



ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Σχολή Θετικών Επιστημών & Τεχνολογίας

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών

Διαχείριση & Τεχνολογία Ποιότητας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Η συμβολή της Γεωργίας Ακριβείας στη διαχείριση του συστήματος καλλιέργειας και στη βελτίωση του περιβαλλοντικού του αποτυπώματος - Εφαρμογή στην καλλιέργεια της ελιάς

ΑΛΕΞΑΝΔΡΑΚΗ ΔΗΜΗΤΡΑ

ΧΑΤΖΗΣΤΕΛΙΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΠΑΤΡΑ
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ, 2024

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή/της φοιτήτριας («συγγραφέας/δημιουργός») που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο/η συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του/της συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του/της συγγραφέα/δημιουργού. Ο/Η συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.



ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Η συμβολή της Γεωργίας Ακριβείας στη διαχείριση του συστήματος καλλιέργειας και στη βελτίωση του περιβαλλοντικού του αποτυπώματος - Εφαρμογή στην καλλιέργεια της ελιάς

Αλεξανδράκη Δήμητρα

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπων Καθηγητής : Χατζηστέλιος Γεώργιος

Συν-Επιβλέπων καθηγητής : Τσαρούχας Παναγιώτης

ΠΑΤΡΑ
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ, 2024

Περίληψη

Είναι γεγονός, πως το ελαιόλαδο ως προϊόν με ηγετικό ρόλο στη μεσογειακή διατροφή και πλούσιο σε διατροφική αξία, αναγνωρίζει τα τελευταία χρόνια τεράστια ζήτηση παγκοσμίως. Αυτό, είχε ως αποτέλεσμα και την εξάπλωση της καλλιέργειας της ελιάς και σε περιοχές που παραδοσιακά δεν καλλιεργούνταν. Η κλιματική αλλαγή είχε έντονη παρουσία την περίοδο του 2023, έτος, το οποίο χαρακτηρίστηκε και ως το θερμότερο τα τελευταία 174 χρόνια. Πιο αναλυτικά, παρατεταμένη ξηρασία, ελάττωση των βροχοπτώσεων και πλήθος πυρκαγιών ήταν οι κυριότερες συνέπειες της κλιματικής αλλαγής. Έτσι, το ελαιόλαδο άγγιζε τα χαμηλότερα επίπεδα παραγωγής από το 1994/1995, με αποτέλεσμα να παρατηρηθεί ραγδαία αύξηση των τιμών του σε ποσοστά έως και 50%. Στην πραγματικότητα, η αύξηση αυτή αποτελεί πρόβλημα μείζονος σημασίας, δεδομένου πως η προσφορά αδυνατεί να καλύψει την τεράστια αυτή ζήτηση του προϊόντος. Μελλοντικά, οι προβλέψεις δείχνουν πως η κλιματική αλλαγή εντείνεται και η περιοχή της Μεσογείου που καταλαμβάνει το 95% της παγκόσμιας ελαιοκαλλιέργειας αντιμετωπίζει σοβαρές προκλήσεις. Η γεωργία επιδρά στην κλιματική αλλαγή εξαιτίας των αερίων του θερμοκηπίου που εκπέμπονται από τις διάφορες διεργασίες της. Πρωταρχικής σημασίας, για την προστασία του περιβάλλοντος είναι η μείωση των εκπομπών αυτών σε συνδυασμό με τη διατήρηση της παραγωγικότητας και της αγροτικής οικονομίας για την ικανοποίηση της συνεχώς αυξανόμενης παγκόσμιας ζήτησης τροφίμων. Είναι λοιπόν, ζωτικής σημασίας να εφαρμοστούν τεχνολογίες, οι οποίες έχουν τη δυνατότητα διαχείρισης του μεταβαλλόμενου περιβάλλοντος, με στόχο τη διασφάλιση των καλλιεργειών. Στη συγκεκριμένη έρευνα, έγινε ανασκόπηση μελετών Ανάλυσης Κύκλου Ζωής του ελαιόλαδου και εντοπίστηκαν πως τα κρίσιμα σημεία της παραγωγής με τις μεγαλύτερες περιβαλλοντικές εκπομπές είναι η λίπανση, η φυτοπροστασία και η άρδευση. Επίσης, πραγματοποιήθηκε ανασκόπηση των μεθόδων της γεωργίας ακριβείας μέσω των οποίων είναι εφικτό να μειωθούν οι γεωργικές εισροές, λόγω της χρήσης τεχνολογιών υψηλής ακρίβειας που στοχεύουν χωρικά και χρονικά στις ανάγκες του αγρού. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως η εφαρμογή της γεωργίας ακριβείας βελτιστοποιεί την ποιότητα και απόδοση της παραγωγής και μειώνει τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου. Η επίδραση της στις τιμές του ελαιόλαδου είναι έμμεση, εξαιτίας της εξοικονόμησης κόστους της παραγωγής και της βελτίωσης του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της καλλιέργειας.

