., Lines, E. R., Morris, W. K., Rüger, N., Álvarez, E., Blundo, C., Bunyavejchewin, S., Chuyong, G., Davies, S. J., Duque, Á., Ewango, C. N., Flores, O., Franklin, J. F., & Grau, H. R. (2014). Rate of tree carbon accumulation increases continuously with tree size. *Nature*, 507(7490), 90–93. <https://doi.org/10.1038/nature12914>
- Stylianou, A., Sdrali, D., & Apostolopoulos, C. D. (2020). Capturing the diversity of Mediterranean farming systems prior to their sustainability assessment: The case of Cyprus. *Land Use Policy*, 96, 104722. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104722>
- Toensmeier, E. (2017). Perennial Staple Crops and Agroforestry for Climate Change Mitigation. *Advances in Agroforestry*, 439–451. https://doi.org/10.1007/978-3-319-69371-2_18
- Vahedi, A. A. (2016). Artificial neural network application in comparison with modeling allometric equations for predicting above-ground biomass in the Hyrcanian mixed-beech forests of Iran. *Biomass and Bioenergy*, 88, 66–76. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.03.020>
- Vicente-Vicente, J. L., García-Ruiz, R., Francaviglia, R., Aguilera, E., & Smith, P. (2016). Soil carbon sequestration rates under Mediterranean woody crops using recommended management practices: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 235, 204–214. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.10.024>
- Vorster, A. G., Evangelista, P. H., Stovall, A. E. L., & Ex, S. (2020). Variability and uncertainty in forest biomass estimates from the tree to landscape scale: the role of allometric equations. *Carbon Balance and Management*, 15(1).

<https://doi.org/10.1186/s13021-020-00143-6>

- Wang, W., Zhang, H., Mo, F., Liao, Y., & Wen, X. (2022). Reducing greenhouse gas emissions and improving net ecosystem economic benefit through long-term conservation tillage in a wheat-maize multiple cropping system in the Loess Plateau, China. *European Journal of Agronomy*, *141*, 126619. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126619>
- Wendling, M., Charles, R., Herrera, J., Amossé, C., Jeangros, B., Walter, A., & Büchi, L. (2019). Effect of species identity and diversity on biomass production and its stability in cover crop mixtures. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *281*, 81–91. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.04.032>
- Winzer, F., Kraska, T., Elsenberger, C., Kötter, T., & Pude, R. (2017). Biomass from fruit trees for combined energy and food production. *Biomass and Bioenergy*, *107*, 279–286. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.10.027>
- Wu, T., Wang, Y., Yu, C., Chiarawipa, R., Zhang, X., Han, Z., & Wu, L. (2012). Carbon Sequestration by Fruit Trees - Chinese Apple Orchards as an Example. *PLoS ONE*, *7*(6), e38883. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0038883>
- Yadav, S. K., Singh, S., & Gupta, R. (2019). Sampling Methods. *Biomedical Statistics*, 71–83. https://doi.org/10.1007/978-981-32-9294-9_9
- Yasin, G., Farrakh Nawaz, M., Zubair, M., Qadir, I., Saleem, A. R., Ijaz, M., Gul, S., Amjad Bashir, M., Rehim, A., Rahman, S. U., & Du, Z. (2021). Assessing the Contribution of Citrus Orchards in Climate Change Mitigation through Carbon Sequestration in Sargodha District, Pakistan. *Sustainability*, *13*(22), 12412. <https://doi.org/10.3390/su132212412>
- Zanne, A. E., Lopez-Gonzalez, G., Coomes, D. A., Ilic, J., Jansen, S., Lewis, S. L., Miller, R. B., Swenson, N. G., Wiemann, M. C., & Chave, J. (2009). *Data from: Towards a worldwide wood economics spectrum*. Dryad Digital Repository. doi:10.5061/dryad.234
- Zhao, C., Liu, B., Piao, S., Wang, X., Lobell, D. B., Huang, Y., Huang, M., Yao, Y., Bassu, S., Ciais, P., Durand, J.-L., Elliott, J., Ewert, F., Janssens, I. A., Li, T., Lin, E., Liu, Q., Martre, P., Müller, C., & Peng, S. (2017). Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *114*(35), 9326–9331. <https://doi.org/10.1073/pnas.1701762114>
- Zianis, D., & Mencuccini, M. (2003). Aboveground biomass relationships for beech (*Fagus moesiaca* Cz.)

trees in Vermio Mountain, Northern Greece, and generalised equations for *Fagus* sp. *Annals of Forest Science*, 60(5), 439–448. <https://doi.org/10.1051/forest:2003036>

Zomer, R. J., Neufeldt, H., Xu, J., Ahrends, A., Bossio, D., Trabucco, A., van Noordwijk, M., & Wang, M. (2016). Global Tree Cover and Biomass Carbon on Agricultural Land: The contribution of agroforestry to global and national carbon budgets. *Scientific Reports*, 6(1). <https://doi.org/10.1038/srep29987>

Κεφάλαιο 6

Συζήτηση και Συμπεράσματα

Γενικά

Η διερεύνηση της δυναμικής σχέσης και αλληλεξάρτησης μεταξύ των γεωργικών πρακτικών (ΓΠ) που εφαρμόζονται σε αγροτικά οικοσυστήματα οπωρώνων φυλλοβόλων στην Κύπρο και των συναφών τους παρεχόμενων οικοσυστημικών υπηρεσιών (ΟΥ) αποτέλεσε τον κύριο ερευνητικό σκοπό της παρούσας μελέτης. Για τη διερεύνηση του στόχου αυτού, στα υπό μελέτη γεωργικά συστήματα βιολογικής και συμβατικής γεωργίας σε φυλλοβόλους οπωρώνες στην Κύπρο πραγματοποιήθηκαν τα ακόλουθα: α) διερεύνηση της σύνδεσης και επίδρασης των γεωργικών πρακτικών διαχείρισης που εφαρμόζονται από τους αγρότες στις σχετικές οικοσυστημικές υπηρεσίες παροχής, ρύθμισης/υποστηρικτικές και πολιτιστικές, β) σύνδεση των οικοσυστημικών υπηρεσιών με τις παραμέτρους του πλέγματος «Νερό-Τροφή-Ενέργεια-Κλίμα» και τοποθέτησή τους στο πλαίσιο και γ) διερεύνηση και αξιολόγηση της ικανότητας για δέσμευση και αποθήκευση άνθρακα σε μικτούς οπωρώνες και του ρόλου τους στο μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής.

6.1 Σύνοψη κύριων ευρημάτων

Τα κύρια ευρήματα που προκύπτουν από την παρούσα μελέτη συνοψίζονται και διατυπώνονται με βάση τα κύρια ερευνητικά ερωτήματα που παρατίθενται στο Κεφάλαιο 1 (Ενότητα 1.4.). Ανώτερος σκοπός των ευρημάτων είναι η συμβολή στην κατανόηση των συνδέσεων μεταξύ οικοσυστημικών υπηρεσιών και γεωργικών πρακτικών σε οπωρώνες, συμβάλλοντας τόσο στη δημιουργία νέων γνώσεων αλλά και στην ενίσχυση των υφιστάμενων γνώσεων, έτσι ώστε να μπορούν δυνητικά να χρησιμοποιηθούν από τους φορείς και εμπλεκόμενα μέρη στον τομέα των φυλλοβόλων οπωροφόρων δέντρων στην Κύπρο.

6.1.1 Γεωργικές πρακτικές, ιδιότητες εδάφους και Οικοσυστημικές Υπηρεσίες

Ερευνητικό ερώτημα 1.4.1: α) *Πως συνδέονται και επηρεάζονται οι οικοσυστημικές υπηρεσίες από τις γεωργικές πρακτικές που εφαρμόζουν οι αγρότες κατά την άσκηση της γεωργίας στην Κύπρο;*

- Οι επιδράσεις των γεωργικών πρακτικών (διαχείριση άρδευσης, αντιμετώπιση εχθρών, ασθενειών και ζιζανίων και διαχείριση λίπανσης), των εδαφικών παραμέτρων (εδαφική αναπνοή, ολικό άζωτο, μέγεθος συσσωματωμάτων, οργανική ουσία, τράπεζα σπόρων και ενδο-μυκορριζικοί μύκητες) και των χαρακτηριστικών των εκμεταλλεύσεων (ηλικία δένδρων, έκταση οπωρώνων) ήταν καθοριστικές για την ταξινόμηση και ομαδοποίηση των υπό μελέτη οπωρώνων. Συγκεκριμένα σε 52 οπωρώνες σημειώθηκε σαφής διαχωρισμός των αγροτεμαχίων σε δυο ομάδες, με τις βιολογικές εκμεταλλεύσεις στην πρώτη ομάδα και τις συμβατικές εκμεταλλεύσεις στη δεύτερη (Κεφάλαιο 3, Σχήμα 3.2).
- Η σύνδεση που προκύπτει μεταξύ ΓΠ και ΟΥ σε μεσογειακούς οπωρώνες φυλλοβόλων δένδρων επιβεβαιώνεται μέσα από το ενοποιητικού πλαισίου που αναπτύχθηκε στο Κεφάλαιο 3 (Πίνακας 1), το οποίο ταυτόχρονα καθορίζει και τη μορφή της σχέσης των δύο συνιστωσών. Στους **βιολογικούς οπωρώνες** οι παράμετροι γεωργικές πρακτικές/ιδιότητες εδάφους/χαρακτηριστικά οπωρώνων δρουν σε συνέργεια **υποστηρίζοντας θετικά** τις περισσότερες υπηρεσίες και στις τρεις κατηγορίες **οικοσυστημικών υπηρεσιών (παροχής-ρυθμιστικές-πολιτιστικές)**. Στους **συμβατικούς οπωρώνες** οι παράμετροι γεωργικές πρακτικές/ιδιότητες εδάφους/χαρακτηριστικά οπωρώνων παρουσιάζουν **ενδιάμεση επίδραση (intermediate effect) στις ρυθμιστικές υπηρεσίες**, ενώ από τις προαναφερόμενες παραμέτρους μόνο οι γεωργικές πρακτικές έχουν **θετική επίδραση στις υπηρεσίες παροχής** (Κεφάλαιο 3, Πίνακας 1). Οι **πολιτιστικές υπηρεσίες** **ενοούνται θετικά και στα δυο συστήματα** από τις παραμέτρους γεωργικές πρακτικές/ιδιότητες εδάφους/χαρακτηριστικά οπωρώνων.
- Η επίδραση των γεωργικών πρακτικών κάθε συστήματος (βιολογική έναντι συμβατικής γεωργίας) επί των ποιοτικών χαρακτηριστικών του εδάφους στους αντίστοιχους οπωρώνες της μελέτης έδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές σε όλες τις εδαφικές παραμέτρους (ρυθμός αναπνοής, μέγεθος συσσωματωμάτων, οργανική ουσία, τράπεζα σπόρων, μυκόρριζες) (Κεφάλαιο 3, Σχήμα 3.3). Συγκεκριμένα, οι

εδαφικοί δείκτες ποιότητας που αντιπροσωπεύουν τη χημεία εδάφους (οργανική ουσία), τη βιολογία εδάφους (μυκόρριζες) και τη φυσική εδάφους (μέγεθος συσσωματωμάτων) έλαβαν τιμές αυξημένες κατά 38,25%, 20,68% και 25,20% αντίστοιχα σε εδάφη υπό βιολογική διαχείριση. Επομένως, η **βελτιωμένη εδαφική κατάσταση των μικτών βιολογικών οπωρώνων** σε σύγκριση με τους συμβατικά διαχειριζόμενους οπωρώνες αποδείχθηκε ως αποτέλεσμα των τιμών που υπολογίστηκαν στους προσεγγιστικούς δείκτες ποιότητας εδάφους για κάθε καλλιεργητικό σύστημα (Κεφάλαιο 3, Σχήμα 3.4).

Ερευνητικό ερώτημα 1.4.1: β) Ποιες γεωργικές πρακτικές υποστηρίζουν και ποιες ασκούν πιέσεις στην παροχή οικοσυστημικών υπηρεσιών σε μικτούς οπωρώνες.

- Οι γεωργικές πρακτικές που εφαρμόζουν οι αγρότες όσον αφορά στη **διαχείριση της άρδευσης** των οπωρώνων παρουσιάζουν θετική σύνδεση με τις ΟΥ παροχής και τις πολιτιστικές ΟΥ και στα δυο υπό μελέτη συστήματα. Ωστόσο, οι συμβατικοί οπωρώνες λόγω κυρίως της εφαρμογής της πρακτικής άρδευσης τους με τη μέθοδο των αυλακιών επιδρούν ενδιάμεσα/αρνητικά στις ρυθμιστικές υπηρεσίες, ενώ αντίθετα οι βιολογικοί οπωρώνες υποστηρίζουν σε μεγαλύτερο βαθμό τις υπηρεσίες αυτές (Κεφάλαιο 3, Πίνακας 3.1 και Παράρτημα Α, Πίνακας Σ3.4).
- Η χρήση χημικών φυτοπροστατευτικών σκευασμάτων για τη **διαχείριση εχθρών και ασθενειών** σε συμβατικούς οπωρώνες επιδρά αρνητικά στις ρυθμιστικές υπηρεσίες (κύκλοι θρεπτικών στοιχείων, επικονίαση κ.α.), σε αντίθεση με τη θετική επίδραση που καταγράφεται σε βιολογικούς οπωρώνες λόγω της χρήσης βιολογικών/οργανικών σκευασμάτων ή/και άλλων φυσικών μεθόδων καταπολέμησης εχθρών και ασθενειών (Κεφάλαιο 3, Πίνακας 3.1 και Παράρτημα Α, Πίνακας Σ3.4).
- Κανένα από τα δυο συστήματα (βιολογική και συμβατική γεωργία) δεν ευνοεί την κατηγορία ρυθμιστικές υπηρεσίες κατά τη **διαχείριση ζιζανίων** στους οπωρώνες, λόγω της αυξημένης μηχανικής κατεργασίας εδάφους που εφαρμόζεται ως πρακτική. Επίσης και τα δύο συστήματα έχουν αρνητική επίδραση στην κατηγορία παροχής όσον αφορά στην οικοσυστημική υπηρεσία «γενετικό υλικό», ενώ αντίθετα και τα δυο συστήματα με την εφαρμογή γεωργικών πρακτικών διαχείρισης ζιζανίων όπως η καταστροφή με κατεργασία εδάφους και χορτοκοπή συνδέονται θετικά ως

προς τη οικοσυστημική υπηρεσία «παροχή τροφής» (Κεφάλαιο 3, Πίνακας 3.1 και Παράρτημα Α, Πίνακας Σ3.4).

- Οι πρακτικές που καταγράφηκαν στους υπό μελέτη οπωρώνες σε σχέση με τη **διαχείριση λίπανσης** και στα δύο συστήματα συνδέονται θετικά με την κατηγορία οικοσυστημικών υπηρεσιών παροχής. Οι συμβατικοί οπωρώνες επιδρούν αρνητικά στις ρυθμιστικές ΟΥ. Οι βιολογικοί οπωρώνες παρουσιάζουν θετική κυρίως συσχέτιση στην κατηγορία ρυθμιστικών ΟΥ, εκτός από τη ρυθμιστική υπηρεσία «ατμοσφαιρικές συνθήκες», με αποτέλεσμα και τα δύο συστήματα να εντείνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου και τις συνακόλουθες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, μέσω της αρνητικής συμβολής τους σε εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (Κεφάλαιο 3, Πίνακας 3.1 και Παράρτημα Α, Πίνακας Σ3.4).
- Η υψηλότερη **εδαφική σταθερότητα συσσωματωμάτων** που προκύπτει από την εφαρμογή πρακτικών καταδεικνύει τη θετική συσχέτιση τους με όλες τις σχετικές οικοσυστημικές υπηρεσίες παροχής αλλά και τις ρυθμιστικές. Αντίστοιχα, οι τιμές που καταγράφηκαν στους συμβατικούς οπωρώνες, ήταν χαμηλότερες και οι οπωρώνες αυτοί παρουσιάζουν ενδιάμεση/αρνητική σύνδεση με τις ρυθμιστικές και ΟΥ παροχής (Κεφάλαιο 3, Πίνακας 3.1 και Παράρτημα Α, Πίνακας Σ3.4).
- Οι βιολογικοί οπωρώνες παρουσιάζουν υψηλότερα ποσοστά **οργανικής ουσίας** στα εδάφη τους και θετική σύνδεση με όλες τις ομάδες ΟΥ, έναντι των συμβατικών οπωρώνων οι οποίοι παρουσιάζουν ενδιάμεση (intermediate) σχέση με τις αντίστοιχες ΟΥ (Κεφάλαιο 3, Πίνακας 3.1 και Παράρτημα Α, Πίνακας Σ3.4).
- Η υψηλή παρουσία **εδαφικής τράπεζας σπόρων** στα βιολογικά αγροτεμάχια λόγω των γεωργικών πρακτικών όπως η εφαρμογή κοπριάς, επιδρά αρνητικά στην παροχή τροφής, ενώ παρουσιάζει θετική ή/και ενδιάμεση σύνδεση με άλλες ΟΥ. Αντίθετα, στα συμβατικά αγροτεμάχια οι χαμηλότερες τιμές εδαφικής τράπεζας σπόρων ευνοούν την παροχή τροφής και παρουσιάζουν ενδιάμεση/αρνητική σχέση με τις υπόλοιπες εξεταζόμενες ΟΥ (Κεφάλαιο 3, Πίνακας 3.1 και Παράρτημα Α, Πίνακας Σ3.4).

6.1.2 Σύνδεση ΟΥ με το πλέγμα Νερό-Ενέργεια-Τροφή-Κλίμα (NETK)

Ερευνητικό ερώτημα 1.4.2: Ποιο είναι το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της άσκησης της γεωργίας στα υπό μελέτη συστήματα, αναφορικά με τις ΟΥ και ποια είναι η σύνδεση του με το πλέγμα Νερό-Ενέργεια-Τροφή.

- Κατά την ποσοτικοποίηση και αξιολόγηση των βασικών δεικτών του πλέγματος Νερού-Ενέργειας-Τροφής-Κλίμα η σύγκριση των διάμεσων τιμών υπέδειξε ότι οι συμβατικοί οπωρώνες είχαν σημαντικά υψηλότερη γεωργική απόδοση στον βασικό δείκτης **παραγωγικότητα** (σε Mcal ha⁻¹) σε σχέση με τους βιολογικούς (Κεφάλαιο 4, Σχήματα 4.2Α και 4.3Α) τόσο σε οπωρώνες ακρόδρυων όσο και σε οπωρώνες πυρηνόκαρπων.
- Οι βασικοί περιβαλλοντικοί δείκτες του πλέγματος NETK **αποτύπωμα άνθρακα** (σε kg CO₂-eq ha⁻¹) και **αποτύπωμα νερού** (σε m³ ha⁻¹) παρουσίασαν υψηλότερες τιμές σε συμβατικούς έναντι βιολογικούς οπωρώνες ακρόδρυων και πυρηνοκάρπων. Ο βασικός δείκτης **ενεργειακή ένταση** (σε MJ ha⁻¹) παρουσίασε υψηλότερες τιμές σε συμβατικούς έναντι βιολογικών οπωρώνων ακρόδρυων, ενώ το αντίστροφο αποτέλεσμα καταγράφηκε στην περίπτωση των βιολογικών και συμβατικών οπωρώνων πυρηνοκάρπων. Ωστόσο δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο συστημάτων (βιολογικά και συμβατικά) μικτών οπωρώνων ακρόδρυων και πυρηνόκαρπων στα περιβαλλοντικά αποτυπώματα που αφορούν στους βασικούς δείκτες του πλέγματος NETK αποτύπωμα άνθρακα, αποτύπωμα νερού, ενεργειακή ένταση (Κεφάλαιο 4, Σχήματα 4.2B-Δ και 4.3B-Δ).
- Στους μικτούς οπωρώνες πυρηνοκάρπων, οι **εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου** ανά MCal τροφής, λόγω της παραγωγής και χρήσης πετρελαίου και λιπασμάτων, συσχετίστηκαν σημαντικά με τις εδαφικές παραμέτρους (οργανική ουσία, εδαφική αναπνοή, οργανικό άζωτο, μέγεθος συσσωματωμάτων και τράπεζα σπόρων), την παρουσία μυκόρριζων και τα χαρακτηριστικά της γεωργικής εκμετάλλευσης (ηλικία δέντρων). Από την άλλη πλευρά, δεν παρατηρήθηκε σημαντική συσχέτιση μεταξύ των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και των εδαφικών παραμέτρων, ενδομυκορριζικών μυκήτων και των χαρακτηριστικών του αγροκτίματος για τους μικτούς οπωρώνες ακρόδρυων.