Abstract

It is a fact that olive oil as a product with a leading role in the Mediterranean diet and with high nutritional value, in recent years recognizes a huge demand worldwide. This resulted in the spread of olive cultivation to areas where was not traditionally cultivated. The presence of climate change in 2023 was intense, which was described as the warmest year for the last 174 years. More specifically, the main consequences of climate change were prolonged drought, limited precipitation and numerous wildfires. Thus, olive oil reached the lowest levels of production since 1994/1995 and such fact resulted in a rapid increase in its prices by up to 50%. Actually, such increase is a major problem due to the fact that the supply is unable to cover this huge demand for the product. In the foreseeable future, projections show that as climate change intensifies, the Mediterranean region, which encompasses 95% of the global olive cultivation area, faces serious challenges. Agriculture is liable for climate change as its activities emit greenhouse gases. It is of primary importance for the protection of environment the reduction of such emissions and with the combination of the maintenance of productivity and rural economy in order to satisfy the increasing global demand for food. So, it is vital to apply technologies that have the ability to manage the variant environment in order to accomplish sustainable agricultural practices. In this research, conducted literature review of Life Cycle Analysis of olive oil and identified that the critical points of production with the highest environmental emissions are fertilization, pesticide application and irrigation. Moreover, the review of precision agriculture technologies resulted in the fact that using high-tech equipment has the ability to mitigate agricultural inputs by site specific applications that target specially and temporally the needs of the field. In addition, precision agriculture has the potential to provide a positive impact on the quality and yield of production and the ability to reduce greenhouse gas emissions. Last but not least, we can conclude that precision agriculture has the opportunity to affect indirectly the olive oil prices, due to the cost savings of production and the improvement of environmental footprint of the crop.

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη	iv
Abstract	v
1. Εισαγωγή	1
2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	4
2.1 Γεωργία Ακριβείας	4
2.2 Τεχνολογίες Γεωργίας Ακριβείας και Εξοπλισμός	6
2.2.1 Παγκόσμιο Σύστημα Προσδιορισμού Θέσης (Global Positioning System, GPS)	8
2.2.2 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Geographic Information System, GIS)	8
2.2.3 Χαρτογράφηση Παραγωγής (Monitoring Yielding)	10
2.2.4 Χαρτογράφηση Εδαφικών Ιδιοτήτων	10
2.2.5 Χαρτογράφηση Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας του Εδάφους (EC)	12
2.2.6 Τηλεπισκόπηση (Remote Sensing)	13
2.2.7 Τεχνολογία Διαφοροποιούμενης Δόσης (Variable Rate Application)	14
2.2.8 Μη Επανδρωμένα Εναέρια Οχήματα (Unmanned Aerial Vehicles, UAV)	16
2.3 Ζώνες Διαχείρισης	19
2.4 Εφαρμογές Γεωργίας Ακριβείας	20
2.5 Εφαρμογές της γεωργίας ακριβείας στην ελιά	21
2.6 Οφέλη Γεωργίας Ακριβείας	25
3. Η καλλιέργεια της ελιάς	27
3.1 Το ιστορικό και η προέλευση της ελιάς	27
3.2 Η Καλλιέργεια της Ελιάς στην Ελλάδα	28
3.3 Η Καλλιέργεια της Ελιάς Παγκοσμίως	29
3.4 Παράγοντες με αρνητική επίπτωση στην καλλιέργεια της ελιάς	29
3.5 Κλίμα και έδαφος	32
3.6 Λίπανση	33
3.7 Άρδευση	34
3.8 Συστήματα φύτευσης	35
3.9 Συγκομιδή της Ελιάς	37
3.10 Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις από την καλλιέργεια της ελιάς	39
4. Ελαιόλαδο	40
4.1 Παραγωγή ελαιόλαδου στην Ελλάδα	40
4.2 Παραγωγή ελαιόλαδου Παγκοσμίως	40
4.3 Παγκόσμιο εμπόριο του ελαιόλαδου	43

4.4 Πορεία τιμών ελαιόλαδου τα τελευταία χρόνια	43
4.5 Παράγοντες διαμόρφωσης τιμών ελαιόλαδου Παγκοσμίως.....	46
4.6 Ποιοτικά Χαρακτηριστικά ελαιόλαδου	47
4.7 Ανάλυση Κύκλου Ζωής του ελαιόλαδου	49
4.8 Περιβαλλοντικό Αποτύπωμα	55
5. Συμπεράσματα	59
Βιβλιογραφικές Αναφορές.....	64
Ξενόγλωσσες.....	64
Ελληνικές.....	69
Ηλεκτρονικές Πηγές	70

Κατάλογος Εικόνων/ Σχημάτων

Εικόνα 1: Τεχνολογίες Γεωργίας Ακριβείας (Balafoutis et al., 2017).....	7
Εικόνα 2: Πληροφορίες σε επίπεδα για έναν αγρό(Φούντας &Γέμετος,2015)	9
Εικόνα 3: Θερμική Εικόνα - Χαρτογράφηση υδατικού δυναμικού φυλλώματος καλλιέργειας (Γράβαλος και Μακρής, 2024)	18
Εικόνα 4: Πολυφασματικές εικόνες: α) Διάγνωση μύκητα, β) Διάγνωση προσβολής από Fusarium (Taseer and Han, 2024)	18
Διάγραμμα 1: Κυριότεροι παραγωγοί ελαιόλαδου παγκοσμίως (2020-2022) (FAOSTAT, 2024). ..	41
Διάγραμμα 2:Παγκόσμια ποσοστά παραγωγής ανά Ήπειρο (2020-2022) (FAOSTAT,2024). ..	42
Εικόνα 5: Παγκόσμια παραγωγή ελαιόλαδου (πηγή : https://www.internationaloliveoil.org/wp-content/uploads/2022/12/IOC-Olive-Oil-Dashboard-2.html#production-1)	42
Πίνακας 1: Μηνιαίες μέσες τιμές ελαιόλαδου στη Χάεν	44
Πίνακας 2: Μηνιαίες μέσες τιμές ελαιόλαδου Χανιά	45
Εικόνα 6: Ποσοστά αυξήσεων τιμών στην Ευρώπη (πηγή : https://ec.europa.eu/eurostat)	45
Εικόνα 7: Ποσοστά αυξήσεων τιμών χώρες ΕΕ (πηγή : https://ec.europa.eu/eurostat).....	46
Εικόνα 8: Μεταβολές ελαιοπεριεκτικότητας και σακχάρων κατά την ωρίμανση του ελαιόκαρπου (Βασιλακάκης, 2016)	49
Εικόνα 9: Διάγραμμα ροής καλλιέργειας ελιάς (Romero-Gamez et al., 2017).....	51
Εικόνα 10: Ετήσιες συγκεντρώσεις ατμοσφαιρικού CO ₂ την περίοδο 1750-2021 (Κατσαφάδος και Μαυροματίδης,2024)	57
Πίνακας 3 : Αποτελέσματα των βιβλιογραφικών ανασκοπήσεων στην κατηγορία της Κλιματικής Αλλαγής	62