- Σε οπωρώνες πυρηνοκάρπων οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ανά Mcal τροφής συσχετίστηκαν αρνητικά με την ηλικία των δέντρων (Κεφάλαιο 4, Σχήμα 4A) όπου αύξηση της ηλικίας των οπωρώνων καταγράφει μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και θετικά με τη σταθερότητα των εδαφικών συσσωματωμάτων (MWD) όπου αύξηση του μεγέθους των εδαφικών συσσωματωμάτων των οπωρώνων καταγράφει αύξηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (Κεφάλαιο 4, Σχήμα 4.4B).
- Με βάση τις παραμέτρους NETK οι οπωρώνες ομαδοποιήθηκαν σε τρεις ομάδες τόσο στην περίπτωση των μικτών οπωρώνων ακρόδρυων (Κεφάλαιο 4, Σχήμα 4.5A) όσο και στην περίπτωση μικτών οπωρώνων πυρηνόκαρπων (Κεφάλαιο 4, Σχήμα 4.5B). Η ανάλυση συστάδων έδειξε ότι η μέγιστη παραγωγικότητα δεν παρατηρήθηκε μαζί με μέγιστες τιμές των παραμέτρων νερού και ενέργειας του πλέγματος. Κατά συνέπεια οι μέγιστες εισροές σε νερό και ενέργεια στο γεωργικό σύστημα δεν αποδίδουν τη μέγιστη παραγωγικότητα.
- Η ποσοτικοποίηση των βασικών δεικτών του πλέγματος Νερό-Ενέργεια-Τροφή-Κλίμα επιτρέπει τη δημιουργία πλαισίου σύνδεσης με τις οικοσυστημικές υπηρεσίες και αξιολόγηση της υφιστάμενης κατάστασης σε μικτούς οπωρώνες ακρόδρυων (Κεφάλαιο 4, Πίνακας 4.4) και σε μικτούς οπωρώνες πυρηνόκαρπων (Κεφάλαιο 4, Πίνακας 4.5). Συγκεκριμένα η βαθμολογία που συγκεντρώνει κάθε οπωρώνας βάσει των παρεχόμενων κλάσεων για κάθε δείκτη NETK (Κεφάλαιο 4, Συμπληρωματικό υλικό, Σχήματα Σ4.2 και Σ4.3) και Πίνακας 4.2 (Κεφάλαιο 4), λειτουργεί ως προσεγγιστικός δείκτης της ικανότητας για παροχή οικοσυστημικών υπηρεσιών σε κάθε οπωρώνα.
- Κατά τη σύνδεση των βασικών παραμέτρων του πλέγματος Νερό-Ενέργεια-Τροφή-Κλίμα με τις οικοσυστημικές υπηρεσίες στην περίπτωση των μικτών οπωρώνων (Κεφάλαιο 4, Σχήμα 4.6), οι βιολογικοί οπωρώνες ακρόδρυων παρουσίασαν υψηλότερη βαθμολογία και κατά συνέπεια ικανότητα παροχής ΟΥ, έναντι συμβατικών οπωρώνων ακρόδρυων, αλλά και έναντι βιολογικών και συμβατικών οπωρώνων πυρηνοκάρπων.

6.1.3 Εκτίμηση της βιομάζας των δέντρων ως προς την ικανότητα δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα

Ερευνητικό ερώτημα 1.4.3: *Υπάρχει διαφορά στην αποθήκευση άνθρακα μεταξύ των δύο καλλιεργητικών συστημάτων όπως αποτυπώνεται με τη χρήση αλλομετρικών εξισώσεων, και αν ναι εξαρτάται από τη μέθοδο υπολογισμού.*

- Η εφαρμογή αλλομετρικών μοντέλων για την πρόβλεψη της βιομάζας των δέντρων, αποτελεί ένα απλό και αποδοτικό τρόπο εκτίμησης της σε οπωρώνες φυλλοβόλων δέντρων και κατά συνέπεια εκτίμησης της ικανότητας τους για δέσμευση και αποθήκευση άνθρακα. Η υπολογιζόμενη ολική βιομάζα για τέσσερις από τις έξι εφαρμοζόμενων αλλομετρικών μοντέλων παρουσιάζει τιμές μεγαλύτερες των 20 Mg ha⁻¹ (Κεφάλαιο 5, Πίνακας 5.3 και Σχήμα 5.3), τιμές οι οποίες συμβάλουν ουσιαστικά στην αποθήκευση άνθρακα σε αγροτικά τοπία με οπωρώνες.
- Η πρόβλεψη της βιομάζας με έξι αλλομετρικές μεθόδους υπέδειξε υψηλότερο δυναμικό στην αποθήκευση άνθρακα σε αγροοικοσυστήματα μικτών οπωρώνων φυλλοβόλων δέντρων, έναντι άλλων γεωργικών συστημάτων (μονοετείς καλλιέργειες, καλλιέργειες εδαφοκάλυψης κ.α.). (Κεφάλαιο 5, Ενότητα 5.4). Ως εκ τούτου η βιομάζα των μικτών οπωρώνων αποτελεί μια σημαντική χερσαία δεξαμενή φυτικού άνθρακα η οποία δύναται να έχει σημαντική συνεισφορά και να αποτελεί σημαντικό «εργαλείο» στη δέσμευση, αποθήκευση και ισοζύγιο άνθρακα.
- Η δέσμευση άνθρακα (CO₂ seq) στη βιομάζα δέντρων όλων των συμβατικών μικτών οπωρώνων της μελέτης παρουσιάζεται αυξημένη και διαφέρει στατιστικά σημαντικά με τη δέσμευση άνθρακα σε βιολογικούς οπωρώνες της μελέτης των συστημάτων βιολογικής και συμβατικής καλλιέργειας (Κεφάλαιο 5, Σχήμα 5.4). Ωστόσο οι μέσες τιμές του εκτιμώμενου CO₂seq στους βιολογικούς και συμβατικούς οπωρώνες παραγωγικής φάσης μόνο δεν διαφέρουν (Κεφάλαιο 5, Σχήμα 5.5) και υποδηλώνουν το ίδιο δυναμικό για αποθήκευση άνθρακα και στα δύο συστήματα.
- Τα αποτελέσματα ποσοτικοποίησης της δέσμευσης άνθρακα (CO₂ seq) στη βιομάζα δέντρων σε 49 μικτούς οπωρώνες ανά μέθοδο, υπέδειξαν διαφορές μεταξύ των έξι εφαρμοζόμενων μεθόδων M1-M6 (Κεφάλαιο 5, Σχήμα 5.6). Οι γενικευμένες αλλομετρικές εξισώσεις των δασών (M4 και M5) που επιλέχθηκαν για αξιολόγηση δεν εφαρμόζονται σε μικτούς οπωρώνες καθώς υποτιμούν τη βιομάζα και τη

δέσμευση άνθρακα σε σχέση με τις επιλεγμένες εξειδικευμένες εξισώσεις οπωροφόρων ειδών (M1 και M2). Κατά συνέπεια σε περίπτωση απουσίας εξειδικευμένων αλλομετρικών εξισώσεων για ένα συγκεκριμένο φυτικό είδος και τοποθεσία, οι γενικευμένες εξισώσεις δεν μπορούν να εφαρμοστούν καθώς δεν αποδίδουν αξιόπιστα αποτελέσματα.

- Η χρήση και υιοθέτηση αλλομετρικών εξισώσεων βασιζόμενες τόσο στο είδος όσο και στην τοποθεσία (γεωγραφική περιοχή) αποδίδει ικανοποιητικά αποτελέσματα και αποτελεί μια απλή και οικονομικά αποδοτική προσέγγιση για τον υπολογισμό της ικανότητας των μικτών οπωρώνων να δεσμεύουν άνθρακα. Επίσης, οι εξισώσεις που βασίζονται στο είδος και στην γεωγραφική περιοχή αποδίδουν καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με εξισώσεις που βασίζονται μόνο στη συνάφεια του είδους.
- Οι μικτοί οπωρώνες που βρίσκονται σε παραγωγική φάση (άνω των 8 ετών) παρουσιάζουν θετικά αποτελέσματα ως προς το σημείο καθαρού ισοζυγίου άνθρακα (μετάβαση από την καθαρή εκπομπή στην καθαρή απορρόφηση άνθρακα) στη βιομάζα δέντρων μικτών οπωρώνων (Κεφάλαιο 5, Σχήμα 5.7 και Πίνακας Σ5.2). Συνεπώς οι ώριμοι οπωρώνες παραγωγικής φάσης αποτελούν ένα σημαντικό «εργαλείο» για μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής.

6.2 Σύνθεση κύριων ευρημάτων και προεκτάσεις τους στην εφαρμογή γεωργίας

Η ορθή διαχείριση των αγροοικοσυστημάτων οπωροφόρων δέντρων απαιτεί γνώση και κατανόηση του συνόλου τους, ώστε οι γεωργοί να μπορούν να παράγουν τα επιθυμητά αποτελέσματα χωρίς να διακυβεύεται η παροχή οικοσυστημικών υπηρεσιών (De Leijster et al., 2019) και, ως εκ τούτου, η περιβαλλοντική υγεία και σταθερότητα. Η υιοθέτηση καινοτόμων και εναλλακτικών γεωργικών πρακτικών αποτελεί σε πολλές περιπτώσεις μονόδρομο για την αποφυγή περαιτέρω πιέσεων και περιβαλλοντικών ζητημάτων στα αγροοικοσυστήματα (Cross et al., 2015; García et al., 2021). Οι πρακτικές που στηρίζουν τις οικολογικές διεργασίες και λειτουργίες, συμβάλλουν στη βιωσιμότητα του συνόλου, καθώς συνεισφέρουν σε υποστηρικτικές οικοσυστημικές υπηρεσίες που στηρίζουν την παραγωγή βιομάζας (Guo et al., 2010). Η σύνθεση των κύριων ευρημάτων και συζήτηση των προεκτάσεων τους βασίζεται στον προσδιορισμό των συνεργειών και των συγκρούσεων μεταξύ των γεωργικών πρακτικών και των οικοσυστημικών υπηρεσιών που προκύπτουν

από τα αποτελέσματα της διατριβής. Τόσο οι συνέργειες, όσο και τα αρνητικά σημεία σύνδεσης μεταξύ γεωργικών πρακτικών και οικοσυστημικών υπηρεσιών, κρίθηκαν πολύ σημαντικά, καθώς η χρήση ενοποιητικών πλαισίων υποδεικνύει τη πιθανή σχέση που θα ικανοποιήσει τη σύνδεση και συνύπαρξη των δύο στο παρόν αλλά και στο μέλλον, με στόχο την ανθρώπινη ευημερία και τη βιώσιμη διατήρηση των πόρων (νερό, ενέργεια, τροφή) υπό τη σκιά της κλιμακούμενης κλιματικής αλλαγής.

6.2.1 Γεωργικές πρακτικές, ιδιότητες εδάφους και Οικοσυστημικές Υπηρεσίες

Τα αγροοικοσυστήματα πολυετών οπωροφόρων καλλιεργειών αποτελούν μια πολύ σημαντική χρήση γης και ταυτόχρονα μια πολύτιμη πηγή οικοσυστημικών υπηρεσιών στα οποία η ανθρώπινη παρέμβαση κρίνεται αναγκαία προκειμένου να ικανοποιηθεί ο απώτερος σκοπός τους: η παροχή τροφής για τον άνθρωπο (Crews et al., 2018; Demestihias et al., 2017; Montanaro, Xiloyannis, et al., 2017). Οι αγρότες εφαρμόζουν πρακτικές συχνά επικεντρωμένες στη διαχείριση ενός μεμονωμένου «στόχου» (π.χ. άρδευση, λίπανση, ζιζανιοκτονία) και συχνά με υψηλή ένταση αγνοώντας τις πιθανές συνέργειες μεταξύ της εφαρμογής διαφόρων γεωργικών πρακτικών ως προς το αναμενόμενο αποτέλεσμα (παροχή τροφής) και μεταξύ άλλων ΟΥ (Balzan et al., 2020; Granatstein et al., 2014). Υποτιμημένη παρατηρείται και η περίπτωση των σημείων αρνητικής σύνδεσης και οι πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις που ενέχει η αλληλεπίδραση των ΓΠ με τις ΟΥ, γεγονός το οποίο επιβεβαιώνεται και από τα ευρήματα της παρούσας μελέτης, καθώς συχνά οι γεωργοί ακολουθούν μια πρακτική επί σειρά ετών (πχ επαναλαμβανόμενη κατεργασία εδάφους) (Bàrberi & Cascio, 2001). Ωστόσο, κατά την εφαρμογή γεωργικών πρακτικών, πολλαπλές διεργασίες και λειτουργίες πραγματοποιούνται παράλληλα στους οπωρώνες, παρέχοντας πολυάριθμες οικοσυστημικές υπηρεσίες και οποιαδήποτε μεταβολή ή/και πίεση εντός των αγροοικοσυστημάτων αυτών, επιφέρει αναπόφευκτα διατάραξη της ισορροπίας.

Οι γεωργικές πρακτικές που αφορούν τις κύριες καλλιεργητικές φροντίδες που απαιτούνται σε ένα οπωρώνα (διαχείριση άρδευσης, εχθρών και ασθενειών, διαχείριση ζιζανίων και λίπανσης) διαφέρουν ως προς τον τρόπο, τη μορφή και την ένταση που εφαρμόζονται σε κάθε επιμέρους σύστημα (βιολογικό ή συμβατικό) (Astier et al., 2014). Οι πρακτικές αυτές σε συνδυασμό με τα χαρακτηριστικά οπωρώνων (μέγεθος οπωρώνα και ηλικία δένδρων) έχουν καθοριστική επίδραση στις εδαφικές παραμέτρους (εδαφική αναπνοή, ολικό άζωτο εδάφους, μέγεθος συσσωματωμάτων, οργανική, οργανική ουσία εδάφους (%), τράπεζα σπόρων και ενδό-μυκορριζικοί μύκητες (% αποικισμού των ριζών). Οι βιολογικοί οπωρώνες παρουσιάζουν αυξημένες δυνατότητες υποστήριξης των οικοσυστημικών υπηρεσιών στη

Μεσόγειο, λαμβάνοντας υπόψη των αποτελεσμάτων της παρούσας μελέτης. Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με αποτελέσματα σε έρευνες τόσο σε οπωρώνες της Μεσογείου όσο και σε όλο τον κόσμο (Katayama et al., 2019; Porcel et al., 2018; Samnegård et al., 2018). Ωστόσο, οι συμβατικοί οπωρώνες μπορούν επίσης να παρέχουν επαρκείς δυνατότητες για τη στήριξη των οικοσυστημικών υπηρεσιών, τροποποιώντας τις αποφάσεις που λαμβάνουν οι γεωργοί σε επίπεδο εφαρμογής. Τα κυριότερα ευρήματα της μελέτης συνθέτουν τα πιο κάτω συμπεράσματα των οποίων η υιοθέτηση ενδέχεται να φέρει το «σύστημα» γεωργικών πρακτικών και οικοσυστημικών υπηρεσιών σε μια καλύτερη κατάσταση ισορροπίας και αειφορίας.

Η διαχείριση της άρδευσης των οπωρώνων και η αποδοτικότητα χρήσης του νερού σε συνδυασμό με άλλες ΓΠ συνδέεται με σημαντικές ΟΥ, όπως η παροχή αλλά και ποιότητα του νερού, η αύξηση της φυτικής παραγωγής κ.α. (Redhead et al., 2016). Ωστόσο, ορισμένες πρακτικές, λόγω του τρόπου εφαρμογής τους υπονομεύουν το νερό ως φυσικό πόρο και αγαθό (απώλειες νερού) και θέτουν σε κίνδυνο τη διαθεσιμότητα του (Malek & Verburg, 2017) και τις οικοσυστημικές υπηρεσίες σε οπωρώνες. Παράδειγμα αποτελεί η άρδευση των οπωρώνων με εφαρμογή της πρακτικής κατά αυλάκια ή/και λεκάνες όπου παρουσιάζεται αρνητική σχέση με οικοσυστημικές υπηρεσίες όπως ο «έλεγχος διάβρωσης εδάφους», ο «έλεγχος πλημμυρών» προκαλώντας ενδιάμεση/αρνητική επίδραση στην ομάδα των Ρυθμιστικών Υπηρεσιών. Τα αποτελέσματα της μελέτης υπέδειξαν ότι η άρδευση με αυλάκια που ακολουθείται σε πολλούς από τους συμβατικούς οπωρώνες μπορεί να οδηγήσει σε απώλειες νερού, διάβρωση, έκπλυση θρεπτικών στοιχείων, αυξημένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (η αυξημένη υγρασία οδηγεί σε αυξημένη αναπνοή του εδάφους). **Η στροφή σε εφαρμογή βελτιωμένων συστημάτων άρδευσης σε οπωρώνες στην Κύπρο δύναται να μειώσει τις αρνητικές επιπτώσεις υφιστάμενων γεωργικών πρακτικών στις ρυθμιστικές υπηρεσίες και να ευνοήσει την περαιτέρω θετική σύνδεση μεταξύ ΓΠ και ΟΥ.**

Η διαχείριση εχθρών και ασθενειών σε οπωρώνες βιολογικής καλλιέργειας με την εφαρμογή βιολογικών φυτοπροστατευτικών σκευασμάτων, μειώνει την παραγωγικότητα των οπωρώνων και υποβαθμίζει σε ορισμένες περιπτώσεις την ποιότητα των καρπών με αποτέλεσμα να επιδρά αρνητικά στην παροχή τροφής (Seufert et al., 2017). Οι βιοκαλλιεργητές ωστόσο συνήθως λαμβάνουν υψηλότερες τιμές για τα προϊόντα τους γεγονός το οποίο τους προσφέρει οικονομική σταθερότητα και τους επιτρέπει τη συνέχιση της εφαρμογής βιολογικών μεθόδων καλλιέργειας (Giampieri et al., 2022). Ωστόσο, το

ζήτημα αυτό χρήζει περαιτέρω έρευνας όσον αφορά τα επίπεδα υποβάθμισης της παραγωγής για κάθε φυτικό είδος και ανά μονάδα επιφάνειας γης, σε συνάρτηση με την οικονομική βιωσιμότητα των οπωρώνων σε τοπικό επίπεδο αλλά και σε σχέση με την επισιτιστική ασφάλεια σε περιφερειακό και παγκόσμιο επίπεδο. Με άλλα λόγια, το ζήτημα της επισιτιστικής ασφάλειας απαιτεί την εξεύρεση του σημείου αντιστάθμισης στο οποίο το ποσοστό κάλυψης της γης με βιολογική διαχείριση και η μείωση της παραγωγικότητας λόγω της αποτυχίας διαχείρισης των παρασίτων δεν θέτει σε κίνδυνο τον εφοδιασμό του πλανήτη με τρόφιμα. **Η εφαρμογή πρακτικών ολοκληρωμένης διαχείρισης εχθρών και ασθενειών ή δυνητικά οποιουδήποτε άλλου περιβαλλοντικά προσανατολισμένου «ενδιάμεσου μοντέλου» υπερτερεί στη στήριξη των οικοσυστημικών υπηρεσιών σε σχέση με τις συμβατικές και τις βιολογικές ΓΠ που εξετάστηκαν.**

Και τα δύο καλλιεργητικά συστήματα (βιολογικό-συμβατικό) κατά τη διαχείριση ζιζανίων έχουν θετική επίδραση στην ομάδα οικοσυστημικών υπηρεσιών «Παροχή τροφής», καθώς η καταπολέμηση τους μειώνει τον ανταγωνισμό με τα καλλιεργούμενα είδη και συνεπώς μειώνει της απώλειες τροφής. Ωστόσο η μηχανική καταπολέμηση και κοπή ζιζανίων, επιδρά αρνητικά στην οικοσυστημική υπηρεσία «γενετικό υλικό από φυτά», καθώς η καταστροφή τους μειώνει την παρουσία ειδών (βιοποικιλότητα, τράπεζα σπόρων) στα αγροτεμάχια. Ωστόσο η εδαφική παράμετρος «τράπεζα σπόρων» παρουσιάζει αύξηση στα βιολογικά αγροτεμάχια, υποδεικνύοντας τις συνέργειες που είναι εγγενείς μεταξύ των διαφόρων γεωργικών πρακτικών που εφαρμόζονται στους οπωρώνες. Για παράδειγμα η γεωργική πρακτική που αφορά στη λίπανση «εφαρμογή κοπριάς σε βιολογικούς οπωρώνες» (η οποία περιέχει σπόρους φυτών), αντισταθμίζει τις αρνητικές επιπτώσεις της γεωργικής πρακτικής «κοπής» κατά τη διαχείριση ζιζανίων σε σχέση με την οικοσυστημική υπηρεσία «γενετικό υλικό από φυτά». Οι πρακτικές που εφαρμόζονται για διαχείριση ζιζανίων με αυξημένη μηχανική κατεργασία δεν ευνοούν τις ρυθμιστικές οικοσυστημικές υπηρεσίες και επιδρούν επιβαρυντικά στην κλιματική αλλαγή. Εναλλακτικές μέθοδοι καταπολέμησης ζιζανίων που δεν εφαρμόζονται κατά την περίοδο διεξαγωγής της μελέτης (όπως χρήση φυτών εδαφοκάλυψης) αλλά και εναλλαγή των υφιστάμενων δύνανται να επιφέρουν περαιτέρω θετική σύνδεση της παραμέτρου αυτής με τις ΟΥ (Monteiro & Santos, 2022). **Η εφαρμογή ΓΠ διαχείρισης ζιζανίων με επιπρόσθετες άλλες μεθόδους διαχείρισης (π.χ. έλεγχος ζιζανίων μέσω της βόσκησης των ζώων, χρήση φυτών εδαφοκάλυψης), πέρα από τις υφιστάμενες, κρίνεται απαραίτητη και στα δύο καλλιεργητικά συστήματα.** Ειδικότερα, η εφαρμογή γεωργικών πρακτικών όπως η συγκαλλιέργεια με ψυχανθή για περιορισμό της βλάστησης ζιζανίων και η εδαφοκάλυψη με φυτικά υλικά μπορεί να μετριάσει τις αρνητικές

επιπτώσεις της πρακτικής αυτής στην κλιματική αλλαγή, παρουσιάζοντας και πρόσθετες άλλες συνέργειες μεταξύ διάφορων άλλων οικοσυστημικών υπηρεσιών και περιβαλλοντικών διεργασιών (βελτίωση ποιότητας εδάφους, μείωση χρήσης αζωτούχων λιπασμάτων) (Winter et al., 2018).