1.Εισαγωγή

Υψιστης σημασίας για τον παγκόσμιο πληθυσμό, ο οποίος αυξάνεται με ταχείς ρυθμούς είναι η κάλυψη των επισιτιστικών αναγκών του. Η κλιματική αλλαγή σήμερα, η οποία κάνει αισθητή την παρουσία της προκαλώντας όλο και πιο έντονες διακυμάνσεις στις συνθήκες καλλιέργειας, κυρίως με τα φαινόμενα της ξηρασίας απειλεί τις καλλιέργειες περισσότερο από ποτέ. Οι μελλοντικές προβλέψεις δείχνουν έντονη κλιμάκωση της ξηρασίας και των συνεπειών της στις καλλιέργειες και κατ' επέκταση στις αποδόσεις αυτών. Είναι αναγκαίο λοιπόν να εφαρμοστούν τεχνολογίες, οι οποίες έχουν τη δυνατότητα διαχείρισης του μεταβαλλόμενου περιβάλλοντος, έτσι ώστε να διασφαλιστούν οι ζωτικές καλλιέργειες (Nteve et al., 2024). Σήμερα, ένα ζήτημα που απασχολεί την επικαιρότητα είναι η ραγδαία αύξηση της τιμής του ελαιόλαδου, η οποία σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία παρουσίασε τη μεγαλύτερη αύξηση το Νοέμβριο του 2023 (51%) σε σύγκριση με το Νοέμβριο του 2022 (“Το ελαιόλαδο στην ΕΕ”, 2023). Το γεγονός αυτό, οφείλεται στη συντριπτική μείωση της παραγωγής στις ελαιοπαραγωγικές χώρες, εξαιτίας ακραίων κλιματικών συνθηκών και γενικότερα συνεπειών που επιφέρει η πλέον παρούσα κλιματική αλλαγή (πυρκαγιές, ξηρασία, έλλειψη βροχοπτώσεων) (Nteve et al., 2024). Επίσης, ιδιαίτερα καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση τιμών του ελαιόλαδου έχουν οι αυξημένες τιμές των εισροών της καλλιέργειας. Δεδομένου λοιπόν της τεράστιας ζήτησης ενός τόσο δημοφιλούς προϊόντος υψηλής διατροφικής αξίας σε παγκόσμιο επίπεδο όπως το ελαιόλαδο, είναι σημαντικό να εντοπιστούν τα σημεία, τα οποία επηρεάζουν θετικά την απόδοση και την ποιότητα της παραγωγής του. Επίσης, είναι αναγκαίο τα στοιχεία αυτά να επιφέρουν, εν τέλει, μέσω των μεθόδων βελτίωσης της παραγωγής θετικές επιρροές και στο περιβαλλοντικό αποτύπωμα.

Είναι γεγονός, πως η τεχνολογία σήμερα λόγω της ραγδαίας εξέλιξης της βρίσκεται σε επίπεδο που παλιότερα, ειδικά στον τομέα της γεωργίας ήταν ανέλπιστο. Απόρροια αυτής της εξέλιξης είναι η Γεωργία Ακριβείας, μία στρατηγική διαχείρισης καλλιεργειών με πολλαπλά οφέλη τόσο σε επίπεδο ποιότητας και απόδοσης για τον ίδιο τον αγρό, όσο και σε περιβαλλοντικό επίπεδο. Η Γεωργία Ακριβείας είναι ένα σύστημα διαχείρισης αγροκτημάτων, το οποίο χρησιμοποιώντας την πληροφορική και τα ηλεκτρονικά εφαρμοσμένα στη γεωργία, βοηθά τον γεωργό στη λήψη αποφάσεων για την καλύτερη διαχείριση του αγροκτήματος (Bongiovanni & Lowenberg, 2004). Έτσι, αποτελεί τη σύγχρονη τάση στον αγροτικό τομέα και οι μέθοδοι εφαρμογής της αξίζει να μελετηθούν. Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιούνται μετρήσεις με την εφαρμογή συστημάτων της Γεωργίας Ακριβείας στις διακυμάνσεις των συνθηκών εντός του

αγρού, με αποτελέσματα να εφαρμόζεται την κατάλληλη χρονική στιγμή η απαιτούμενη ποσότητα λίπανσης, φυτοφαρμάκων και νερού ανάλογα με τις ανάγκες στις διάφορες ζώνες διαχείρισης και όχι η ίδια σε όλη την έκταση. Η μέθοδος αυτή εξασφαλίζει καλύτερη διαχείριση των εισροών (νερό άρδευσης, λιπάσματα, ενέργεια, φυτοφάρμακα) και άρα εκτός από εξοικονόμηση κόστους υπάρχει και μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων (Roma and Catania, 2022). Συνεπώς, είναι εφικτή η συμβολή της Γεωργίας Ακριβείας στην αύξηση των αποδόσεων και της βιωσιμότητας των καλλιεργητικών πρακτικών σε ένα συνεχώς εξελισσόμενο γεωργικό περιβάλλον, το οποίο καλείται να καλύψει τροφικές απαιτήσεις ενός αυξανόμενου με γεωμετρική πρόοδο παγκόσμιου πληθυσμού (Vidican et al., 2023). Οι ελαιοπαραγωγοί τις τελευταίες δεκαετίες έχοντας ως κύριο στόχο την άνοδο της παραγωγής ελαιόλαδου προτιμούν την καλλιέργεια σε εντατικά και αρδευόμενα συστήματα σε σύγκριση με τους παραδοσιακούς ελαιώνες. Έτσι, η ορθολογική διαχείριση της θρέψης των φυτών και της άρδευσης κυρίως σε αυτά τα συστήματα καλλιέργειας είναι παραπάνω από σημαντική (Zipori et al., 2020).

Το αντικείμενο της συγκεκριμένης έρευνας είναι ο προσδιορισμός των τομών της ποσοτικής συμβολής της γεωργίας ακριβείας μέσω της εφαρμογής της στο σύστημα της καλλιέργειας της ελιάς και της συμβολής της στη βελτίωση του περιβαλλοντικού του αποτυπώματος. Η έρευνα επιδιώκει να μελετήσει τη σημερινή κατάσταση της καλλιέργειας της ελιάς, εντοπίζοντας τους κύριους παράγοντες που προκαλούν προβλήματα και μείωση στην ελαιοπαραγωγή, με στόχο την κατανόηση και ανάλυση αυτών των παραγόντων για την προώθηση βέλτιστων γεωργικών πρακτικών. Ο στόχος της έρευνας είναι να παρουσιάσει τις πρακτικές της γεωργίας ακριβείας που εφαρμόζονται διεθνώς στην καλλιέργεια της ελιάς και να αξιολογήσει την αποτελεσματικότητά τους στην ποσοτική και ποιοτική βελτίωση των παραγόμενων προϊόντων. Επιπλέον, επιδιώκεται η εκτίμηση της συμβολής της γεωργίας ακριβείας στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της καλλιέργειας, με στόχο την αντιμετώπιση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Η έρευνα συμβάλλει στην κατανόηση της εφαρμογής της γεωργίας ακριβείας στην καλλιέργεια της ελιάς, προσφέροντας πρακτικές λύσεις για την αύξηση της παραγωγής και τη βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων. Παρέχει τεκμηριωμένες προτάσεις για τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος και την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής μέσω της βελτιστοποίησης των εισροών.

Μέσω μιας εκτεταμένης ανάλυσης και ανασκόπησης της βιβλιογραφίας, διασφαλίζεται η προσωπική συμβολή του συγγραφέα στην ανάλυση και εφαρμογή των θεωρητικών και πρακτικών γνώσεων της γεωργίας ακριβείας, στην αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των

βέλτιστων πρακτικών και στην ανάπτυξη συγκεκριμένων στρατηγικών για τη βελτίωση της καλλιέργειας της ελιάς και την προστασία του περιβάλλοντος.