Η εφαρμογή λιπασμάτων σε οπωρώνες ενισχύει τη οικοσυστημική υπηρεσία παροχής τροφής, καθώς προσφέρει στα φυτά τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία τα οποία αυξάνουν την παραγόμενη ποσότητα και ποιότητα τροφίμων (Krasilnikov et al., 2022; Thapa et al., 2016). Ωστόσο, οι συμβατικές πρακτικές που εφαρμόζονται στην παρούσα μελέτη θέτουν σε κίνδυνο την κατηγορία ρυθμιστικών ΟΥ λόγω της αρνητικής σύνδεσης τους με όλες τις εξεταζόμενες υπηρεσίες της κατηγορίας αυτής (ατμοσφαιρικές συνθήκες, υδατικές συνθήκες και κύκλοι των θρεπτικών). Αυτό υποδηλώνει την ανάγκη επανεξέτασης της αποκλειστικής εφαρμογής συνθετικών λιπασμάτων και συμφωνεί με τα αποτελέσματα των De Leijster et al., (2019) για τον συνδυασμό τους με άλλες μεθόδους παροχής θρεπτικών στοιχείων στα φυτά (συγκαλλιέργεια με ψυχανθή/αζωτοδεσμευτικά φυτά, εναλλαγή της εφαρμογής συνθετικών λιπασμάτων με οργανικά λιπάσματα). Η αποφυγή της αποκλειστικής εφαρμογής συνθετικών λιπασμάτων, εκτός από τη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων τους στις προαναφερόμενες ΟΥ, αναμένεται να έχει θετικές επιδράσεις και περαιτέρω συνέργειες με άλλες ΟΥ (ποιότητας εδάφους, σχηματισμός εδάφους κλπ). Επιπρόσθετα, η σχέση που αναπτύσσεται μεταξύ βιολογικών γεωργικών πρακτικών και των ρυθμιστικών οικοσυστημικών υπηρεσιών, παρόλο που παρουσιάζεται θετική ως επί το πλείστο, η αρνητική επίδραση που φέρεται να έχει στην οικοσυστημική υπηρεσία «ατμοσφαιρικές συνθήκες», εντείνει το ζήτημα της κλιματικής αλλαγής λόγω των εκπομπών αερίου του θερμοκηπίου (Skinner et al., 2019). **Συνολικά, οι οπωρώνες, ανεξαρτήτως της μορφής των γεωργικών πρακτικών που εφαρμόζονται σε αυτούς (βιολογικές ή συμβατικές ΓΠ) για σκοπούς λίπανσης, συμβάλλουν θετικά στην ΟΥ παροχής τροφής. Ωστόσο, για τη στήριξη και ενίσχυση άλλων ΟΥ (στις κατηγορίες παροχής και ρυθμιστικές υπηρεσίες) απαιτείται στροφή και υιοθέτηση βιολογικών ή/και «ενδιάμεσων» φιλικών προς το περιβάλλον πρακτικών.**

Η εφαρμογή γεωργικών πρακτικών στη βιολογική καλλιέργεια στην παρούσα μελέτη (π.χ. η εφαρμογή οργανικών λιπασμάτων έναντι συνθετικών, η χορτοκοπή έναντι μηχανικής καταπολέμησης ζιζανίων ή καταπολέμησης με ζιζανιοκτόνα, η εφαρμογή βελτιωμένων συστημάτων άρδευσης έναντι της άρδευσης με αυλάκια), ευνοούν την παράμετρο εδαφική σταθερότητα συσσωματωμάτων και κατά συνέπεια τις σχετικές οικοσυστημικές υπηρεσίες.

Η διαχείριση της άρδευσης, της λίπανσης και των ζιζανίων κατά τη βιολογική καλλιέργεια δρουν συνεργιστικά αποδίδοντας υψηλότερη οργανική ουσία σε σχέση με τα αγροτεμάχια συμβατικής καλλιέργειας (Köninger et al., 2021; Morugán-Coronado et al., 2020). Οι γεωργικές πρακτικές που διατηρούν χαμηλή την τράπεζα σπόρων συμβάλλουν θετικά στην ΟΥ παροχής τροφής και ως εκ τούτου στην επισιτιστική ασφάλεια του πλανήτη. Ωστόσο, χαμηλές τιμές τράπεζας σπόρων έχουν αρνητική σχέση με άλλες ΟΥ και υψηλότερες τιμές σχετίζονται κυρίως με πρακτικές που αφορούν μηδενική ή/και χαμηλή κατεργασία εδάφους για καταπολέμηση ζιζανίων, αλλά και εφαρμογή κοπριάς. Κατ' επέκταση, οι σχετικές ΟΥ που συνδέονται με την κατάσταση και ποιότητα εδάφους ευνοούνται στους βιολογικούς οπωρώνες σε σχέση με τους συμβατικούς και θα πρέπει να αποτελούν προτεραιότητα για την ενίσχυση της εδαφικής περιβαλλοντικής υγείας **Οι καλλιεργητές συμβατικών οπωρώνων μπορούν δυναμικά να βελτιώσουν την εδαφική υγεία των οπωρώνων τους συνδυάζοντας συμβατικές και βιολογικές πρακτικές, οδηγώντας πάλι σε μια στροφή προς ένα «ενδιάμεσο» μοντέλο καλλιέργειας.**

Το πλαίσιο για τη σύνδεση των παραμέτρων (γεωργικές πρακτικές/ιδιότητες εδάφους/χαρακτηριστικά οπωρώνων) που μελετήθηκαν σε σχέση με τις ΟΥ, αξιολογεί τη δυναμική των οπωρώνων στην Κύπρο και δύναται να αποτελέσει ένα μοντέλο για τις ευρύτερες περιοχές της Μεσογείου και ιδιαίτερα για τα νησιά. Αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για τη συμβολή των βιολογικών και συμβατικών συστημάτων γεωργίας στην παροχή οικοσυστημικών υπηρεσιών. Η παρούσα μελέτη ως εργαλείο για την αξιολόγηση της σύνδεσης των κύριων γεωργικών πρακτικών διαχείρισης που εφαρμόζονται σε οπωρώνες με τις ΟΥ, παρέχει τη δυνατότητα να αποτελέσει έναν οδηγό για την επιλογή ορθών πρακτικών, ώστε ταυτόχρονα να συνεκτιμάται η παραγωγικότητα και η περιβαλλοντική υγεία του αγροοικοσυστήματος.

Οι αρμόδιοι φορείς χάραξης πολιτικής, μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα ερευνητικά ευρήματα για τον καθορισμό μέτρων αλλά και εναρμόνιση με τους νόμους της Ευρωπαϊκής Ένωσης και τους στόχους της πολιτικής «από το αγρόκτημα στο πιάτο». Η θεσμοθέτηση ενός συνόλου ελάχιστων υποχρεωτικών γεωργικών πρακτικών (ανεξαρτήτου καλλιεργητικού συστήματος) που υποστηρίζουν τις ΟΥ, θα μπορούσε να συμπεριληφθεί στους στρατηγικούς στόχους του αρμόδιου υπουργείου Γεωργίας, Αγροτικής Ανάπτυξης και Περιβάλλοντος. Επιπρόσθετα, τα αποτελέσματα μπορούν να αξιοποιηθούν από τον Κλάδο Γεωργικών Εφαρμογών του Τμήματος Γεωργίας για βελτίωση των υφιστάμενων γεωργικών πρακτικών όπου κρίνεται αναγκαίο. Τέλος, αποδέκτες των αποτελεσμάτων της

παρούσας μελέτης είναι και οι ίδιοι οι αγρότες, καθώς διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στη δυναμική σχέση γεωργικών πρακτικών και οικοσυστημικών υπηρεσιών.

Σε αρκετές περιπτώσεις συνάγεται το συμπέρασμα ότι η εφαρμογή ενός συνόλου γεωργικών πρακτικών υπό την «ομπρέλα» ενός μόνο συστήματος, (είτε βιολογικού είτε συμβατικού), δεν μπορεί να επιτύχει ικανοποιητικά αποτελέσματα σε όλες τις κατηγορίες οικοσυστημικών υπηρεσιών. Μια ενδιάμεση κατάσταση εφαρμογής πρακτικών όπως η περίπτωση της ολοκληρωμένης διαχείρισης θα μπορούσε να επιφέρει θετικότερα αποτελέσματα (Orpet et al., 2020). Λαμβανομένων υπόψη των αποτελεσμάτων η μεμονωμένη εξέταση των γεωργικών πρακτικών ΓΠ, δεν αντικατοπτρίζει συχνά την πραγματική κατάσταση, καθώς κάθε σύνολο εφαρμοζόμενων πρακτικών διαφέρει ανάμεσα σε οπωρώνες και εξαρτάται κυρίως από τις προσωπικές επιλογές των αγροτών, τις επιβεβλημένες ελάχιστες πρακτικές λόγω προκαθορισμένων νομοθεσιών, το είδος της καλλιέργειας και τις ιδιαιτερότητες της περιοχής. Συχνά οι γεωργικές πρακτικές σε συμβατικούς οπωρώνες περιλαμβάνουν κοινές πρακτικές με βιολογικά συστήματα, ωστόσο διαφέρουν ως προς την ένταση με την οποία ασκούνται. Παρά το γεγονός ότι τα συμβατικά συστήματα έχουν συχνά ενδιάμεση επίδραση στις οικοσυστημικές υπηρεσίες, θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τη σοβαρότητα και την ανάγκη ικανοποίησης άλλων ΟΥ εκτός από την παροχή τροφής.

6.2.2 Σύνδεση ΟΥ με το πλέγμα Νερό-Ενέργεια-Τροφή-Κλίμα

Η εκτίμηση της αλληλεπίδρασης των οικοσυστημικών υπηρεσιών με την άσκηση των γεωργικών πρακτικών, καθίσταται δυνατή μέσω της εκτίμησης βασικών παραμέτρων του πλέγματος «νερό-ενέργεια-τροφή-κλίμα» (NETK). Οι βασικοί δείκτες των παραμέτρων του πλέγματος NETK α) αποτύπωμα άνθρακα, β) ενεργειακή ένταση, γ) αποτύπωμα νερού και δ) παραγωγικότητα, περικλείουν κατά την ποσοτικοποίηση τους την επίδραση των γεωργικών πρακτικών που εφαρμόστηκαν στην παρούσα μελέτη, παρέχοντας ουσιαστική πληροφόρηση για τη χρήση πόρων. Η περαιτέρω σύνδεση του πλέγματος NETK με τις παρεχόμενες ΟΥ από τα αγροοικοσυστήματα παρήγαγε σημαντικές πληροφορίες ως προς τη βιώσιμη παραγωγή τροφίμων με στόχο την επισιτιστική ασφάλεια, αλλά και χρήσιμα αποτελέσματα για τη συνεισφορά τους στο μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής.

Κατά την ποσοτικοποίηση των παραμέτρων NETK στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης, η παράμετρος «γεωργική απόδοση» (παραγωγικότητα) καταγράφηκε σημαντικά υψηλότερη

σε συμβατικούς οπωρώνες ακρόδρυων και πυρηνοκάρπων έναντι βιολογικών και συνάδει με τα ευρήματα αντίστοιχων ερευνών σε μεσογειακούς οπωρώνες (Arroyo et al., 2022; Sgroi et al., 2015). Η μειωμένη παραγωγικότητα στα βιολογικά συστήματα οφείλεται κυρίως στις περιορισμένες επιλογές γεωργικών πρακτικών διαχείρισης εχθρών, ασθενειών (λιγότερα φυτοπροστατευτικά σκευάσματα), ζιζανίων αλλά και λίπανσης των καλλιεργειών (περιορισμένοι τύποι λιπασμάτων) (Granatstein et al., 2014), σε σχέση με τη διαθεσιμότητα συνθετικών λιπασμάτων και χημικών φυτοπροστατευτικών σκευασμάτων που εφαρμόζονται κατά τη συμβατική καλλιέργεια. Οι ευρύτερες αντιλήψεις ότι η βιολογική γεωργία παράγει μειωμένη ποσότητα τροφής ανά καλλιεργούμενη έκταση σε σύγκριση με την συμβατική καλλιέργεια, αποτελούν σημείο σύγκλισης των εκτιμήσεων της διεθνούς επιστημονικής κοινότητας τόσο επί σειρά ετών όσο και μεταξύ των διαφόρων τύπων καλλιεργειών (Gabriel et al., 2013; Malvicini & Roversi, 2014; Peck et al., 2006; Roussos & Gasparatos, 2009). Το γεγονός αυτό υποδηλώνει τη μειωμένη ικανότητα των βιολογικών συστημάτων να συνεισφέρουν στην οικοσυστημική υπηρεσία παροχής τροφής. Ωστόσο, σύμφωνα με τους Seufert et al. (2012), η διαφορά που παρατηρείται σε μεμονωμένες έρευνες σύγκρισης της παραγωγικότητας μεταξύ βιολογικών και συμβατικών συστημάτων μπορεί σε πολλές περιπτώσεις να είναι συγκυριακή. Οι προαναφερόμενοι ερευνητές υποστηρίζουν ότι τα βιολογικά συστήματα μπορούν να επιτύχουν παραπλήσιες αποδόσεις με τα συμβατικά υπό συνθήκες όπως βέλτιστες πρακτικές διαχείρισης και υπό συγκεκριμένα είδη καλλιεργειών. Η άποψη ενός «ενδιάμεσου» συστήματος που υποστηρίζει καλύτερα την παραγωγικότητα και την περιβαλλοντική υγεία καταδεικνύεται επίσης και από τα αποτελέσματα των Montanaro, Xiloyannis, et al. (2017), όπου κατά τη σύγκριση των οπωρώνων ολοκληρωμένης διαχείρισης παραγωγής με τη συμβατική διαχείριση, παρατηρήθηκε αύξηση στην παραγωγικότητα στην πρώτη περίπτωση.

Οι βιολογικοί οπωρώνες ακρόδρυων στην παρούσα μελέτη παρουσίασαν μείωση της παραγωγής της τάξεως του 19% έναντι των συμβατικών οπωρώνων. Αρκετά μεγαλύτερη μείωση παραγωγής (70%) καταγράφηκε σε βιολογικούς έναντι συμβατικών οπωρώνων πυρηνοκάρπων. Ως εκ τούτου, οι οπωρώνες ακρόδρυων δυνητικά γεφυρώνουν τη ψαλίδα που παρατηρείται μεταξύ χαμηλών αποδόσεων σε βιολογικά συστήματα έναντι συμβατικών, σε σύγκριση με διαφορές που παρατηρούνται σε άλλα οπωροφόρα είδη όπως μήλα (μείωση 54%) (Samnegård et al., 2018) και άλλα καλλιεργητικά συστήματα όπως σιτηρά, πατάτα, καλαμπόκι και λαχανικά (Gabriel et al., 2013, Palmer et al., 2013, Musyoka et al., 2017). Το αποτέλεσμα αυτό θα μπορούσε να αξιοποιηθεί στις γεωργικές εφαρμογές του Τμήματος Γεωργίας, καθώς η βιολογική καλλιέργεια ακρόδρυων (ειδικότερα της

αμυγδαλιάς) μπορεί να στηριχθεί και να προωθηθεί με επέκταση καλλιεργουμένων εκτάσεων έναντι άλλων φυτικών ειδών, προκειμένου να επιτευχθεί αποτελεσματικότερη αξιοποίηση και σχεδιασμός των χρήσεων γης. Η πρόταση αυτή, εκτός της μικρότερης διαφοράς στην παραγωγικότητα που παρουσιάζει η αμυγδαλιά ως είδος σε σχέση με τους συμβατικούς οπωρώνες, βασίζεται επίσης στην αξιοποίηση της συγκεκριμένης καλλιέργειας λόγω των χαμηλότερων αναγκών της σε εισροές (νερό, ενέργεια). Επιπρόσθετα, η καλλιέργεια της αμυγδαλιάς μπορεί να αξιοποιηθεί σε λιγότερο γόνιμα εδάφη, στα οποία προσαρμόζεται και δεν ευδοκιμούν άλλες καλλιέργειες.

Αν και δεν καταγράφηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δυο συστημάτων στους υπόλοιπους βασικούς δείκτες των παραμέτρων του πλέγματος NETK (αποτύπωμα άνθρακα, αποτύπωμα νερού, ενεργειακή ένταση), οι βιολογικοί οπωρώνες παρουσίασαν χαμηλότερες τιμές και, συνεπώς, χαμηλότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα από τους συμβατικούς οπωρώνες. Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με τις εκτιμήσεις των Aguilera et al. (2014) για μειωμένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (αποτύπωμα άνθρακα) σε βιολογικές καλλιέργειες σε σύγκριση με τις συμβατικές σε διάφορα οπωροφόρα είδη στην Ισπανία. Ωστόσο, σε οπωρώνες με αβοκάντο στο Μεξικό, καταγράφηκαν σχεδόν παραπλήσιες τιμές σε ενέργεια, εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και παραγωγικότητα και στα δυο καλλιεργητικά συστήματα (βιολογικά και συμβατικά) (Astier et al., 2014). Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι στην παρούσα μελέτη, οι περιπτώσεις βιολογικών και συμβατικών οπωρώνων ακρόδρυων με υψηλές τιμές στις παραμέτρους αποτύπωμα άνθρακα, αποτύπωμα νερού και ενεργειακή ένταση, δεν ενίσχυσαν την παραγωγικότητα και κατά συνέπεια την παροχή τροφής. Ως προέκταση αυτής της διαπίστωσης, παρουσιάζεται μια ευκαιρία για μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής μέσω ενός ενδιάμεσου μοντέλου άσκησης γεωργίας «χαμηλών εισροών», που δεν θέτει σε κίνδυνο την παραγωγικότητα, αλλά ενισχύει τις προσπάθειες για μηδενικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και αειφόρο χρήση νερού και ενέργειας. Το αποτέλεσμα αυτό δύναται να χρησιμοποιηθεί κυρίως από τους αρμόδιους φορείς χάραξης πολιτικής τόσο για παροχή κινήτρων στους γεωργούς για στροφή σε μια περισσότερο περιβαλλοντικά προσανατολισμένη μορφή άσκησης γεωργίας, όσο για τον καθορισμό αγροπεριβαλλοντικών μέτρων στο πλαίσιο της Κοινής Αγροτικής Πολιτικής. Ωστόσο, είναι επίσης ένα σημαντικό εργαλείο για τους ίδιους τους αγρότες, καθώς αντίληψη τους ότι η μέγιστη παραγωγικότητα είναι συνυφασμένη με μέγιστες εισροές, οδηγεί σε σπατάλη πόρων, χρημάτων, αλλά και στην περιβαλλοντική υποβάθμιση των αγροτεμαχίων τους.

Η σημαντική συσχέτιση που καταγράφηκε σε οπωρώνες πυρηνοκάρπων με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου έδειξε ότι οι εκπομπές μειώνονται με την αύξηση της ηλικίας των δέντρων. Ωριμοί οπωρώνες (οπωρώνες σε παραγωγική φάση) παρουσιάζουν αυξημένες δυνατότητες μετριασμού των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής ως αποτέλεσμα της αύξησης της βιομάζας τους και της ικανότητας τους δέσμευση άνθρακα, αποτέλεσμα που συνάδει και με έρευνες σε άλλα οπωροφόρα δέντρα και αμπέλια (Scandellari et al., 2016, Winzer et al., 2017, Wu et al., 2012). Το αποτέλεσμα αυτό συνάδει και με περαιτέρω αποτελέσματα στην παρούσα μελέτη για το ρόλο των οπωρώνων στην αποθήκευση άνθρακα για τον μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής (Κεφάλαιο 5, παράγραφος 5.3.2.3). Συγκεκριμένα, οι οπωρώνες άνω των οκτώ ετών υπολογίστηκαν ως σημείο μετάβασης από την καθαρή εκπομπή στην καθαρή απορρόφηση άνθρακα στη βιομάζα δέντρων, υποδεικνύοντας θετική επίδραση στις οικοσυστημικές υπηρεσίες παροχής και τις ρυθμιστικές. Η συνήθης τάση που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια για εκρίζωση οπωρώνων και αντικατάσταση τους με άλλα καλλιεργούμενα είδη για άμεσο κέρδος ανά εδαφική μονάδα ή/και για αντικατάσταση τους με νέες ποικιλίες δέντρων δεν συμβάλει θετικά στο μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής και θα πρέπει να αποφεύγεται από τους αγρότες. Επιπρόσθετα, οι αρμόδιοι φορείς θα μπορούσαν να παρέχουν κίνητρα στους γεωργούς να διατηρούν τις πολυετείς φυτείες τους για καθορισμένο χρονικό διάστημα, ως μια πρακτική καλλιέργειας άνθρακα σε αγροτικά τοπία.