Τα τελευταία χρόνια αυξάνεται όλο και περισσότερο το ενδιαφέρον για βιώσιμη παραγωγή και κατανάλωση τροφίμων, με αποτέλεσμα να εφαρμόζεται η Ανάλυση Κύκλου Ζωής, με στόχο τον εντοπισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που συνδέονται με τα αγροδιατροφικά συστήματα (Salomone and Ioppolo, 2012). Έτσι, πραγματοποιείται Ανάλυση Κύκλου Ζωής του ελαιόλαδου μέσω του οποίου γίνεται η μελέτη και η πλήρης ανάλυση των πρακτικών και των δραστηριοτήτων που μεσολαβούν μέχρι την παραγωγή του, με σκοπό να εντοπιστούν τα σημεία με τις σοβαρότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Γι' αυτό, σε συνδυασμό με τις μεθόδους και τις πρακτικές της γεωργίας ακριβείας θα γίνει αξιολόγηση για τον τρόπο με τον οποίο είναι εφικτό να έχουν θετική συνεισφορά τόσο στη μείωση κόστους, αλλά και στη βελτίωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος.

Ένα σημαντικό πόρισμα που αναμένεται να προκύψει μέσω της συγκεκριμένης έρευνας είναι να προσδιορίσει την έμμεση επίδραση της Γεωργίας Ακριβείας και την ποσοτική συμβολή της στις τιμές του ελαιόλαδου σε παγκόσμιο επίπεδο, συμβάλλοντας στην εξισορρόπηση του παγκόσμιου ισοζυγίου Προσφοράς-Ζήτησης. Προκειμένου να γίνει αυτό, η παρούσα έρευνα, λαμβάνει υπόψη την μεταβολή των τιμών, την παραγωγικότητα, την περιβαλλοντική επίδραση, αλλά και το ισοζύγιο προσφοράς-ζήτησης αναφορικά με την επίδραση της γεωργίας ακριβείας και τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την άσκηση της. Διότι, η διαρκής αύξηση της τιμής παγκοσμίως οφείλεται κυρίως στο έλλειμμα της παγκόσμιας παραγωγής ελαιόλαδου, καθώς επίσης στις αυξημένες τιμές εισροών (λιπάσματα, φυτοφάρμακα, νερό άρδευσης) και ενέργειας. Σχετικά με τους παραπάνω παράγοντες, η Γεωργία Ακριβείας υπόσχεται βελτίωση της απόδοσης και της ποιότητας της παραγωγής και ορθολογικότερη χρήση εισροών. Τέλος, οι χαμηλότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις αναμένονται να επηρεάσουν θετικά την κλιματική αλλαγή που και αυτή με τη σειρά της έχει έρθει στο προσκήνιο (Roma and Catania, 2022).

2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Σήμερα, η ευαισθητοποίηση της κοινωνίας για την προστασία του περιβάλλοντος και την ασφάλεια των τροφίμων συνεχώς και αυξάνεται. Με αποτέλεσμα, οι γεωργικές πρακτικές στην Ευρώπη να ενσωματώνουν περισσότερο βιώσιμες τεχνικές, οι οποίες έχουν θετική συμβολή στην παραγωγή και την ασφάλεια του περιβάλλοντος, όπως αναφέρεται στην Ευρωπαϊκή Οδηγία για την Αειφόρο Χρήση των φυτοφαρμάκων (European Commission, Directorate-General for Health and Food Safety, 2017).

2.1 Γεωργία Ακριβείας

Η Γεωργία Ακριβείας είναι μία μέθοδος διαχείρισης της γεωργικής παραγωγής, η οποία εστιάζει στην ανάλυση και την αποτελεσματική αξιοποίηση της ανομοιομορφίας των καλλιεργειών, του εδάφους και του περιβάλλοντος (Φουντάς & Γέμτος, 2015). Διαθέτει καινοτόμες πρακτικές των οποίων η εφαρμογή πραγματοποιείται ανάλογα με τις χρονικές και χωρικές απαιτήσεις του αγρού, μειώνοντας έτσι αποτελεσματικά τις εισροές των καλλιεργειών (Balafoutis et al., 2017).

Οι σημαντικότεροι στόχοι της γεωργίας ακριβείας είναι οι παρακάτω :

- Η αύξηση της απόδοσης των καλλιεργειών
- Η βελτίωση της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων
- Η ορθολογική χρήση των λιπασμάτων και των φυτοφαρμάκων
- Η προστασία του υδροφόρου ορίζοντα και του εδάφους

Η Γεωργία Ακριβείας είναι απόρροια της ραγδαίας τεχνολογικής ανάπτυξης, καθώς οι μέθοδοι της περιλαμβάνουν τεχνολογίες αισθητήρων, δορυφορικής πλοήγησης και συστημάτων εντοπισμού θέσης και του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet Of Things) (Schrijver, 2016). Κύριο παραδοσιακό χαρακτηριστικό των γεωργικών εκμεταλλεύσεων ήταν οι εφαρμογές των εισροών (λιπάσματα, φυτοφάρμακα, νερό, ενέργεια), σύμφωνα με τις μέσες τιμές παραγωγής και γονιμότητας του εδάφους. Η Γεωργία Ακριβείας προσφέρει τη δυνατότητα εφαρμογής μεταβλητών δόσεων των εισροών στη γεωργική παραγωγή με βάση τις πραγματικές ανάγκες σε κάθε τμήμα του αγρού. Αυτό είναι εφικτό, διότι η εφαρμογή της γεωργίας ακριβείας πραγματοποιείται με τεχνολογικά μέσα, τα οποία χαρτογραφούν και καταγράφουν την υφιστάμενη κατάσταση του αγροτεμαχίου και προσφέρουν τη δυνατότητα διαχείρισης του σε

τμήματα (ζώνες διαχείρισης) μικρότερα από τη συνολική έκταση του, που εμφανίζουν σχετική ομοιομορφία στις ιδιότητες και τις απαιτήσεις (Φουντάς & Γέμτος, 2015). Έτσι, επιτυγχάνεται η εφαρμογή των κατάλληλων δόσεων εισροών και καλλιεργητικών πρακτικών στο εκάστοτε τμήμα του αγρού, σύμφωνα με τις πραγματικές χρονικά και χωρικά ανάγκες του. Αποτελέσματα των ορθολογικών αυτών εφαρμογών των εισροών μέσω της γεωργίας ακριβείας είναι η αύξηση της απόδοσης της παραγωγής, η βελτίωση της ποιότητας της και σε περιβαλλοντικό επίπεδο η προστασία του (Wisser et al., 2008). Μελέτες έχουν συμπεράνει πως οι τυπικά μορφωμένοι και νεότεροι αγρότες είναι περισσότερο πιθανό να εφαρμόσουν τις τεχνολογίες της γεωργίας ακριβείας, διότι η υιοθέτηση τους απαιτεί κατάλληλη κατάρτιση και τεχνική υποστήριξη (Barnes et al., 2019).

Συνοπτικά τα απαραίτητα βήματα για την εφαρμογή της Γεωργίας Ακριβείας είναι τα παρακάτω :

- Η συλλογή δεδομένων. Περιλαμβάνει την παρατήρηση στον αγρό, τις αεροφωτογραφίες, τους αισθητήρες, τις δορυφορικές εικόνες. Τα μέσα, τα οποία μπορούν να αποδώσουν τα απαραίτητα στοιχεία και τις λεπτομέρειες για την παραλλακτικότητα του αγρού. Πιο συγκεκριμένα, η Γεωργίας Ακρίβειας οφείλει να διαχειριστεί την παραλλακτικότητα που εμφανίζουν τα αγροτεμάχια. Ειδικότερα, σύμφωνα με την Παύλου (2010) υπάρχουν τρεις διαστάσεις της παραλλακτικότητας: η χωρική, η χρονική και η προβλεπτική. Ως χωρική παραλλακτικότητα ορίζεται ως μεταβολή των χαρακτηριστικών και ιδιοτήτων των καλλιεργειών και του εδάφους, με την αλλαγή θέσης μέσα στο αγροτεμάχιο. Στην συνέχεια, ως χρονική παραλλακτικότητα ορίζεται η μεταβολή τους στο χρόνο. Ενώ, τέλος, ως προβλεπτική παραλλακτικότητα ορίζεται η μεταβολή στο χώρο, της διαφοράς μεταξύ προβλεπόμενων και πραγματικών τιμών αποδόσεων.
- Χαρτογράφηση. Πιο αναλυτικά, καταγραφή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους, η οποία έχει τη δυνατότητα να προσφέρει πληροφορίες για τη σύσταση του εδάφους, την αλατότητα, τη γονιμότητα
- Διαχωρισμός εισροών διαχείρισης
- Εφαρμογή εισροών μεταβλητής δόσης
- Χαρτογράφηση παραγωγής. Περιλαμβάνει συστήματα καταγραφής της παραγωγής σε πραγματικό χρόνο.