Γενικότερα, η σύνδεση των παραμέτρων του πλέγματος NETK (νερό, ενέργεια, τροφή και κλίμα) με τις οικοσυστημικές υπηρεσίες σε ένα ενοποιητικό πλαίσιο παρέχει τη δυνατότητα επί μέρους αξιολόγησης της υφιστάμενης κατάστασης κάθε οπωρώνα. Οι τιμές των παραμέτρων του πλέγματος NETK σε οπωρώνες αντικατοπτρίζουν την ένταση των γεωργικών πρακτικών που εφαρμόζονται (οι οποίες σε κάποιες περιπτώσεις εντείνουν ή μειώνουν τη χρήση πόρων και παράλληλα υποβαθμίζουν ή υποστηρίζουν τις ΟΥ αντίστοιχα). Η αξιολόγηση στην παρούσα μελέτη έδειξε ότι οι βιολογικοί οπωρώνες ακρόδρυων παρουσιάζουν καλύτερα αποτελέσματα ως προς τη παροχή οικοσυστημικών υπηρεσιών από ότι οι συμβατικοί οπωρώνες, λόγω μειωμένων τιμών που έλαβαν στις παραμέτρους νερό, ενέργεια και κλίμα του πλέγματος NETK. Ωστόσο, δεδομένου ότι η μείωση των τιμών σε αυτές τις παραμέτρους συνεπάγεται μείωση στην παράμετρο του πλέγματος γεωργική απόδοση (μείωση της προσφοράς τροφίμων), τα αποτελέσματα καταδεικνύουν την ανάγκη εξεύρεσης αντισταθμιστικών σημείων και μέτρων, ώστε να μην τίθενται σε κίνδυνο η περιβαλλοντική σταθερότητα και η επισιτιστική ασφάλεια. Το αποτέλεσμα αυτό καταδεικνύει την άρρηκτη σχέση μεταξύ ΓΠ και ΟΥ.

6.2.3 Εκτίμηση της βιομάζας των δέντρων ως προς την ικανότητα δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα

Η εφαρμογή αλλομετρικών μοντέλων για την πρόβλεψη της βιομάζας των δέντρων, αποτελεί ένα απλό και αποδοτικό τρόπο εκτίμησης της ικανότητας των οπωρώνων για δέσμευση και αποθήκευση άνθρακα και συνεισφορά της στο μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής (Chave et al., 2005; Kuyah et al., 2012; Miranda et al., 2017). Η χρήση και υιοθέτηση αλλομετρικών εξισώσεων βασιζόμενες τόσο στο είδος όσο και στην γεωγραφική περιοχή στην παρούσα μελέτη απέδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα και αποτελεί μια άμεση και αποδοτική προσέγγιση για τον υπολογισμό της ικανότητας των μικτών οπωρώνων να δεσμεύουν άνθρακα. Οι εξισώσεις που βασίζονται στο γένος/είδος και την γεωγραφική περιοχή υπερτερούν των εξισώσεων που βασίζονται μόνο στη συνάφεια του γένους/είδους (βλέπε Κεφάλαιο 5, Ενότητα 5.4). Ωστόσο, οι γενικευμένες αλλομετρικές εξισώσεις των δασών δεν είναι εφαρμόσιμες σε μικτούς οπωρώνες καθώς υποτιμούν τη βιομάζα και τη δέσμευση άνθρακα σε σχέση με τις εξειδικευμένες εξισώσεις οπωροφόρων ειδών. Η ασυνάφεια που παρουσιάζεται μεταξύ των αποτελεσμάτων των μεθόδων υποδεικνύει και την ανάγκη για δημιουργία εξισώσεων βασιζόμενες τόσο στο είδος (*species specific*) όσο και στην γεωγραφική περιοχή (*site specific*) για πιο ακριβείς εκτιμήσεις της ικανότητας για δέσμευση και αποθήκευση άνθρακα σε αγροοικοσυστήματα οπωρώνων.

Η σημαντική αύξηση στη δέσμευση άνθρακα (CO₂ seq) στη βιομάζα δέντρων συμβατικών μικτών οπωρώνων έναντι των οπωρώνων βιολογικής καλλιέργειας (Κεφάλαιο 5, Σχήμα 5.4), λαμβάνει υπόψη της το σύνολο των οπωρώνων και προκύπτει ως αποτέλεσμα του νεαρού της ηλικίας των βιολογικών αγροτεμαχίων. Το αποτέλεσμα αυτό συμφωνεί με την μελέτη των Plénet et al., (2022) όπου σε οπωρώνες ροδακινιάς στο στάδιο της νεανικότητας καταγράφηκε σημαντικά χαμηλότερη ανάπτυξη βιομάζας και δέσμευση άνθρακα σε σχέση με δέντρα κατά την παραγωγική φάση τους. Εξάλλου σε παλαιότερη έρευνα σε οπωρώνες μήλων ίδιας ηλικίας όπου εφαρμόστηκαν γεωργικές πρακτικές όμοιες με αυτές της παρούσας μελέτης (διαχείριση εχθρών και ασθενειών, λίπανσης και ζιζάνιων) τα δέντρα υπό βιολογική διαχείριση παρουσίασαν μεγαλύτερη βιομάζα, εκφραζόμενη ως επιφάνεια διατομής κλάδων, έναντι οπωρώνων που καλλιεργήθηκαν υπό συμβατική διαχείριση (Roussos & Gasparatos, 2009). Τα αποτελέσματα ανάλυσης της βιομάζας και δέσμευσης άνθρακα για οπωρώνες ίδιας φάσης (παραγωγικό στάδιο), δεν κατέγραψαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο καλλιεργητικών συστημάτων. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι η βιολογικές εισροές (οργανικά λιπάσματα και βιολογικά σκευάσματα), δεν

μειώνουν την παραγόμενη βιομάζα σε οπωρώνες βιολογικής καλλιέργειας κατά τη σύγκρισή τους με αντίστοιχους βιολογικούς οπωρώνες. Επομένως η βιολογική γεωργία μαζί με τα προαναφερθέντα περιβαλλοντικά οφέλη στην παρούσα μελέτη, δύναται να συμβάλει θετικά και στη δέσμευση και αποθήκευση άνθρακα στη βιομάζα δέντρων. Ωστόσο, το εύρημα αυτό χρειάζεται περαιτέρω επιστημονική στήριξη και διερεύνηση καθώς παρουσιάζεται μια διαφοροποίηση μεταξύ των αποτελεσμάτων διαφόρων ερευνών. Σε κάποιες περιπτώσεις η συμβατική γεωργία φαίνεται να ενισχύει την παραγωγή βιομάζας και τη δέσμευση άνθρακα έναντι της βιολογικής (Khalsa et al., 2020), ενώ επίσης σε άλλη έρευνα καμία σημαντική διαφορά δεν καταγράφηκε μεταξύ των βιολογικών και συμβατικών καλλιεργητικών συστημάτων (Montanaro, Tuzio, et al., 2017). Τα αποτελέσματα της μελέτης σε συνδυασμό με τη βιβλιογραφία, υποδεικνύουν την ανάγκη για περαιτέρω έρευνα σε σχέση με την επίδραση των γεωργικών πρακτικών επί της ικανότητας των οπωρώνων για δέσμευση άνθρακα στη βιομάζα τους.

Η υπολογιζόμενη ολική βιομάζα στη βάση των αλλομετρικών μοντέλων παρουσιάζει τιμές οι οποίες συμβάλουν ουσιαστικά στην αποθήκευση άνθρακα σε αγροτικά τοπία με οπωρώνες (Κεφάλαιο 5, Πίνακας 3). Η πρόβλεψη της βιομάζας με τις αλλομετρικές μεθόδους υπέδειξε υψηλότερο δυναμικό και σημαντική συνεισφορά στην αποθήκευση άνθρακα σε αγροοικοσυστήματα μικτών οπωρώνων φυλλοβόλων δέντρων έναντι άλλων γεωργικών συστημάτων (μονοετείς καλλιέργειες, καλλιέργειες εδαφοκάλυψης κ.α.), αναδεικνύοντας τη σημαντικότητα των μικτών οπωρώνων ως μια σημαντική χερσαία δεξαμενή φυτικού άνθρακα. Ως εκ τούτου, οι μικτοί οπωρώνες έναντι άλλων καλλιεργειών παρουσιάζουν δυνητικά υψηλότερη συσχέτιση με οικοσυστημικές υπηρεσίες παροχής και ρυθμιστικές υπηρεσίες. Ως πολυετείς καλλιέργειες παρουσιάζουν αυξημένη βιομάζα (αυξημένη παραγωγικότητα και κατά συνέπεια αυξημένη παροχή τροφής ανά εδαφική επιφάνεια), αλλά και αυξημένη ικανότητα δέσμευσης άνθρακα (CO₂ seq) στα ξυλώδη μέρη τους για μεγάλα χρονικά διαστήματα, με αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη συμβολή τους στη ρύθμιση των ατμοσφαιρικών συνθηκών και του κλίματος.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης οι μικτοί οπωρώνες παραγωγικής φάσης (άνω των 8 ετών) παρουσιάζουν θετικά αποτελέσματα ως προς την καθαρή απορρόφηση άνθρακα στη βιομάζα δέντρων (Παράρτημα Γ, Πίνακας Σ5.3), καθιστώντας τους ώριμους οπωρώνες ένα σημαντικό «εργαλείο» για μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Οι σύγχρονοι οπωρώνες με αγροοικολογική διαχείριση και προσέγγιση, σε συνδυασμό με σύγχρονους οπωρώνες υψηλής πυκνότητας φύτευσης,

μπορούν συνεισφέρουν τόσο στις οικοσυστημικές υπηρεσίες παροχής με την παραγωγή ποιοτικών φρούτων, όσο και στην αυξημένη ικανότητας δέσμευσης CO₂ από τα πρώτα χρόνια εγκατάστασης τους συμβάλλοντας στον μετριασμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ((De Leijster et al., 2019; Plénet et al., 2022)

Η διερεύνηση μεθόδων εκτίμησης δέσμευσης άνθρακα στη βιομάζα φυλλοβόλων δέντρων μέσω μη καταστροφικών μεθόδων, συμβάλει στην γρήγορη και αποτελεσματική εκτίμηση της υφιστάμενης κατάστασης σε μεσογειακούς οπωρώνες. Τα αποτελέσματα δύναται να αποτελέσουν μια προσεγγιστική εκτίμηση της κατάστασης και της ικανότητας των οπωρώνων για μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Ως προέκταση μπορούν να χρησιμοποιηθούν από την ερευνητική κοινότητα για σκοπούς σύγκρισης με άλλες μεθόδους και περαιτέρω έρευνα στο θέμα.

6.3 Αξιολόγηση μεθοδολογίας και Περιορισμοί της έρευνας

Για την επίτευξη του σκοπού της έρευνας και απάντηση των κύριων ερευνητικών ερωτημάτων πραγματοποιήθηκε ο ακόλουθος μεθοδολογικός σχεδιασμός με βάση την ερευνητική υπόθεση ότι: οι γεωργικές πρακτικές ως ανεξάρτητες μεταβλητές επηρεάζουν με τη μεταβολή τους σε κάθε σύστημα τις εξαρτημένες μεταβλητές, δηλαδή τις υπηρεσίες οικοσυστήματος (OY), οι οποίες και αναμένεται να παρουσιάζονται υποβαθμισμένες στο σύστημα συμβατικής γεωργίας.

6.3.1 Καθορισμός περιοχής μελέτης και δείγματος της έρευνας

Οι οπωρώνες φυλλοβόλων δέντρων λόγω των κλιματολογικών τους απαιτήσεων (συσσώρευση απαιτούμενων ωρών ψύχους για τη διάσπαση λήθαργου) βρίσκονται εγκατεστημένοι κυρίως σε ορεινές και ημιορεινές περιοχές και γεωγραφικά εντοπίζονται σε όλες τις επαρχίες της Κύπρου. Ως εκ τούτου, την περιοχή μελέτης αποτέλεσαν ορεινές και ημιορεινές περιοχές σε όλες την επαρχίες της Κύπρου, καθώς επιλέγηκαν οπωρώνες που καλύπτουν γεωγραφικά και εδαφοκλιματικά τις κυριότερες περιοχές στις οποίες ασκείται η καλλιέργεια οπωροφόρων δέντρων. Η ευρεία κάλυψη της περιοχής μελέτης, η οποία λαμβάνει υπόψη τις προαναφερθείσες παραμέτρους (κλίμα, έδαφος, υψόμετρο) επιτρέπει την γενίκευση των αποτελεσμάτων σε παρόμοιες περιοχές σε ολόκληρο το νησί, αλλά και σε παρόμοιες κλιματικές και γεωμορφολογικές περιοχές εκτός Κύπρου (κυρίως νησιωτικές).

Στη συνέχεια, προκειμένου να καθορισθεί το δείγμα της έρευνας, λήφθηκε υπόψη ότι οι μορφές άσκησης καλλιέργειας σε οπωρώνες στην Κύπρο είναι η συμβατική γεωργία και η βιολογική γεωργία. Από τα δύο υπάρχοντα καλλιεργητικά συστήματα ορίστηκε ο πληθυσμός και το δείγμα της έρευνας, στη βάση της συμπερίληψης βιολογικών αγροτεμαχίων που συμπεριλαμβάνονται στο μητρώο επιχειρηματιών βιολογικής παραγωγής του Τμήματος Γεωργίας, του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Περιβάλλοντος, το οποίο θεωρείται έγκυρο και επίσημο αλλά και αντίστοιχων συμβατικών αγροτεμαχίων με τυχαιοποιημένη δειγματοληψία στις αντίστοιχες γεωγραφικές περιοχές. Το συνολικό δείγμα της έρευνας αποτελείται από 55 αγροτεμάχια (Κεφάλαιο 3), εκ των οποίων τα 28 βιολογικής παραγωγής και τα 27 συμβατικής παραγωγής, 39 αγροτεμάχια (Κεφάλαιο 4), εκ των οποίων τα 20 βιολογικής παραγωγής και τα 19 συμβατικής παραγωγής και 49 αγροτεμάχια (Κεφάλαιο 5), εκ των οποίων τα 24 βιολογικής παραγωγής και τα 25 συμβατικής παραγωγής. Καθώς ο αριθμός δείγματος θα μπορούσε να χαρακτηριστεί μικρός και δυνητικά να αντιμετωπιστεί ως αδυναμία, αυτό δεν ισχύει στην παρούσα μελέτη καθώς συμπεριλήφθηκαν όλα τα πιστοποιημένα βιολογικά αγροτεμάχια στην Κύπρο και ως αποτέλεσμα ο πληθυσμός τους να αποτελεί και το δείγμα, διενεργώντας στην ουσία απογραφή στο σύστημα της βιολογικής καλλιέργειας.

6.3.2 Συλλογή πρωτογενών και δευτερογενών δεδομένων

Η συλλογή πρωτογενών δεδομένων από όλους τους οπωρώνες της μελέτης πραγματοποιήθηκε με τη χρήση δομημένου ερωτηματολογίου συνέντευξης, με ερωτήσεις κλειστού τύπου για τον προσδιορισμό των ασκούμενων γεωργικών πρακτικών και των χαρακτηριστικών των αγροτεμαχίων και των τυπικών εισροών τους. Πέρα από το πλεονέκτημα της εύκολης συμπλήρωσης, κωδικοποίησης και ανάλυσης, οι ερωτήσεις κλειστού τύπου διασφαλίζουν ότι οι πληροφορίες είναι αντικειμενικές. Τα ερωτηματολόγια/συνεντεύξεις απευθύνονταν στους ιδιοκτήτες και διαχειριστές των αγροτεμαχίων της μελέτης και συμπληρώθηκαν αρχικά από ένα δείγμα συναδέλφων γεωπόνων για την επαλήθευση της ορθότητας και κατανόησης τους. Ωστόσο, το γεγονός ότι τα ερωτηματολόγια βασίζονται στις προσωπικές απόψεις των γεωργών και ενδέχεται να περιέχουν ασάφειες ή παραλείψεις εκ μέρους τους μπορεί να θεωρηθεί ως αδυναμία. Αυτό αντιμετωπίστηκε με τη διασταύρωση και έλεγχο των στοιχείων με δευτερογενείς βάσεις γεωργικών στοιχείων και με απόψεις εμπειρογνομώνων, όπου εφαρμόστηκε το καθένα.

Δεδομένου ότι οι προσωπικές συνεντεύξεις είναι ο πιο άμεσος τρόπος συλλογής δεδομένων (πραγματισμός), τα αποτελέσματα αυτά θεωρούνται έγκυρα.

Πρόσθετα πρωτογενή δεδομένα συλλέχθηκαν με δειγματοληψίες και μετρήσεις πεδίου σε κάθε αγροτεμάχιο για τον υπολογισμό εδαφικών και άλλων περιβαλλοντικών παραμέτρων αλλά και βιομετρικών χαρακτηριστικών των δέντρων. Η μεθοδολογία παρουσιάζεται αναλυτικά σε κάθε περίπτωση στα Κεφάλαια 3 έως 5 και έχει εφαρμογή τόσο σε παρόμοιες όσο και σε διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές. Επιπρόσθετα, η μεθοδολογική προσέγγιση για τον υπολογισμό αυτών των δεδομένων μπορεί να εφαρμοστεί και σε άλλα καλλιεργούμενα είδη. Όλα τα δευτερογενή δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη προήλθαν από έγκυρες πηγές και βάσεις δεδομένων (αναλυτικά παρουσιάζονται στα Κεφ.3-5), ενισχύοντας την εγκυρότητα της μεθοδολογικής προσέγγισης.

6.3.3 Ανάπτυξη ενοποιητικών πλαισίων και χρήση προσεγγιστικών μεθόδων

Η ανάπτυξη ενοποιητικών πλαισίων που ακολουθούνται στα Κεφάλαια 3 και 4 για τη σύνδεση των γεωργικών πρακτικών με τις οικοσυστημικές υπηρεσίες και τη σύνδεση των παραμέτρων του πλέγματος NETK με τις οικοσυστημικές υπηρεσίες αντίστοιχα, είναι ένας ουσιαστικός και αποτελεσματικός τρόπος για την ποσοτικοποίηση, κωδικοποίηση και παροχή πληροφοριών. Στην παρούσα μελέτη αποτελούν πλαίσια αξιολόγησης, τα οποία παρείχαν τη δυνατότητα σύνδεσης από απλές σε σύνθετες παραμέτρους (π.χ. ηλικία δέντρων έως και αποτύπωμα άνθρακα οπωρώνων), συμβάλλοντας στην κατανόηση των συνδέσμων των στοιχείων που περιέχονται σε κάθε πλαίσιο. Η απεικόνιση της σχέσης μεταξύ των μεταβλητών στα ενοποιητικά/ενοιολογικά πλαίσια που ακολουθήθηκαν στη μεθοδολογία χαρτογράφησε επίσης οπτικά τον τρόπο με τον οποίο συνδυάζονται τα διάφορα στοιχεία, επιτρέποντας την εξαγωγή συνεκτικών συμπερασμάτων.

Ένας πιθανός περιορισμός στην εφαρμογή της μεθοδολογίας αυτής είναι το γεγονός ότι η σύνδεση κάθε παραμέτρου με την εκάστοτε υπό μελέτη οικοσυστημική υπηρεσία θεωρεί τις υπόλοιπες παραμέτρους του πλαισίου ως σταθερές και δεν λαμβάνει υπόψη πιθανές αλληλεπιδράσεις. Ωστόσο, λόγω της πολυπλοκότητας των εξεταζόμενων παραμέτρων, οι αλληλεπιδράσεις τους δεν δύνανται να ληφθούν υπόψη σε αυτού του είδους πλαίσια χωρίς προηγούμενη επί μέρους ποσοτικοποίηση τους στο πεδίο. Ο περιορισμός αυτός, ωστόσο, δεν υποβαθμίζει τα αποτελέσματα που λαμβάνονται στα πλαίσια σύνδεσης, καθώς ο

προσδιορισμός των εφαρμοζόμενων ΓΠ, η ποσοτικοποίηση των εδαφικών ιδιοτήτων και των παραμέτρων του πλέγματος NETK επιτρέπει ουσιαστική και αξιόπιστη σύνδεση τους με τις ΟΥ. Ένας πρόσθετος περιορισμός είναι ότι η αξιολόγηση της σύνδεσης και των αλληλεπιδράσεων ΓΠ και NETK με τις ΟΥ, εξετάζει τη σχέση τους εντός των ορίων των αγροοικοσυστημάτων και δεν λαμβάνει υπόψη πιθανές αλληλεπιδράσεις στις ΟΥ από άλλα παρακείμενα οικοσυστήματα. Η μεθοδολογική προσέγγιση δημιουργίας πλαισίων για τη σύνδεση διάφορων ποσοτικοποιημένων παραμέτρων με τις ΟΥ αποτελεί ένα αποτελεσματικό, σύγχρονο και καινοτόμο μεθοδολογικό εργαλείο αξιολόγησης και αποτίμησης της υφιστάμενης κατάστασης των επιπέδων ΟΥ σε οπωρώνες και μπορεί να εφαρμοστεί ευρέως. Παρόμοια πλαίσια σύνδεσης μπορούν να εφαρμοστούν σε διάφορες γεωγραφικές περιοχές και καλλιεργητικά συστήματα, συμβάλλοντας ουσιαστικά στη δημιουργία νέων γνώσεων.

Η μεθοδολογική χρήση προσεγγιστικών μεθόδων εκτίμησης βιομάζας με βάση αλλομετρικά μοντέλα είναι μια απλή, αποτελεσματική και αποδοτική μέθοδος για την εκτίμηση της δέσμευσης CO₂ από μικτούς οπωρώνες. Παρουσιάζει θετικά στοιχεία ως μεθοδολογική προσέγγιση, καθώς μπορεί να παρέχει μια άμεση και οικονομικά αποδοτική εκτίμηση της κατάστασης των οπωρώνων χρησιμοποιώντας εύκολα μετρήσιμα βιομετρικά χαρακτηριστικά των δέντρων. Στις περιπτώσεις που είναι δυνατή η χρήση εξειδικευμένων αλλομετρικών με βάση το είδος και την τοποθεσία, η μέθοδος κρίνεται ικανοποιητικά αποτελεσματική. Ωστόσο, ακριβέστερες μετρήσεις απαιτούν την κατασκευή εξειδικευμένων αλλομετρικών εξισώσεων για οπωρώνες. Η μεθοδολογία σύγκρισης αλλομετρικών εξισώσεων μπορεί να εφαρμοστεί σε άλλα είδη και τοποθεσίες υπό το πρίσμα της χρησιμοποίησης τουλάχιστον και μιας κατάλληλης προσεγγιστικής μεθόδου «δείκτη». Ένας περιορισμός αυτής της μεθοδολογίας είναι η επικύρωση των αποτελεσμάτων του μοντέλου με εργαστηριακές αναλύσεις σχετικά με την ικανότητα των οπωρώνων να δεσμεύουν άνθρακα στη βιομάζα τους.

6.3.4 Υπολογισμοί παραμέτρων

Οι κύριοι περιορισμοί κατά τον υπολογισμό των παραμέτρων αφορούν στα εξής:

Κατά τη σύνδεση ΓΠ και ΟΥ (Κεφ. 3) οι οπωρώνες δεν ήταν όλοι της ίδιας ηλικίας, με αποτέλεσμα σε ορισμένες περιπτώσεις πρακτικές που εφαρμόζονταν επί σειρά ετών ενδεχομένως να έχουν μεγαλύτερη επίδραση στις υπολογισμένες εδαφικές παραμέτρους, σε σύγκριση με οπωρώνες νεαρότερης ηλικίας. Ωστόσο, είναι συνήθης πρακτική για τους

αγρότες στην Κύπρο και σε άλλες χώρες να χρησιμοποιούν τις ίδιες ποσότητες εισροών όταν τα δέντρα φτάσουν σε πλήρη παραγωγή, ένας περιορισμός που δεν επηρεάζει τα αποτελέσματα της μελέτης.

Κατά τον υπολογισμό του αποτυπώματος άνθρακα και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (Κεφ. 4) μετρήθηκαν μόνο οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που αντιστοιχούν στη χρήση καυσίμων και λιπασμάτων (έμμεση και άμεση), γεγονός που οδηγεί σε υποεκτίμηση των εκπομπών. Οι εκπομπές αερίων που οφείλονται στη χρήση φυτοπροστατευτικών σκευασμάτων δεν συμπεριλήφθηκαν, καθώς τα στοιχεία αυτά δεν ήταν διαθέσιμα. Ωστόσο, η χρήση ενέργειας και τα λιπάσματα, που λήφθηκαν υπόψη, διαδραματίζουν βασικό ρόλο στην εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου από τη γεωργία (Litskas et al., 2019) και παρέχουν μια ικανοποιητική εκτίμηση της υφιστάμενης κατάστασης.

Επιπρόσθετα, κατά τον υπολογισμό της ολικής βιομάζας οπωρώνων, λήφθηκε υπόψη το κύριο δομικό σώμα των δέντρων και όχι η βιομάζα σε όλα τα όργανα (δευτερεύοντες βλαστούς και ριζίδια), γεγονός που συνεπάγεται υποτίμηση της ικανότητας τους για δέσμευση άνθρακα. Η δέσμευση άνθρακα στους καρπούς δεν λήφθηκε επίσης υπόψη, καθώς αυτοί εξέρχονται από το σύστημα του οπωρώνα μετά την ωρίμαση.

6.4 Εισηγήσεις για εφαρμογή και μελλοντική έρευνα

Η παρούσα έρευνα επιχειρεί για πρώτη φορά να συνδέσει τις οικοσυστημικές υπηρεσίες με τις καλλιεργητικές πρακτικές σε αγροτικά τοπία οπωρώνων στην Κύπρο. Τα αποτελέσματά της συμβάλλουν σε καινοτόμες γνώσεις σε τοπικό επίπεδο και προσθέτουν στις υπάρχουσες γνώσεις σε μεσογειακό και παγκόσμιο επίπεδο. Τα κύρια ευρήματά της μπορούν να αξιοποιηθούν από τους αγρότες που καλλιεργούν οπωρώνες σε παγκύπρια βάση και από τις γεωργικές εφαρμογές του Τμήματος Γεωργίας για τη βελτίωση της υφιστάμενης κατάστασης μέσω της επιλογής ορθών γεωργικών πρακτικών που θα συμβάλλουν θετικά στις αγροοικοσυστημικές υπηρεσίες. Επιπρόσθετα, η μελέτη και τα αποτελέσματα της δύνανται να αξιοποιηθούν από τους αρμόδιους φορείς χάραξης πολιτικής για τον καθορισμό μέτρων σε εθνικό επίπεδο προκειμένου να εναρμονιστούν με τις σχετικές νομοθεσίες και οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης και να επιτευχθούν οι στόχοι της πολιτικής «από το Αγρόκτημα στο Πιάτο», στο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας. Τέλος, τα αποτελέσματα μπορούν να αξιοποιηθούν από την επιστημονική κοινότητα για περαιτέρω έρευνα.

Ειδικότερα, η μελλοντική έρευνα ως προέκταση των αποτελεσμάτων της παρούσας έρευνας τόσο σε τοπικό όσο και διεθνές επίπεδο, μπορεί να περιλαμβάνει θέματα που αφορούν:

- Αξιολόγηση των ΓΠ και των ΟΥ σε επίπεδο οπωρώνων σε σχέση με άλλες ΓΠ (συγκαλλιέργεια, χρήση φυτών εδαφοκάλυψης, χρήση βελτιωμένων ποικιλιών, ολοκληρωμένη διαχείριση εχθρών και ασθενειών κ.α.) που δεν εξετάστηκαν στην παρούσα μελέτη, καθώς δεν εφαρμόζονταν από τους αγρότες κατά την περίοδο διεξαγωγής της έρευνας.
- Αξιολόγηση της σύνδεσης των ΓΠ και των ΟΥ σε άλλα καλλιεργητικά συστήματα του αγροτικού τομέα της Κύπρου. Ειδικότερα στις μονοκαλλιέργειες και στις ετήσιες καλλιέργειες (σιτηρά, πατάτες, λαχανικά), όπου καταλαμβάνουν μεγαλύτερο μερίδιο γεωργικής γης και απαιτούν αυξημένες εισροές πόρων (νερό, ενέργεια).
- Περαιτέρω αξιολόγηση και έρευνα σχετικά με τις γεωργικές πρακτικές που διαπιστώθηκε στην παρούσα έρευνα ότι συμβάλλουν αρνητικά στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής (όπως η διαχείριση λίπανσης στη βιολογική γεωργία σε σχέση με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου).
- Διερεύνηση του σημείου στο οποίο επιτυγχάνεται ισορροπία μεταξύ της οικοσυστημικής υπηρεσίας «παροχή τροφής» και των υπόλοιπων ΟΥ που επηρεάζονται κατά την εφαρμογή του συνόλου των γεωργικών πρακτικών σε ένα αγροτικό τοπίο

Βιβλιογραφία

- Aguilera, E., Guzmán, G., & Alonso, A. (2014). Greenhouse gas emissions from conventional and organic cropping systems in Spain. II. Fruit tree orchards. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(2), 725–737. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0265-y>
- Arroyo, F. T., Herencia, J. F., & Capote, N. (2022). Phenology, growth, and yield of almond cultivars under organic and conventional management in southwestern Spain. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 20(3), e0901. <https://doi.org/10.5424/sjar/2022203-18828>
- Astier, M., Merlín-Urbe, Y., Villamil-Echeverri, L., Garcíarreal, A., Gavito, M. E., & Masera, O. R. (2014). Energy balance and greenhouse gas emissions in organic and conventional avocado orchards in Mexico. *Ecological Indicators*, 43, 281–287. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.03.002>
- Balzan, M. V., Sadula, R., & Scalvenzi, L. (2020). *Assessing Ecosystem Services Supplied by Agroecosystems in Mediterranean Europe: A Literature Review*. 9(8), 245–245. <https://doi.org/10.3390/land9080245>
- Bàrberi, P., & Cascio, L. (2001). Longterm tillage and crop rotation effects on weed seedbank size and composition. *Weed Research*, 41(4), 325–340. <https://doi.org/10.1046/j.13653180.2001.00241.x>
- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M. A., Chambers, J. Q., Eamus, D., Fölster, H., Fromard, F., Higuchi, N., Kira, T., Lescure, J.-P. ., Nelson, B. W., Ogawa, H., Puig, H., Riéra, B., & Yamakura, T. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145(1), 87–99. <https://doi.org/10.1007/s00442-005-0100-x>
- Crews, T. E., Carton, W., & Olsson, L. (2018). Is the future of agriculture perennial? Imperatives and opportunities to reinvent agriculture by shifting from annual monocultures to perennial polycultures. *Global Sustainability*, 1. <https://doi.org/10.1017/sus.2018.11>
- Cross, J., Fountain, M., Marko, V., & Nagy, C. (2015). Arthropod ecosystem services in apple orchards and their economic benefits. *Ecological Entomology*, 40, 82–96. <https://doi.org/10.1111/een.12234>
- De Leijster, V., Santos, M. J., Wassen, M. J., Ramos-Font, M. E., Robles, A. B., Díaz, M., Staal, M., & Verweij, P. A. (2019). Agroecological management improves ecosystem services in almond orchards within one year. *Ecosystem Services*, 38, 100948. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.100948>

- Demestihis, C., Plénet, D., Génard, M., Raynal, C., & Lescourret, F. (2017). Ecosystem services in orchards. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(2), 12. <https://doi.org/10.1007/s1359301704221>
- Gabriel, D., Sait, S. M., Kunin, W. E., & Benton, T. G. (2013). Food production vs. biodiversity: comparing organic and conventional agriculture. *Journal of Applied Ecology*, 50(2), 355–364. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12035>
- García, D., Miñarro, M., & Martínez-Sastre, R. (2021). Enhancing ecosystem services in apple orchards: Nest boxes increase pest control by insectivorous birds. *Journal of Applied Ecology*, 58(3), 465–475. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13823>
- Giampieri, F., Mazzoni, L., Cianciosi, D., Alvarez-Suarez, J. M., Regolo, L., Sánchez-González, C., Capocasa, F., Xiao, J., Mezzetti, B., & Battino, M. (2022). Organic vs conventional plant-based foods: A review. *Food Chemistry*, 383, 132352. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132352>
- Granatstein, D., Andrews, P., & Groff, A. (2014). Productivity, economics, and fruit and soil quality of weed management systems in commercial organic orchards in Washington State, USA. *Organic Agriculture*. <https://doi.org/10.1007/s13165-014-0068-0>
- Guo, Z., Zhang, L., & Li, Y. (2010). Increased Dependence of Humans on Ecosystem Services and Biodiversity. *PLoS ONE*, 5(10), e13113. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0013113>
- Katayama, N., Bouam, I., Koshida, C., & Baba, Y. G. (2019). Biodiversity and yield under different land-use types in orchard/vineyard landscapes: A meta-analysis. *Biological Conservation*, 229, 125–133. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.11.020>
- Khalsa, S. D. S., Smart, D. R., Muhammad, S., Armstrong, C. M., Sanden, B. L., Houlton, B. Z., & Brown, P. H. (2020). Intensive fertilizer use increases orchard N cycling and lowers net global warming potential. *Science of the Total Environment*, 722, 137889. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137889>
- Königer, J., Lugato, E., Panagos, P., Kochupillai, M., Orgiazzi, A., & Briones, M. J. I. (2021). Manure management and soil biodiversity: Towards more sustainable food systems in the EU. *Agricultural Systems*, 194, 103251. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103251>
- Krasilnikov, P., Taboada, M. A., & Amanullah. (2022). Fertilizer Use, Soil Health and Agricultural Sustainability. *Agriculture*, 12(4), 462. <https://doi.org/10.3390/agriculture12040462>
- Kuyah, S., Dietz, J., Muthuri, C., Jamnadass, R., Mwangi, P., Coe, R., & Neufeldt, H. (2012). Allometric equations for estimating biomass in agricultural landscapes: I.

- Aboveground biomass. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 158, 216–224. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.05.011>
- Malek, Ž., & Verburg, P. H. (2017). Adaptation of land management in the Mediterranean under scenarios of irrigation water use and availability. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 23(6), 821–837. <https://doi.org/10.1007/s11027-017-9761-0>
- Malvicini, G. L., & Roversi, A. (2014). THREE YEARS OF OBSERVATIONS ON HAZELNUT YIELDING AND FRUIT QUALITY UNDER ORGANIC AND CONVENTIONAL MANAGEMENT. *Acta Horticulturae*, 1052, 215–220. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2014.1052.28>
- Miranda, C., Santesteban, L. G., Escalona, J. M., De Herralde, F., Aranda, X., Nadal, M., Intrigliolo, D. S., Castel, J. R., Royo, J. B., & Medrano, H. (2017). Allometric relationships for estimating vegetative and reproductive biomass in grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 23(3), 441–451. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12285>
- Montanaro, G., Tuzio, A. C., Xylogiannis, E., Kolimenakis, A., & Dichio, B. (2017). Carbon budget in a Mediterranean peach orchard under different management practices. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 238, 104–113. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.05.031>
- Montanaro, G., Xiloyannis, C., Nuzzo, V., & Dichio, B. (2017). Orchard management, soil organic carbon and ecosystem services in Mediterranean fruit tree crops. *Scientia Horticulturae*, 217, 92–101. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.01.012>
- Monteiro, A., & Santos, S. (2022). Sustainable Approach to Weed Management: The Role of Precision Weed Management. *Agronomy*, 12(1), 118. <https://doi.org/10.3390/agronomy12010118>
- Morugán-Coronado, A., Linares, C., Gómez-López, M. D., Faz, Á., & Zornoza, R. (2020). The impact of intercropping, tillage and fertilizer type on soil and crop yield in fruit orchards under Mediterranean conditions: A meta-analysis of field studies. *Agricultural Systems*, 178, 102736. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2019.102736>
- Musyoka, M. W., Adamtey, N., Muriuki, A. W., & Cadisch, G. (2017). Effect of organic and conventional farming systems on nitrogen use efficiency of potato, maize and vegetables in the Central highlands of Kenya. *European Journal of Agronomy*, 86, 24–36. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.02.005>
- Orpet, R. J., Jones, V. P., Beers, E. H., Reganold, J. P., Goldberger, J. R., & Crowder, D. W. (2020). Perceptions and outcomes of conventional vs. organic apple orchard

- management. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 289, 106723. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106723>
- Palmer, M. W., Cooper, J., Tétard-Jones, C., Średnicka-Tober, D., Barański, M., Eyre, M., Shotton, P. N., Volakakis, N., Cakmak, I., Ozturk, L., Leifert, C., Wilcockson, S. J., & Bilsborrow, P. E. (2013). The influence of organic and conventional fertilisation and crop protection practices, preceding crop, harvest year and weather conditions on yield and quality of potato (*Solanum tuberosum*) in a long-term management trial. *European Journal of Agronomy*, 49, 83–92. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.03.004>
- Peck, G. M., Andrews, P. K., Reganold, J. P., & Fellman, J. K. (2006). Apple Orchard Productivity and Fruit Quality under Organic, Conventional, and Integrated Management. *HortScience*, 41(1), 99–107. <https://doi.org/10.21273/hortsci.41.1.99>
- Plénet, D., Borg, J., Barra, Q., Bussi, C., Gomez, L., Memah, M.-M., Lescourret, F., & Vercambre, G. (2022). Net primary production and carbon budget in peach orchards under conventional and low input management systems. *European Journal of Agronomy*, 140, 126578. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126578>
- Porcel, M., Andersson, G. K. S., Pålsson, J., & Tasin, M. (2018). Organic management in apple orchards: Higher impacts on biological control than on pollination. *Journal of Applied Ecology*, 55(6), 2779–2789. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13247>
- Redhead, J. W., Stratford, C., Sharps, K., Jones, L., Ziv, G., Clarke, D., Oliver, T. H., & Bullock, J. M. (2016). Empirical validation of the InVEST water yield ecosystem service model at a national scale. *Science of the Total Environment*, 569-570, 1418–1426. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.227>
- Roussos, P. A., & Gasparatos, D. (2009). Apple tree growth and overall fruit quality under organic and conventional orchard management. *Scientia Horticulturae*, 123(2), 247–252. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.09.011>
- Samnegård, U., Alins, G., Boreux, V., Bosch, J., García, D., Happe, A., Klein, A., Miñarro, M., Mody, K., Porcel, M., Rodrigo, A., Roquer-Beni, L., Tasin, M., & Hambäck, P. A. (2018). Management trade-offs on ecosystem services in apple orchards across Europe: Direct and indirect effects of organic production. *Journal of Applied Ecology*, 56(4), 802–811. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13292>
- Scandellari, F., Caruso, G., Liguori, G., Meggio, F., Palese Assunta, M., Zanutelli, D., Celano, G., Gucci, R., Inglese, P., Pitacco, A., & Tagliavini, M. (2016). A survey of carbon sequestration potential of orchards and vineyards in Italy. *European Journal of Horticultural Science*, 81(2), 106–114. <https://doi.org/10.17660/ejhs.2016/81.2.4>

- Seufert, V., Ramankutty, N., & Foley, J. A. (2012). Comparing the yields of organic and conventional agriculture. *Nature*, *485*(7397), 229–232. <https://doi.org/10.1038/nature11069>
- Seufert, V., Ramankutty, N., & Mayerhofer, T. (2017). What is this thing called organic? – How organic farming is codified in regulations. *Food Policy*, *68*, 10–20. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2016.12.009>
- Sgroi, F., Candela, M., Trapani, A., Foderà, M., Squatrito, R., Testa, R., & Tudisca, S. (2015). Economic and Financial Comparison between Organic and Conventional Farming in Sicilian Lemon Orchards. *Sustainability*, *7*(1), 947–961. <https://doi.org/10.3390/su7010947>
- Skinner, C., Gattinger, A., Krauss, M., Krause, H.-M., Mayer, J., van der Heijden, M. G. A., & Mäder, P. (2019). The impact of long-term organic farming on soil-derived greenhouse gas emissions. *Scientific Reports*, *9*(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-38207-w>
- Thapa, R., Chatterjee, A., Awale, R., McGranahan, D. A., & Daigh, A. (2016). Effect of enhanced efficiency fertilizers on nitrous oxide emissions and crop yields: A meta-analysis. *Soil Science Society of America Journal*, *80*(5), 1121–1134. <https://doi.org/10.2136/sssaj2016.06.0179>
- Winter, S., Bauer, T., Strauss, P., Kratschmer, S., Paredes, D., Popescu, D., Landa, B., Guzmán, G., Gómez, J. A., Guernion, M., Zaller, J. G., & Batáry, P. (2018). Effects of vegetation management intensity on biodiversity and ecosystem services in vineyards: A meta-analysis. *Journal of Applied Ecology*, *55*(5), 2484–2495. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13124>
- Winzer, F., Kraska, T., Elsenberger, C., Kötter, T., & Pude, R. (2017). Biomass from fruit trees for combined energy and food production. *Biomass and Bioenergy*, *107*, 279–286. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.10.027>
- Wu, T., Wang, Y., Yu, C., Chiarawipa, R., Zhang, X., Han, Z., & Wu, L. (2012). Carbon Sequestration by Fruit Trees - Chinese Apple Orchards as an Example. *PLoS ONE*, *7*(6), e38883. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0038883>

Παράρτημα Α

Συμπληρωματικό υλικό:

Κεφάλαιο 3

Πίνακας Σ3.1. Χαρακτηριστικά και στοιχεία των επιλεγμένων μικτών οπωρώνων (τοποθεσία, καλλιεργητικό σύστημα, είδος δέντρων, έκταση και ηλικία δέντρων)

A/A	Τοποθεσία	Κωδικός αγροτεμαχίου	Καλλιεργητικό σύστημα (Βιολογικό=0 ή Συμβατικό=1)	Κυρίαρχο καλλιεργούμενο είδος	Έκταση (εκτάρια)	Ηλικία δέντρων (έτη)
1	ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	ALB1	0	Αμυγδαλιά	0,800	15
2	ΛΥΘΡΟΔΟΝΤΑΣ	PLB2	0	Δαμασκηλιά	0,542	13
3	ΛΥΘΡΟΔΟΝΤΑΣ	PISC3	1	Πιστακιά	0,284	22
4	ΚΟΡΑΚΟΥ	PLB4	0	Δαμασκηλιά	0,450	5
5	ΚΟΡΑΚΟΥ	APRC5	1	Βερικοκιά	0,170	10
6	ΤΕΜΒΡΙΑ	PLB6	0	Δαμασκηλιά	0,380	10
7	ΓΑΛΑΤΑ - ΤΕΜΒΡΙΑ	PLC7	1	Δαμασκηλιά	0,440	20
9	ΑΓ. ΘΕΟΔΩΡΟΣ	APC9	1	Μηλιά	0,260	23
10	ΒΑΒΛΑ	NUB10	0	Καρυδιά	1,030	18
11	ΛΟΥΒΑΡΑΣ	CHB11	0	Κερασιά	0,390	10
12	ΛΟΥΒΑΡΑΣ	APC12	1	Μηλιά	0,450	20
13	ΛΙΜΝΑΤΗΣ	PLB13	0	Δαμασκηλιά	0,230	6
14	ΛΙΜΝΑΤΗΣ	ALB14	0	Αμυγδαλιά	0,510	25
15	ΛΙΜΝΑΤΗΣ	ALC15	1	Αμυγδαλιά	0,840	25
16	ΛΙΜΝΑΤΗΣ	ALC16	1	Αμυγδαλιά	1,330	40
17	ΒΑΒΛΑ	ALC17	1	Αμυγδαλιά	0,760	25
18	ΠΕΡΙΣΤΕΡΩΝΑ	PLB18	0	Δαμασκηλιά	0,488	12
19	ΠΕΡΙΣΤΕΡΩΝΑ	PLC19	1	Δαμασκηλιά	0,330	10
20	ΚΟΥΤΡΑΦΑΣ	PLB20	0	Δαμασκηλιά	0,641	10

21	ΚΟΥΤΡΑΦΑΣ	APRC21	1	Βερικοκιά	0,652	20
22	ΑΓ. ΙΩΑΝΝΗΣ ΜΑΛΟΥΝΤΑΣ	APRB22	0	Βερικοκιά	0,950	7
23	ΑΓ. ΙΩΑΝΝΗΣ ΜΑΛΟΥΝΤΑΣ	NUC23	1	Καρυδιά	0,300	20
24	ΚΥΠΕΡΟΥΝΤΑ	APB24	0	Μηλιά	0,140	20
25	ΚΥΠΕΡΟΥΝΤΑ	APC25	1	Μηλιά	0,098	10
26	ΔΥΜΕΣ	PLB26	0	Δαμασκηνιά	0,384	20
27	ΔΥΜΕΣ	ALC27	1	Αμυγδαλιά	0,107	20
28	ΑΓΓΛΙΣΙΔΕΣ	FIB28	0	Συκιά	0,518	5
29	ΑΓΓΛΙΣΙΔΕΣ	APC29	1	Μηλιά	0,619	14
30	ΑΘΗΑΙΝΟΥ	ALB30	0	Αμυγδαλιά	1,410	4
31	ΑΘΗΑΙΝΟΥ	ALC31	1	Αμυγδαλιά	0,460	10
32	ΑΘΗΑΙΝΟΥ	ALB32	0	Αμυγδαλιά	0,800	13
33	ΑΘΗΑΙΝΟΥ	ALC33	1	Αμυγδαλιά	1,670	15
34	ΛΥΘΡΟΔΟΝΤΑΣ	PEB34	0	Ροδακινιά	0,350	8
35	ΛΥΘΡΟΔΟΝΤΑΣ	NUC35	1	Καρυδιά	0,480	20
37	ΜΟΣΦΙΛΩΤΗ	PEC37	1	Ροδακινιά	0,500	10
38	ΤΡΟΥΛΟΙ	NUB38	0	Καρυδιά	0,443	15
39	ΟΡΟΚΛΙΝΗ	FIC39	1	Συκιά	0,390	20
40	ΜΑΧΑΙΡΑΣ	APRB40	0	Βερικοκιά	0,840	5
41	ΜΑΧΑΙΡΑΣ	NUC41	1	Καρυδιά	0,578	20
42	ΚΑΠΕΔΕΣ	CHB42	0	Κερασιά	0,980	7
43	ΚΑΠΕΔΕΣ	NUC43	1	Καρυδιά	0,312	15
44	ΚΑΜΠΙΑ	PEC44	1	Ροδακινιά	0,390	10
45	ΚΑΜΠΙΑ	POB45	0	Ροδιά	0,790	7
46	ΜΕΣΑ ΧΩΡΙΟ	PEB46	0	Ροδακινιά	0,710	6
47	ΜΕΣΑ ΧΩΡΙΟ	MIC47	1	Μικτός	0,610	15
48	ΑΜΑΡΓΕΤΗ	PLB48	0	Δαμασκηνιά	0,409	7
49	ΑΜΑΡΓΕΤΗ	NUC49	1	Καρυδιά	0,620	15
50	ΛΕΤΥΜΠΟΥ	MIB50	0	Μικτός	0,338	8
51	ΛΕΤΥΜΠΟΥ	MIC51	1	Μικτός	1,170	15
53	ΠΑΝΑΓΙΑ	PLC53	1	Δαμασκηνιά	0,364	4
54	ΣΤΡΟΥΜΠΙ	APB54	0	Μηλιά	0,579	7
55	ΣΤΡΟΥΜΠΙ	APC55	1	Μηλιά	0,858	10

Πίνακας Σ3.2. Εφαρμοζόμενες γεωργικές πρακτικές διαχείρισης σε βιολογικούς και συμβατικούς οπωρώνες της μελέτης

α/α	Κωδικός	Μέθοδοι άρδευσης	Μέθοδοι φυτοπροστασίας	Μέθοδοι διαχείρισης ζιζανίων	Τύπος λίπανσης
		1=στάγδην/μικροεκτοξευτήρες, 2=αυλάκια/λεκάνες, 3=καμία εφαρμογή	1=βιολογική, 2=συμβατική, 3= καμία εφαρμογή	1=μηχανική κατεργασία, 2=χορτοκοπή/ενσωμάτωση, 3=χημικός έλεγχος, 4=1+2, 5=1+3, 6=2+3	1=οργανικά λιπάσματα, 2=συνθετικά λιπάσματα, 3=καμία εφαρμογή, 4=1+2
1	ALB1	1	1	1	1
2	PLB2	1	1	1	1
3	PISC3	2	2	5	2
4	PLB4	2	1	1	1
5	APRC5	2	2	5	2
6	PLB6	1	1	1	1
7	PLC7	2	2	5	2
9	APC9	1	2	5	2
10	NUB10	1	1	4	1
11	CHB11	1	1	1	1
12	APC12	1	2	5	2
13	PLB13	1	1	1	1
14	ALB14	3	1	1	3
15	ALC15	3	2	5	2
16	ALC16	3	2	1	2
17	ALC17	3	2	5	2
18	PLB18	1	1	1	1
19	PLC19	1	2	4	2
20	PLB20	1	1	1	1
21	APRC21	1	2	5	2
22	APRB22	1	1	1	1
23	NUC23	2	2	3	2
24	APB24	1	1	1	1
25	APC25	1	2	5	2
26	PLB26	1	1	1	3
27	ALC27	1	2	5	4

28	FIB28	1	3	2	1
29	APC29	1	2	5	1
30	ALB30	3	3	1	1
31	ALC31	3	2	1	3
32	ALB32	3	3	1	1
33	ALC33	3	2	1	3
34	PEB34	2	1	4	1
35	NUC35	1	2	1	2
37	PEC37	1	2	5	2
38	NUB38	1	1	2	1
39	FIC39	1	2	6	3
40	APRB40	1	1	2	1
41	NUC41	2	2	6	2
42	CHB42	1	1	1	1
43	NUC43	1	2	3	2
44	PEC44	1	2	4	2
45	POB45	1	1	4	1
46	PEB46	1	1	4	1
47	MIC47	1	2	3	2
48	PLB48	1	1	4	1
49	NUC49	2	2	5	2
50	MIB50	1	1	1	1
51	MIC51	1	2	5	2
53	PLC53	1	2	5	4
54	APB54	1	1	1	1
55	APC55	1	2	5	2

Πίνακας Σ3.3. Φυσικοχημικές και βιολογικές ιδιότητες εδαφών στους μικτούς οπωρώνες της μελέτης (μέσες τιμές)

a/a	Κωδικός	Εδαφική αναπνοή [mg CO ₂ /100g /24h (25°C)]	Οργανικό (Kjeldahl) άζωτο (%)	Εδαφικά συσσωματώματα (MWD; mm)	Οργανική ουσία (%)	Τράπεζα σπόρων (αριθμός ειδών)	AMF (% αποικισμού ριζών)
1	ALB1	38	0,185	12	1,31	6	37
2	PLB2	54	0,135	14	0,94	9	32
3	PISC3	18	0,108	9	0,82	4	14
4	PLB4	29	0,198	11	1,36	6	22
5	APRC5	19	0,111	8	0,87	5	12
6	PLB6	36	0,156	13	1,12	7	32
7	PLC7	20	0,121	12	0,89	5	12
9	APC9	14	0,118	9	0,92	5	14
10	NUB10	33	0,145	12	1,03	7	19
11	CHB11	38	0,165	13	1,32	8	32
12	APC12	24	0,125	10	0,99	5	15
13	PLB13	36	0,165	12	1,21	8	32
14	ALB14	29	0,124	12	0,92	5	28
15	ALC15	17	0,119	7	0,87	2	20
16	ALC16	18	0,125	8	0,92	3	17
17	ALC17	22	0,131	8	0,99	3	23
18	PLB18	39	0,145	12	1,11	10	41
19	PLC19	25	0,124	9	0,95	4	24
20	PLB20	45	0,135	12	0,99	9	29
21	APRC21	25	0,148	10	1,11	3	27
22	APRB22	41	0,178	13	1,32	5	28
23	NUC23	22	0,132	10	0,99	3	24
24	APB24	33	0,145	11	1,13	10	32
25	APC25	22	0,112	7	0,87	4	19
26	PLB26	29	0,165	13	1,22	10	36
27	ALC27	23	0,101	10	1,17	6	17
28	FIB28	32	0,165	11	1,22	8	33

29	APC29	41	0,114	9	0,92	3	22
30	ALB30	56	0,135	13	0,99	7	25
31	ALC31	23	0,121	9	0,84	4	12
32	ALB32	29	0,156	12	1,15	5	23
33	ALC33	19	0,112	7	0,87	3	18
34	PEB34	29	0,168	14	1,23	5	31
35	NUC35	19	0,121	9	0,87	3	19
37	PEC37	17	0,123	10	0,87	1	16
38	NUB38	36	0,174	12	1,35	4	28
39	FIC39	25	0,152	8	1,14	5	17
40	APRB40	37	0,165	13	1,19	7	33
41	NUC41	24	0,132	9	0,98	3	19
42	CHB42	32	0,145	11	1,21	6	29
43	NUC43	17	0,098	7	0,75	3	24
44	PEC44	17	0,094	10	0,68	4	26
45	POB45	31	0,135	13	0,92	5	42
46	PEB46	34	0,142	12	1,10	5	43
47	MIC47	18	0,103	9	0,78	3	26
48	PLB48	32	0,132	13	0,95	5	32
49	NUC49	24	0,108	12	0,82	2	21
50	MIB50	38	0,142	13	1,10	4	28
51	MIC51	25	0,111	12	0,87	0	19
53	PLC53	19	0,109	9	0,86	1	11
54	APB54	35	0,177	14	1,32	4	32
55	APC55	21	0,141	12	1,12	2	25

Πίνακας Σ3.4. Πλαίσιο σύνδεσης γεωργικών πρακτικών διαχείρισης, χαρακτηριστικών των αγροτεμαχίων και χαρακτηριστικών του εδάφους στους βιολογικούς και συμβατικούς μικτούς οπωρώνες της μελέτης, με τις επιδράσεις στις ΟΥ

Παράμετρος	Καλλιεργητικό σύστημα	Επιδράσεις στις ΟΥ			Σχόλια	Αναφορές
		Παροχής	Ρύθμισης	Πολιτισμικές		
Αρδευση	BIO				Η άρδευση με αυλάκια που ακολουθείται σε πολλούς από τους συμβατικούς οπωρώνες μπορεί να οδηγήσει σε διάβρωση. Η αυξημένη υγρασία οδηγεί σε αυξημένη εδαφική αναπνοή (εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου), σε έκπλυση θρεπτικών ουσιών και άλλων ρύπων. Η διαθεσιμότητα του νερού επηρεάζει επίσης την αισθητική του τοπίου και την αίσθηση του χώρου.	(Adhikari & Hartemink, 2016) (King et al., 2016)
	ΣΥΜ					
Λίπανση	BIO				Η χρήση λιπασμάτων (συνθετικών ή/και οργανικών) συνδέεται με αυξημένη παροχή τροφής. Η χρήση λιπασμάτων οδηγεί σε αυξημένη έκλυση αερίων του θερμοκηπίου από τα εδάφη. Τα συνθετικά λιπάσματα συνδέονται με προβλήματα ποιότητας νερού (πορτοκαλί). Η υπερβολική χρήση συνθετικών λιπασμάτων βλάπτει την ποιότητα και την υγεία του εδάφους. Τα οργανικά λιπάσματα υποστηρίζουν το σχηματισμό του εδάφους και τη δέσμευση του άνθρακα, (και την ανακύκλωση των θρεπτικών στοιχείων, βραδύτερος ρυθμός απελευθέρωσης). Η παραγωγή και η χρήση λιπασμάτων συνδέονται επίσης με επιστημονικό ενδιαφέρον (έρευνα, εκπαίδευση, κατάρτιση).	(Stewart et al., 2005) (Lassaletta et al., 2014) (Duru et al., 2015) (Demestihias et al., 2017)
	ΣΥΜ					
Χρήση ΦΠ ουσιών	BIO				Η χρήση φυτοφαρμάκων σχετίζεται με λιγότερη απώλεια τροφίμων. Συνδέεται με τη μείωση των διαφόρων ΟΥ (π.χ. επικονίαση, καθαρισμός νερού). Η παραγωγή και η χρήση φυτοφαρμάκων συνδέεται επίσης με το επιστημονικό ενδιαφέρον (έρευνα, εκπαίδευση, κατάρτιση).	(Gibbons et al., 2015) (Chagnon et al., 2015) (Potts et al., 2016)
	ΣΥΜ					

Διαχείριση ζιζανίων	BIO				<p>Η καλλιέργεια του εδάφους και η μηχανική κοπή των ζιζανίων συνδέονται με μικρότερη απώλεια τροφής (πράσινο). Η διαχείριση των ζιζανίων μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της γενετικής ποικιλότητας (πορτοκαλί).</p> <p>Η καλλιέργεια συνδέεται με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (χρήση καυσίμων), τη διάβρωση και την απώλεια άνθρακα από το έδαφος, ελέγχει την ανακύκλωση του N και τη ρύθμιση των υδάτων. Παρατηρήθηκε αυξημένη χρήση μηχανημάτων για τον έλεγχο των ζιζανίων στους μικτούς οπωρώνες Bio (πορτοκαλί για τις εκπομπές-κίτρινο στην περίπτωση των γεωργικών εκμεταλλεύσεων Συμ). Η απομάκρυνση των ζιζανίων θα μπορούσε επίσης να επηρεάσει τους επικονιαστές και τα ωφέλιμα είδη (π.χ. φυσικούς εχθρούς). Η διαχείριση των ζιζανίων συνδέεται επίσης με το επιστημονικό ενδιαφέρον (έρευνα, εκπαίδευση, κατάρτιση).</p>	(Simon et al., 2010) (Morugán-Coronado et al., 2020)
	ΣΥΜ					
Έκταση αγροτεμαχίων	BIO				<p>Η έκταση των αγροκτημάτων επηρεάζει την αισθητική του τοπίου. Τα μικρότερα αγροκτήματα μικτών οπωρώνων δημιουργούν ένα μωσαϊκό μικρών γεωργικών εκμεταλλεύσεων υψηλής φυσικής αξίας.</p>	(Schübpbach et al., 2016) (Weißhuhn et al., 2017) (Zomeni et al., 2018)
	ΣΥΜ					
Ηλικία δέντρων	BIO				<p>Η ηλικία των δέντρων επηρεάζει τη δέσμευση άνθρακα (αποθήκευση CO₂ στα φυτά) και την παροχή τροφής (π.χ. τα δέντρα παρουσιάζουν μια ηλικία όπου η απόδοση μεγιστοποιείται). Η ηλικία των δέντρων επηρεάζει επίσης την αισθητική του τοπίου (π.χ. συμβολικά δέντρα, αίσθηση του τόπου).</p>	(Rotherham, 2015) (Ledo et al., 2018)
	ΣΥΜ					

Οργανική ουσία (%)	BIO			<p>Η οργανική ουσία είναι υψηλότερη στους μικτούς BIO οπωρώνες, σε σύγκριση με τους ΣΥΜ. Υπό την προϋπόθεση ότι όλες οι άλλες παράμετροι είναι ίδιες, αυτό σημαίνει αυξημένη παροχή τροφής και αυξημένη συγκράτηση νερού στο έδαφος (μειωμένη απώλεια εδαφικής υγρασίας). Υπό την προϋπόθεση ότι η οργανική λίπανση εφαρμόζεται συχνότερα στους BIO οπωρώνες, αυτό σημαίνει αυξημένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από το έδαφος.</p> <p>Η οργανική ύλη συνδέεται με πολλές ρυθμιστικές υπηρεσίες. Επομένως, η αυξημένη ποσότητα στο έδαφος οδηγεί σε υποστηρικτικές διαδικασίες όπως ο σχηματισμός του εδάφους, η ανακύκλωση των θρεπτικών στοιχείων, η ρύθμιση των παρασίτων (π.χ. υγιέστερο εδαφικό οικοσύστημα). Επί του παρόντος υπάρχουν περιορισμένα δεδομένα σχετικά με την επίδραση της οργανικής ουσίας του εδάφους στις πολιτιστικές υπηρεσίες.</p>	(Adhikari & Hartemink, 2016) (Montanaro et al., 2017) (Lee et al., 2019) (Ledo et al., 2018) (Ledo et al., 2020)
	ΣΥΜ				
Οργανικό άζωτο (%)	BIO			<p>Το άζωτο είναι μακροθρεπτικό συστατικό και συνδέεται με την παροχή τροφής (πράσινο), αλλά η αυξημένη παρουσία του έχει αρνητικές επιπτώσεις στον καθαρισμό του νερού (έκπλυση). Η περίσσεια αζώτου οδηγεί σε εκπομπές N₂O που είναι ένα ισχυρό αέριο του θερμοκηπίου. Τα συνθετικά λιπάσματα, λόγω της υψηλότερης απελευθέρωσης αζώτου στο εδαφικό περιβάλλον, οδηγούν σε υψηλότερες εκπομπές N₂O από ότι τα οργανικά (βραδύτερος ρυθμός απελευθέρωσης αζώτου) και υπερβολική παρουσία αζώτου στο περιβάλλον (πορτοκαλί).</p>	(Khalsa et al., 2020) (Garcia et al., 2018) (Lassaletta et al., 2014) (Duru et al., 2015)
	ΣΥΜ				
AMF (% αποικισμού ριζών)	BIO			<p>Η αυξημένη παρουσία AMF συνδέεται με αυξημένη παροχή τροφής (βελτιωμένη θρέψη των φυτών), βιοποικιλότητα του εδάφους, έλεγχο παρασίτων και ασθενειών, σχηματισμό του εδάφους (σταθερότερα εδαφικά συσσωματώματα) και ανακύκλωση</p>	(Adhikari & Hartemink, 2016)
	ΣΥΜ				

					θρεπτικών στοιχείων (π.χ. φωσφόρου). Υψηλότερη παρουσία σε βιολογικούς οπωρώνες (πράσινο) από ότι σε συμβατικούς (κίτρινο).	
Τράπεζα σπόρων (αριθμός ειδών)	BIO				Η αύξηση του αριθμού των ειδών ζιζανίων συνδέεται με τη γονιδιακή δεξαμενή (γενετική ποικιλομορφία), θα μπορούσε να επηρεάσει την επικονίαση (πολλά άγρια φυτά προσελκύουν επικονιαστές και ειδικά σε ξηρά περιβάλλοντα θα μπορούσαν να αποτελέσουν ζωτικό πόρο για τους επικονιαστές). Τα άγρια φυτά θα μπορούσαν επίσης να υποστηρίξουν τη ρύθμιση των παρασίτων και των ασθενειών (σημασία για τους φυσικούς εχθρούς). Η αυξημένη παρουσία ζιζανίων θα μπορούσε να επηρεάσει την παραγωγή τροφίμων (σε οπωρώνες θα μπορούσαν να ανταγωνιστούν τα δέντρα για νερό και θρεπτικά συστατικά). Στην περίπτωση της παρούσας μελέτης, ο αριθμός των ειδών ήταν διπλάσιος σε BIO (πράσινο-εκτός από την παροχή τροφής) από ότι σε SYM οπωρώνες (κίτρινο-εκτός από την παροχή τροφής).	(Adhikari & Hartemink, 2016)
	SYM					
Ρυθμός εδαφικής αναπνοής (mg CO₂/100g/ ημέρα)	BIO				Η αυξημένη αναπνοή του εδάφους συνδέεται με το κλίμα (απελευθέρωση CO ₂) και τη ρύθμιση των αερίων. Η παρουσία και η δραστηριότητα των μικροβίων είναι σημαντική για την ανακύκλωση των θρεπτικών συστατικών, το γενετικό υλικό (αφθονία ειδών), τον σχηματισμό και την ποιότητα του εδάφους και τη θρέψη των φυτών.	(Adhikari & Hartemink, 2016)
	SYM					
Σταθερότητα συσσωματωμάτων (MWD, mm)	BIO				Η σταθερότητα των συσσωματωμάτων (αυξημένη MWD) συνδέεται με την πρόληψη της διάβρωσης, τον έλεγχο των πλημμυρών, τη ρύθμιση των υδάτων και υποστηρίζει το σχηματισμό του εδάφους. Τα σταθερά εδαφικά συσσωματώματα δημιουργούν ένα εδαφικό προφίλ όπου η μεταφορά αερίων, νερού και θερμότητας προάγει την ανάπτυξη των φυτών (αυξημένη απόδοση).	(Adhikari & Hartemink, 2016)
	SYM					

Έντυπο προσωπικής συνέντευξης και δειγματοληψίας για τις ανάγκες της διδακτορικής διατριβής με θέμα: «Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΩΝ ΜΙΚΤΩΝ ΟΠΩΡΩΝΩΝ ΣΤΗΝ ΠΑΡΟΧΗ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΙΚΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ»

ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΟΥ ΑΦΟΡΟΥΝ ΣΤΗΝ ΕΠΙΤΟΠΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ	
ΑΝΑ ΟΠΩΡΩΝΑ	
Στοιχεία επικοινωνίας γεωργού	Όνοματεπώνυμο: Τηλέφωνο: Email:
Ημερομηνία/...../.....
Επαρχία/Περιοχή	(καταγραφή γεωγραφικών συντεταγμένων)
Καλλιεργητικό Σύστημα	Βιολογική γεωργία <input type="checkbox"/> Συμβατική γεωργία <input type="checkbox"/>
Έκταση καλλιέργειαςδεκάρια
Καρποφόρα είδη που καλλιεργούνται	(γένος/είδος καλλιεργουμένων οπωροφόρων)
Ηλικία οπωροφόρων δέντρων	
Περιγραφή αγροτεμαχίων που γειτνιάζουν	
Πρόσφατες καλλιεργητικές πρακτικές	(ψεκασμοί, μηχανική καλλιέργεια κλπ. κατά τον τελευταίο μήνα)
ΕΦΑΡΜΟΖΟΜΕΝΕΣ ΓΕΩΡΓΙΚΕΣ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΤΡΙΕΤΙΑ	
Μέθοδος άρδευσης	Αυλάκια/Λεκάνες
	Βελτιωμένα συστήματα άρδευσης (στάγδην/μικροεκτοξευτήρες)
	Καμία άρδευση
	Άλλο

Φυτοπροστασία	<i>Χημικές μέθοδοι</i>
	<i>Βιολογικές μέθοδοι</i>
	<i>Τίποτα δεν εφαρμόζεται</i>
	<i>Άλλο</i>
Ζιζανιοκτονία	<i>Χημική καταπολέμηση</i>
	<i>Μηχανική καταπολέμηση/κατεργασία εδάφους</i>
	<i>Χορτοκοπή/ενσωμάτωση</i>
	<i>Άλλο</i>
Τύπος Λίπανσης	<i>Σύνθετα/χημικά</i>
	<i>Οργανικά λιπάσματα</i>
	<i>Καμία λίπανση</i>
	<i>Άλλο</i>

ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΛΛΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ	
Συλλογή σύνθετου δείγματος εδάφους σε βάθος 0-40 cm	ΝΑΙ/ΟΧΙ
Συλλογή σύνθετου δείγματος ρίζας (βάρους 100 g από βάθος 40 cm) από τα διάφορα καλλιεργούμενα είδη του οπωρώνα	ΝΑΙ/ΟΧΙ

Αναφορές για τον πίνακα Σ3.4

- Adhikari, K., & Hartemink, A. E. (2016). Linking soils to ecosystem services — A global review. *Geoderma*, 262, 101–111. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.08.009>
- Chagnon, M., Kreutzweiser, D., Mitchell, E. A. D., Morrissey, C. A., Noome, D. A., & Van der Sluijs, J. P. (2015). Risks of large-scale use of systemic insecticides to ecosystem functioning and services. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(1), 119–134. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3277-x>
- Demestihias, C., Plénet, D., Génard, M., Raynal, C., & Lescourret, F. (2017). Ecosystem services in orchards. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(2), 12. <https://doi.org/10.1007/s1359301704221>
- Duru, M., Therond, O., Martin, G., Martin-Clouaire, R., Magne, M.-A., Justes, E., Journet, E.-P., Aubertot, J.-N., Savary, S., Bergez, J.-E., & Sarthou, J. P. (2015). How to implement biodiversity-based agriculture to enhance ecosystem services: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(4), 1259–1281. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0306-1>
- Garcia, L., Celette, F., Gary, C., Ripoche, A., Valdés-Gómez, H., & Metay, A. (2018). Management of service crops for the provision of ecosystem services in vineyards: A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 251, 158–170. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.09.030>
- Gibbons, D., Morrissey, C., & Mineau, P. (2015). A review of the direct and indirect effects of neonicotinoids and fipronil on vertebrate wildlife. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(1), 103–118. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3180-5>
- Khalsa, S. D. S., Smart, D. R., Muhammad, S., Armstrong, C. M., Sanden, B. L., Houlton, B. Z., & Brown, P. H. (2020). Intensive fertilizer use increases orchard N cycling and lowers net global warming potential. *Science of the Total Environment*, 722, 137889. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137889>
- King, B. A., Bjerneberg, D. L., Trout, T. J., Mateos, L., Araujo, D. F., & Costa, R. N. (2016). Estimation of Furrow Irrigation Sediment Loss Using an Artificial Neural Network. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 142(1), 04015031. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.19434774.0000932](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.19434774.0000932)
- Lassaletta, L., Billen, G., Grizzetti, B., Garnier, J., Leach, A. M., & Galloway, J. N. (2014). Food and feed trade as a driver in the global nitrogen cycle: 50-year trends. *Biogeochemistry*, 118(1-3), 225–241. <https://doi.org/10.1007/s10533-013-9923-4>
- Ledo, A., Heathcote, R., Hastings, A., Smith, P., & Hillier, J. (2018). Perennial-GHG: A new generic allometric model to estimate biomass accumulation and greenhouse gas emissions in perennial food and bioenergy crops. *Environmental Modelling & Software*, 102, 292–305. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.12.005>

- Ledo, A., Smith, P., Zerihun, A., Whitaker, J., Vicente-Vicente, J. L., Qin, Z., McNamara, N. P., Zinn, Y. L., Llorente, M., Liebig, M., Kuhnert, M., Dondini, M., Don, A., Diaz-Pines, E., Datta, A., Bakka, H., Aguilera, E., & Hillier, J. (2020). Changes in soil organic carbon under perennial crops. *Global Change Biology*, 26(7), 4158–4168. <https://doi.org/10.1111/gcb.15120>
- Lee, H., Lautenbach, S., Paula, A., Bondeau, A., Cramer, W., & Geijzendorffer, I. R. (2019). The impact of conservation farming practices on Mediterranean agroecosystem services provisioning—a meta-analysis. *Regional Environmental Change*, 19(8), 2187–2202. <https://doi.org/10.1007/s101130181447y>
- Montanaro, G., Xiloyannis, C., Nuzzo, V., & Dichio, B. (2017). Orchard management, soil organic carbon and ecosystem services in Mediterranean fruit tree crops. *Scientia Horticulturae*, 217, 92–101. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.01.012>
- Morugán-Coronado, A., Linares, C., Gómez-López, M. D., Faz, Á., & Zornoza, R. (2020). The impact of intercropping, tillage and fertilizer type on soil and crop yield in fruit orchards under Mediterranean conditions: A meta-analysis of field studies. *Agricultural Systems*, 178, 102736. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102736>
- Potts, S. G., Imperatriz-Fonseca, V., Ngo, H. T., Aizen, M. A., Biesmeijer, J. C., Breeze, T. D., Dicks, L. V., Garibaldi, L. A., Hill, R., Settele, J., & Vanbergen, A. J. (2016). Safeguarding pollinators and their values to human well-being. *Nature*, 540, 220–229. <https://doi.org/10.1038/nature20588>
- Rotherham, I. D. (2015). Bio-cultural heritage and biodiversity: emerging paradigms in conservation and planning. *Biodivers Conserv*, 24(13), 3405–3429. <https://doi.org/10.1007/s10531-015-1006-5>
- Schüpbach, B., Junge, X., Lindemann-Matthies, P., & Walter, T. (2016). Seasonality, diversity and aesthetic valuation of landscape plots: An integrative approach to assess landscape quality on different scales. *Land Use Policy*, 53, 27–35. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.01.032>
- Simon, S., Bouvier, J.-C., Debras, J.-F., & Sauphanor, B. (2010). Biodiversity and pest management in orchard systems. A review. *Agron. Sustain. Dev*, 30(1), 139–152. <https://doi.org/10.1051/agro/2009013>
- Stewart, W. M., Dibb, D. W., Johnston, A. E., & Smyth, T. J. (2005). The contribution of commercial fertilizer nutrients to food production. *Agron. J*, 97(1), 1–6. <https://doi.org/10.2134/agronj2005.0001>
- Weißhuhn, P., Reckling, M., Stachow, U., & Wiggering, H. (2017). Supporting agricultural ecosystem services through the integration of perennial polycultures into crop rotations.

Sustainability, 9, 2267. <https://doi.org/10.3390/su9122267>

Zomeni, M., Martinou, A., Stavrinides, M., & Vogiatzakis, I. (2018). High nature value farmlands: challenges in identification and interpretation using Cyprus as a case study. *Nature Conservation*, 31, 53–70. <https://doi.org/10.3897/natureconservation.31.28397>

Παράρτημα Β

Συμπληρωματικό υλικό: Κεφάλαιο 4

Πίνακας Σ4.1. Χαρακτηριστικά και στοιχεία των μικτών οπωρώνων της μελέτης (τοποθεσία, σύστημα, κυρίαρχο καλλιεργούμενο είδος, έκταση και ηλικία δέντρου)

α/α	Όνομα τοποθεσίας	Κωδικός αγροτεμαχίου	Καλλιεργητικό σύστημα (Βιολογικό = Β ή Συμβατικό = Σ)	Κυρίαρχο καλλιεργούμενο είδος	Έκταση (ha)	Ηλικία δέντρων (έτη)
1	ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	ALB1	Β	ΑΜΥΓΔΑΛΙΑ	0,800	15
2	ΛΥΘΟΡΟΔΟΝΤΑΣ	PLB2	Β	ΔΑΜΑΣΚΗΝΙΑ	0,542	13
3	ΛΥΘΟΡΟΔΟΝΤΑΣ	PISC3	Σ	ΠΙΣΤΑΚΙΑ	0,284	22
4	ΚΟΡΑΚΟΥ	PLB4	Β	ΔΑΜΑΣΚΗΝΙΑ	0,450	5
5	ΚΟΡΑΚΟΥ	APRC5	Σ	ΒΕΡΙΚΟΚΙΑ	0,170	10
6	ΤΕΜΒΡΙΑ	PLB6	Β	ΔΑΜΑΣΚΗΝΙΑ	0,380	10
7	ΓΑΛΑΤΑ-ΤΕΜΒΡΙΑ	PLC7	Σ	ΔΑΜΑΣΚΗΝΙΑ	0,440	20
8	ΒΑΒΛΑ	NUB10	Β	ΚΑΡΥΔΙΑ	1,030	18
9	ΛΟΥΒΑΡΑΣ	CHB11	Β	ΚΕΡΑΣΙΑ	0,390	10
10	ΛΙΜΝΑΤΗΣ	PLB13	Β	ΔΑΜΑΣΚΗΝΙΑ	0,230	6
11	ΛΙΜΝΑΤΗΣ	ALB14	Β	ΑΜΥΓΔΑΛΙΑ	0,510	25
12	ΛΙΜΝΑΤΗΣ	ALC15	Σ	ΑΜΥΓΔΑΛΙΑ	0,840	25
13	ΛΙΜΝΑΤΗΣ	ALC16	Σ	ΑΜΥΓΔΑΛΙΑ	1,330	40
14	ΒΑΒΛΑ	ALC17	Σ	ΑΜΥΓΔΑΛΙΑ	0,760	25
15	ΠΕΡΙΣΤΕΡΩΝΑ	PLB18	Β	ΔΑΜΑΣΚΗΝΙΑ	0,488	12
16	ΠΕΡΙΣΤΕΡΩΝΑ	PLC19	Σ	ΔΑΜΑΣΚΗΝΙΑ	0,330	10
17	ΚΟΥΤΡΑΦΑΣ	PLB20	Β	ΔΑΜΑΣΚΗΝΙΑ	0,641	10
18	ΚΟΥΤΡΑΦΑΣ	APRC21	Σ	ΒΕΡΙΚΟΚΙΑ	0,652	20
19	ΑΓ.ΙΩΑΝΝΗΣ ΜΑΛΟΥΝΤΑΣ	APRB22	Β	ΒΕΡΙΚΟΚΙΑ	0,950	7
20	ΑΓ.ΙΩΑΝΝΗΣ ΜΑΛΟΥΝΤΑΣ	NUC23	Σ	ΚΑΡΥΔΙΑ	0,300	20
21	ΔΥΜΕΣ	PLB26	Β	ΔΑΜΑΣΚΗΝΙΑ	0,384	20
22	ΔΥΜΕΣ	ALC27	Σ	ΑΜΥΓΔΑΛΙΑ	0,107	20

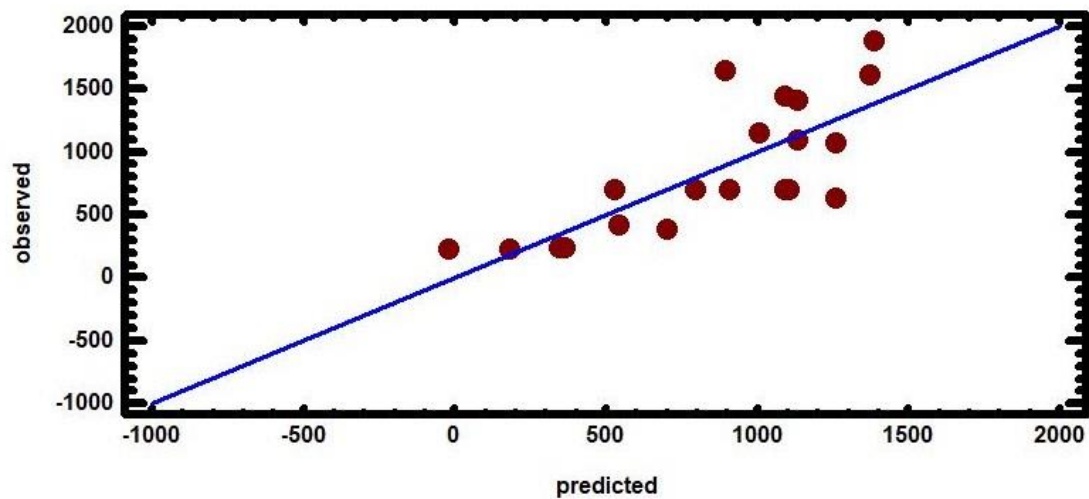
23	ΑΘΗΑΙΝΟΥ	ALB30	B	ΑΜΥΓΔΑΛΙΑ	1,410	4
24	ΑΘΗΑΙΝΟΥ	ALC31	Σ	ΑΜΥΓΔΑΛΙΑ	0,460	10
25	ΑΘΗΑΙΝΟΥ	ALB32	B	ΑΜΥΓΔΑΛΙΑ	0,800	13
26	ΑΘΗΑΙΝΟΥ	ALC33	Σ	ΑΜΥΓΔΑΛΙΑ	1,670	15
27	ΛΥΘΟΡΟΔΟΝΤΑΣ	PEB34	B	ΡΟΔΑΚΙΝΙΑ	0,350	8
28	ΛΥΘΟΡΟΔΟΝΤΑΣ	NUC35	Σ	ΚΑΡΥΔΙΑ	0,480	20
29	ΜΟΣΦΙΛΩΤΗ	PEC37	Σ	ΡΟΔΑΚΙΝΙΑ	0,500	10
30	ΤΡΟΥΛΛΟΙ	NUB38	B	ΚΑΡΥΔΙΑ	0,443	15
31	ΜΑΧΑΙΡΑΣ	PEB40	B	ΒΕΡΙΚΟΚΙΑ	0,840	5
32	ΜΑΧΑΙΡΑΣ	NUC41	Σ	ΚΑΡΥΔΙΑ	0,578	20
33	ΚΑΠΕΔΕΣ	CHB42	B	ΚΕΡΑΣΙΑ	0,980	7
34	ΚΑΠΕΔΕΣ	NUC43	Σ	ΚΑΡΥΔΙΑ	0,312	15
35	ΚΑΜΠΙΑ	PEC44	Σ	ΡΟΔΑΚΙΝΙΑ	0,390	10
36	ΜΕΣΑ ΧΩΡΙΟ	PEB46	B	ΡΟΔΑΚΙΝΙΑ	0,710	6
37	ΑΜΑΡΓΕΤΗ	PLB48	B	ΔΑΜΑΣΚΗΝΙΑ	0,409	7
38	ΑΜΑΡΓΕΤΗ	NUC49	Σ	ΚΑΡΥΔΙΑ	0,620	15
39	ΠΑΝΑΓΙΑ	PLC53	Σ	ΔΑΜΑΣΚΗΝΙΑ	0,364	4

Πίνακας Σ4.2. Εδαφικές παράμετροι των μικτών οπωρώνων της μελέτης

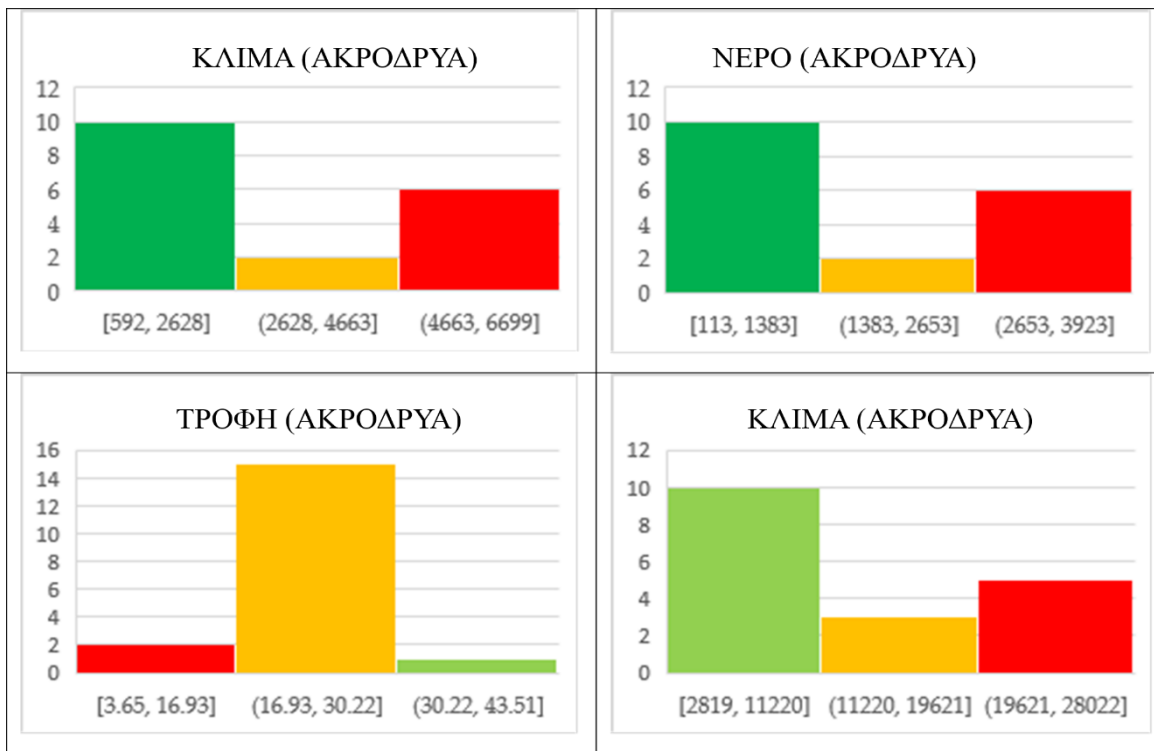
	Εδαφική αναπνοή CO ₂ [mg/100g /24h (25°C)]	Οργανικό άζωτο (%)	MWD (mm)	Οργανική ουσία (%)	Αριθμός ειδών ζιζανίων	AMF(%)
Πυρηνόκαρπα						
PLB2	54	0,135	14	0,94	9	32
PLB4	29	0,198	11	1,36	6	22
APRC5	19	0,111	8	0,87	5	12
PLB6	36	0,156	13	1,12	7	32
PLC7	20	0,121	12	0,89	5	12
CHB11	38	0,165	13	1,32	8	32
PLB13	36	0,165	12	1,21	8	32
PLB18	39	0,145	12	1,11	10	41
PLC19	25	0,124	9	0,95	4	24
PLB20	45	0,135	12	0,99	9	29
APRC21	25	0,148	10	1,11	3	27
APRB22	41	0,178	13	1,32	5	28
PLB26	29	0,165	13	1,22	10	36
PEB34	29	0,168	14	1,23	5	31
PEC37	17	0,123	10	0,87	1	16
PEB40	37	0,165	13	1,19	7	33
CHB42	32	0,145	11	1,21	6	29
PEC44	17	0,094	10	0,68	4	26
PEB46	34	0,142	12	1,10	5	43
PLB48	32	0,132	13	0,95	5	32
PLC53	19	0,109	9	0,86	1	11
Ακρόδρα						
ALB1	38	0,185	12	1,31	6	37
PISC3	18	0,108	9	0,82	4	14
NUB10	33	0,145	12	1,03	7	19
ALB14	29	0,124	12	0,92	5	28
ALC15	17	0,119	7	0,87	2	20
ALC16	18	0,125	8	0,92	3	17
ALC17	22	0,131	8	0,99	3	23
NUC23	22	0,132	10	0,99	3	24
ALC27	23	0,101	10	1,17	6	17
ALB30	56	0,135	13	0,99	7	25
ALC31	23	0,121	9	0,84	4	12
ALB32	29	0,156	12	1,15	5	23
ALC33	19	0,112	7	0,87	3	18
NUC35	19	0,121	9	0,87	3	19
NUB38	36	0,174	12	1,35	4	28
NUC41	24	0,132	9	0,98	3	19
NUC43	17	0,098	7	0,75	3	24
NUC49	24	0,108	12	0,82	2	21

Πίνακας Σ4.3. Συντελεστές εκπομπών για την παραγωγή πετρελαίου και λιπασμάτων

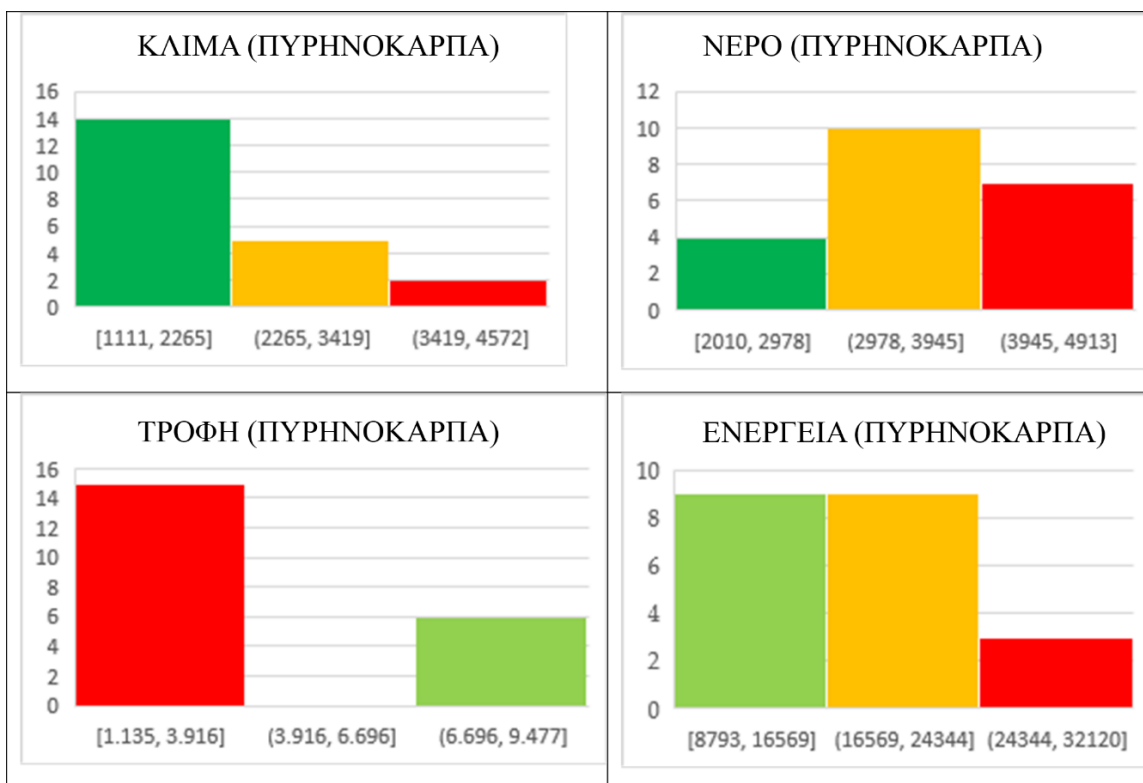
Εισροές	Εκπομπές GHG	Πηγή
Πετρέλαιο που καταναλώνεται σε μηχανήματα	3,8 kg CO ₂ -eq/L	Ecoinvent v3.8
Κοπριά (αιγοπροβάτων)	0,147 kg CO ₂ -eq/kg προϊόντος	Ecoinvent v3.8
Οργανικό λίπασμα (5-5-10)	0,675 kg CO ₂ -eq/kg προϊόντος	Ecoinvent v3.8
Ανόργανο Λίπασμα N	1,568 kg CO ₂ -eq/kg N	Ecoinvent v3.8



Σχήμα Σ4.1. Διάγραμμα παρατηρούμενων έναντι προβλεπόμενων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου για την περίπτωση βιολογικών και συμβατικών μικτών σπορώνων πυρηνοκάρπων



Σχήμα Σ4.2. Κλάσεις που προκύπτουν με βάση τις τιμές των παραμέτρων NETK για τους μικτούς σπορώνες ακρόδρυων. Πράσινο 3 βαθμοί, πορτοκαλί 1 βαθμός, κόκκινο 0 βαθμοί.



Σχήμα Σ4.3. Κλάσεις που προκύπτουν με βάση τις τιμές των παραμέτρων NETK για τους μικτούς σπορώνες πυρηνόκαρπων. Πράσινο 3 βαθμοί, πορτοκαλί 1 βαθμός, κόκκινο 0 βαθμοί.

Πίνακας Σ4.4. Παράμετροι NETK για τους μικτούς οπωρώνες και ταξινόμηση σε σχέση με τις ΟΥ

Όνομα τοποθεσίας	Κωδικός οπωρώνα	Καλλιεργητικό σύστημα (Βιολογικό =B ή Συμβατικό=Σ)	GHG (kg CO ₂ eq /ha)	NEPO (m ³ /ha)	ΤΡΟΦΗ (Mcal/ha)	ΕΝΕΡΓΕΙΑ (MJ/ha)
ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	ALB1	B	928	658	3,65	3708
ΛΥΘΟΡΟΔΟΝΤΑΣ	PISC3	B	4059	2685	19,33	16474
ΛΥΘΟΡΟΔΟΝΤΑΣ	NUB10	Σ	3164	1418	22,10	12726
ΚΟΡΑΚΟΥ	ALB14	B	928	658	18,23	3708
ΚΟΡΑΚΟΥ	ALC15	Σ	803	113	22,71	3472
ΤΕΜΒΡΙΑ	ALC16	B	803	113	22,71	3472
ΓΑΛΑΤΑ-ΤΕΜΒΡΙΑ	ALC17	Σ	803	113	22,71	3472
ΒΑΒΛΑ	NUC23	B	6699	3923	26,00	28022
ΛΟΥΒΑΡΑΣ	ALC27	B	803	113	22,71	3472
ΛΙΜΝΑΤΗΣ	ALB30	B	592	261	6,08	2819
ΛΙΜΝΑΤΗΣ	ALC31	B	803	113	22,71	3472
ΛΙΜΝΑΤΗΣ	ALB32	Σ	928	658	18,23	3708
ΛΙΜΝΑΤΗΣ	ALC33	Σ	803	113	22,71	3472
ΒΑΒΛΑ	NUC35	Σ	6699	3923	26,00	28022
ΠΕΡΙΣΤΕΡΩΝΑ	NUB38	B	4701	1839	43,51	19395
ΠΕΡΙΣΤΕΡΩΝΑ	NUC41	Σ	6699	3923	26,00	28022
ΚΟΥΤΡΑΦΑΣ	NUC43	B	6699	3923	26,00	28022
ΚΟΥΤΡΑΦΑΣ	NUC49	Σ	6699	3923	26,00	28022
ΑΓ. ΙΩΑΝΝΗΣ ΜΑΛΟΥΝΤΑΣ	PLB2	B	1918	3015	2,724	17461
ΑΓ.ΙΩΑΝΝΗΣ ΜΑΛΟΥΝΤΑΣ	PLB4	Σ	1302	2010	1,135	12395
ΔΥΜΕΣ	APRC5	B	2139	3500	9,477	14163
ΔΥΜΕΣ	PLB6	Σ	1918	3015	2,724	17461
ΑΘΗΑΙΝΟΥ	PLC7	B	2106	4178	8,626	13156
ΑΘΗΑΙΝΟΥ	CHB11	Σ	4572	4268	3,170	32120
ΑΘΗΑΙΝΟΥ	PLB13	B	1488	2010	1,362	13934
ΑΘΗΑΙΝΟΥ	PLB18	Σ	1918	3015	2,724	17461
ΛΥΘΟΡΟΔΟΝΤΑΣ	PLC19	B	2106	4178	8,626	13156
ΛΥΘΟΡΟΔΟΝΤΑΣ	PLB20	Σ	1918	3015	2,724	17461
ΜΟΣΦΙΛΩΤΗ	APRC21	Σ	2139	3500	9,477	14163
ΤΡΟΥΛΛΟΙ	APRB22	B	1566	4913	2,452	10047
ΜΑΧΑΙΡΑΣ	PLB26	B	1918	3015	2,724	17461
ΜΑΧΑΙΡΑΣ	PEB34	Σ	2687	3135	1,428	25348
ΚΑΠΕΔΕΣ	PEC37	B	3282	4200	7,880	22763
ΚΑΠΕΔΕΣ	PEB40	Σ	2302	2090	1,428	21884
ΚΑΜΠΙΑ	CHB42	Σ	3650	4268	2,219	28008
ΜΕΣΑ ΧΩΡΙΟ	PEC44	B	3282	4200	7,880	22763
ΑΜΑΡΓΕΤΗ	PEB46	B	2508	3135	1,773	23743
ΑΜΑΡΓΕΤΗ	PLB48	Σ	1706	3015	1,589	15924
ΠΑΝΑΓΙΑ	PLC53	Σ	1111	2785	2,875	8793

Παράρτημα Γ

Συμπληρωματικό υλικό: Κεφάλαιο 5

Πίνακας ΣΠ 5.1: Κύρια χαρακτηριστικά οπωρώνων μελέτης

Α/Α ΑΓΡΟΤΕΜΑΧΙΟΥ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΑΓΡΟΤΕΜΑΧΙΟΥ	ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΓΡΟΤΕΜΑΧΙΟΥ	ΚΥΡΙΑΡΧΟ ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΟ ΕΙΔΟΣ	ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ (Βιολογικό=1, Συμβρατικό=2)	ΗΛΙΚΙΑ ΔΕΝΤΡΩΝ (έτη)	ΕΚΤΑΣΗ ΟΠΩΡΩΝΑ (ha)	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΜΗΚΟΣ
1	ALB1	ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	Αμυγδαλιά	1	15	0,892	34.992	33.347
2	PLB2	ΛΥΘΟΡΟΔΟΝΤΑΣ	Δαμασκηλιά	1	13	0,542	34.964	33.276
3	PISC3	ΛΥΘΟΡΟΔΟΝΤΑΣ	Πιστακιά	2	22	0,284	34.935	33.280
4	PLB4	ΚΟΡΑΚΟΥ	Δαμασκηλιά	1	5	0,450	35.053	32.887
5	APRC5	ΚΟΡΑΚΟΥ	Βερικοκιά	2	10	0,170	35.057	32.888
6	PLB6	ΤΕΜΒΡΙΑ	Δαμασκηλιά	1	10	0,380	35.022	32.897
7	PLC7	ΓΑΛΑΤΑ-ΤΕΜΒΡΙΑ	Δαμασκηλιά	2	20	0,440	35.009	32.894
9	APC9	ΑΓ. ΘΕΟΔΩΡΟΣ	Μηλιά	2	23	0,260	35.039	32.93
10	NUB10	ΒΑΒΛΑ	Καρυδιά	1	18	1,030	34.851	33.264
11	CHB11	ΛΟΥΒΑΡΑΣ	Κερασιά	1	10	0,390	34.832	33.061
12	APC12	ΛΟΥΒΑΡΑΣ	Μηλιά	2	20	0,450	34.829	33.06
13	PLB13	ΛΙΜΝΑΤΗΣ	Δαμασκηλιά	1	6	0,230	34.809	32.94
14	ALB14	ΛΙΜΝΑΤΗΣ	Αμυγδαλιά	1	25	0,510	34.816	32.953
15	ALC15	ΛΙΜΝΑΤΗΣ	Αμυγδαλιά	2	25	0,840	34.815	32.952
16	ALC16	ΛΙΜΝΑΤΗΣ	Αμυγδαλιά	2	40	1,330	34.817	32.947
17	ALC17	ΒΑΒΛΑ	Αμυγδαλιά	2	25	0,760	34.84	33.285
18	PLB18	ΠΕΡΙΣΤΕΡΩΝΑ	Δαμασκηλιά	1	12	0,488	35.143	33.088
19	PLC19	ΠΕΡΙΣΤΕΡΩΝΑ	Δαμασκηλιά	2	10	0,330	35.145	33.088
20	PLB20	ΚΟΥΤΡΑΦΑΣ	Δαμασκηλιά	1	10	0,641	35.093	32.972
21	APRC21	ΚΟΥΤΡΑΦΑΣ	Βερικοκιά	2	20	0,652	35.095	32.971

22	APRB22	ΑΓ. ΙΩΑΝΝΗΣ ΜΑΛΟΥΝΤΑΣ	Βερικοκιά	1	7	0,950	35.071	33.19
23	NUC23	ΑΓ. ΙΩΑΝΝΗΣ ΜΑΛΟΥΝΤΑΣ	Καρυδιά	2	20	0,300	35.068	33.187
24	APB24	ΚΥΠΕΡΟΥΝΤΑ	Μηλιά	1	20	0,140	34.943	32.956
25	APC25	ΚΥΠΕΡΟΥΝΤΑ	Μηλιά	2	10	0,098	34.942	32.956
26	PLB26	ΔΥΜΕΣ	Δαμασκηιά	1	20	0,384	34.935	32.948
27	ALC27	ΔΥΜΕΣ	Αμυγδαλιά	2	20	0,107	34.932	32.95
28	FIB28	ΑΓΓΛΙΣΙΔΕΣ	Συκιά	1	5	0,518	34.864	33.452
29	APC29	ΑΓΓΛΙΣΙΔΕΣ	Μηλιά	2	14	0,619	34.86	34.86
30	ALB30	ΑΘΗΑΙΝΟΥ	Αμυγδαλιά	1	4	1,410	35.018	33.527
31	ALC31	ΑΘΗΑΙΝΟΥ	Αμυγδαλιά	2	10	0,460	35.033	33.532
32	ALB32	ΑΘΗΑΙΝΟΥ	Αμυγδαλιά	1	13	0,800	35.02	33.551
33	ALC33	ΑΘΗΑΙΝΟΥ	Αμυγδαλιά	2	15	1,670	35.035	33.538
34	PEB34	ΛΥΘΟΡΟΔΟΝΤΑΣ	Ροδακινιά	1	8	0,350	34.922	33.304
35	NUC35	ΛΥΘΟΡΟΔΟΝΤΑΣ	Καρυδιά	2	20	0,480	34.933	33.297
37	PEC37	ΜΟΣΦΙΛΩΤΗ	Ροδακινιά	2	10	0,500	34.945	33.436
38	NUB38	ΤΡΟΥΛΟΙ	Καρυδιά	1	15	0,443	35.015	33.631
39	FIC39	ΟΡΟΚΛΙΝΗ	Συκιά	2	20	0,390	34.997	33.671
40	APRB40	ΜΑΧΑΙΡΑΣ	Βερικοκιά	1	5	0,840	34.94	33.19
41	NUC41	ΜΑΧΑΙΡΑΣ	Καρυδιά	2	20	0,578	34.936	33.176
42	CHB42	ΚΑΠΕΔΕΣ	Κερασιά	1	7	0,980	34.99	33.262
43	NUC43	ΚΑΠΕΔΕΣ	Καρυδιά	2	15	0,312	34.977	33.257
44	PEC44	ΚΑΜΠΙΑ	Ροδακινιά	2	10	0,390	35.0001 9	33.256
45	POB45	ΚΑΜΠΙΑ	Ροδιά	1	7	0,790	35.008	33.24
46	PEB46	ΜΕΣΑ ΧΩΡΙΟ	Ροδακινιά	1	6	0,710	34.803	32.466
48	PLB48	ΑΜΑΡΓΕΤΗ	Δαμασκηιά	1	7	0,409	34.835	32.556
49	NUC49	ΑΜΑΡΓΕΤΗ	Καρυδιά	2	15	0,620	34.837	32.566
53	PLC53	ΠΑΝΑΓΙΑ	Δαμασκηιά	2	4	0,364	34.915	32.631
54	APB54	ΣΤΡΟΥΜΠΙ	Μηλιά	1	7	0,579	34.882	32.479
55	APC55	ΣΤΡΟΥΜΠΙ	Μηλιά	2	10	0,858	34.881	32.478

Πίνακας Σ5.2: Ταξινόμηση οπωρώνων μελέτης ανά κυρίαρχο καλλιεργούμενο είδος και καλλιεργητικό σύστημα

ΚΟΙΝΟ ΟΝΟΜΑ	ΤΑΞΙΝΟΜΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ (ΕΙΔΟΣ)	ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΙ ΟΠΩΡΩΝΕΣ	ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΙ ΟΠΩΡΩΝΕΣ	ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΟΠΩΡΩΝΩΝ ΑΝΑ ΕΙΔΟΣ
Αμυγδαλιά	<i>Prunus dulcis</i>	4	6	10
Μηλιά	<i>Malus domestica</i>	2	5	7
Βερικοκιά	<i>Prunus armeniaca</i>	2	2	4
Κερασιά	<i>Prunus avium</i>	2	0	2
Συκιά	<i>Ficus carica</i>	1	1	2
Καρυδιά	<i>Juglans regia</i>	2	5	7
Ροδακινιά	<i>Prunus persica</i>	2	2	4
Πιστακιά	<i>Pistacia vera</i>	0	1	1
Δαμασκηνιά	<i>Prunus domestica</i>	8	3	11
Ροδιά	<i>Punica granatum</i>	1	0	1
ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΟΠΩΡΩΝΩΝ				49

Πίνακας Σ5.3: Εκπομπές - απορρόφηση άνθρακα (Cseq) ανά μέθοδο, στους οπωρώνες της μελέτης (με *italics* σημειώνονται οι οπωρώνες που εκπέμπουν άνθρακα και κανονική γραφή σημειώνονται οι οπωρώνες που απορροφούν άνθρακα στη βιομάζα τους βάσει της ηλικίας τους και ανά μέθοδο)

ΚΩΔΙΚΟΣ ΑΓΡΟΤΕΜ ΑΧΙΟΥ	ΗΛΙΚΙΑ ΔΕΝΤΡΩΝ (έτη)	Cseq/Μέθοδο (Kg/δέντρο/έτος)					Cseq M6
		CseqM1	CseqM2	CseqM3	CseqM4	CseqM5	
ALB30	4	0.99	-2.89	-2.28	-2.75	-2.20	-2.62
PLC53	4	0.89	-3.02	-2.31	-3.27	-2.23	-2.64
APRB40	5	1.63	-2.93	-1.95	-3.04	-1.98	-2.37
FIB28	5	1.34	-2.97	-2.04	-3.28	-2.07	-2.44
PLB4	5	1.63	-2.77	-1.95	-3.22	-1.98	-2.37
PEB46	6	2.33	-2.65	-1.58	-3.04	-1.76	-2.09
PLB13	6	2.29	-2.65	-1.60	-3.26	-1.77	-2.10
APB54	7	2.78	-2.58	-1.28	-3.07	-1.63	-1.87
APRB22	7	2.89	-2.81	-1.24	-3.08	-1.59	-1.84
CHB42	7	2.60	-2.36	-1.35	-3.13	-1.69	-1.92
PLB48	7	2.89	-2.56	-1.24	-3.34	-1.59	-1.84
POB45	7	3.15	-2.51	-1.14	-2.75	-1.50	-1.76
PEB34	8	3.48	-2.16	-0.87	-3.00	-1.43	-1.55
ALC31	10	4.57	-0.59	-0.10	-1.43	-1.17	-0.97
APC25	10	4.22	-1.60	-0.28	-3.01	-1.30	-1.11
APC55	10	4.22	-1.60	-0.28	-3.01	-1.30	-1.11
APRC5	10	4.37	-1.98	-0.20	-2.95	-1.24	-1.05
CHB11	10	3.99	-1.26	-0.39	-3.16	-1.38	-1.20
PEC37	10	4.42	-1.53	-0.18	-3.02	-1.22	-1.03
PEC44	10	4.42	-1.53	-0.18	-3.02	-1.22	-1.03
PLB20	10	4.37	-0.68	-0.20	-3.25	-1.24	-1.05
PLB6	10	4.37	-0.68	-0.20	-3.25	-1.24	-1.05
PLC19	10	4.37	-0.68	-0.20	-3.25	-1.24	-1.05
PLB18	12	5.10	-0.22	0.44	-3.59	-1.17	-0.57
ALB32	13	5.66	0.11	0.89	-1.47	-1.08	-0.22
PLB2	13	5.41	-0.01	0.74	-3.81	-1.18	-0.34
APC29	14	5.48	-0.60	0.92	-3.47	-1.30	-0.22
ALB1	15	6.16	0.49	1.49	-1.67	-1.18	0.23

ALC33	15	6.16	0.49	1.49	-1.67	-1.18	0.23
NUB38	15	5.82	1.84	1.27	-3.01	-1.32	0.05
NUC43	15	5.82	1.84	1.27	-3.01	-1.32	0.05
NUC49	15	5.82	1.84	1.27	-3.01	-1.32	0.05
NUB10	18	6.21	3.62	2.00	-3.49	-1.74	0.59
ALC27	20	6.70	3.39	2.72	-1.56	-1.99	1.14
APB24	20	6.10	0.70	2.27	-5.06	-2.25	0.76
APC12	20	6.10	0.70	2.27	-5.06	-2.25	0.76
APRC21	20	6.35	0.86	2.46	-4.38	-2.14	0.92
FIC39	20	5.53	-0.70	1.85	-6.44	-2.50	0.40
NUC23	20	6.27	5.35	2.40	-3.81	-2.18	0.87
NUC35	20	6.27	5.35	2.40	-3.81	-2.18	0.87
NUC41	20	6.27	5.35	2.40	-3.81	-2.18	0.87
PLB26	20	6.35	1.98	2.46	-6.00	-2.14	0.92
PLC7	20	6.35	1.98	2.46	-6.00	-2.14	0.92
PISC3	22	6.88	1.34	3.28	-4.83	-2.43	1.57
APC9	23	5.88	0.73	2.72	-6.42	-3.16	1.04
ALB14	25	6.26	1.14	3.52	-4.59	-3.60	1.69
ALC15	25	6.26	1.14	3.52	-4.59	-3.60	1.69
ALC17	25	6.26	4.22	3.52	-3.15	-3.60	1.69
ALC16	40	-0.52	3.47	2.92	-12.78	-13.18	0.71