- Μελέτη αποδοτικότητας της εφαρμογής των πρακτικών. Περιλαμβάνει χάρτη κερδοφορίας, μέσω του οποίου πραγματοποιείται η μελέτη της βάσει των ζωνών διαχείρισης

Οι πρώτες εφαρμογές χαρτογράφησης της παραγωγής μέσω αισθητήρων μέτρησης της παραγωγής, που προσαρμόζονταν στις μηχανές συγκομιδής και μέσω συστημάτων γεωγραφικού εντοπισμού ξεκίνησαν στα τέλη της δεκαετίας 1980 και στις αρχές της δεκαετίας του 1990 στην παραγωγή των σιτηρών (Φουντάς & Γέμτος, 2015). Η Ελλάδα, όπως και άλλες χώρες της Νότιας Ευρώπης εφάρμοσαν τη Γεωργία Ακριβείας σχετικά πιο αργά από τις πρωτοπόρους χώρες Η.Π.Α. και Βρετανία.

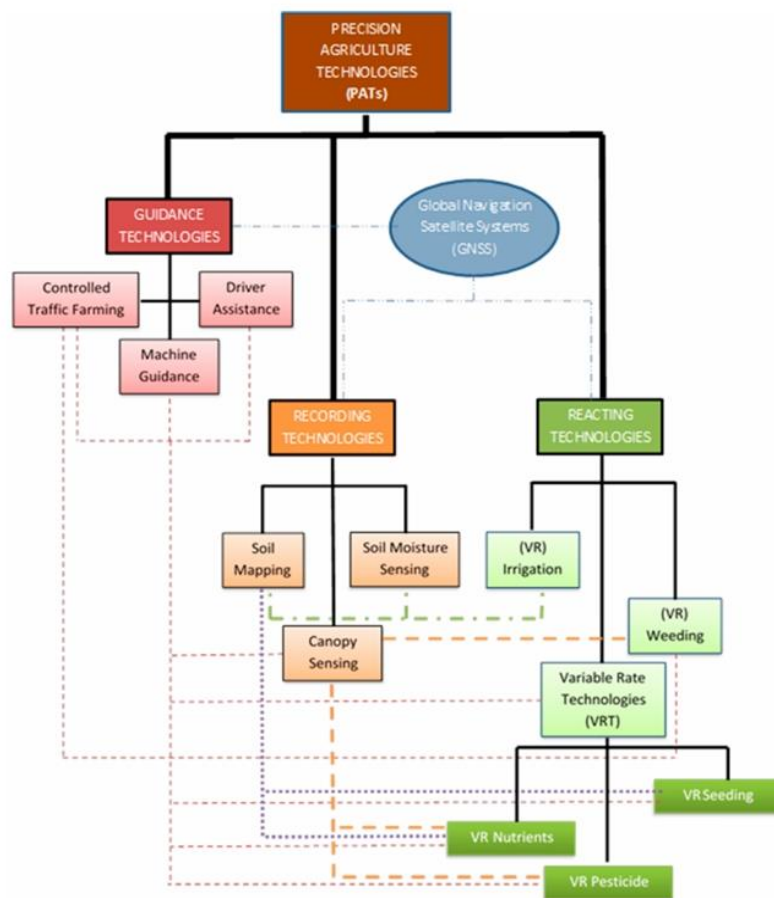
2.2 Τεχνολογίες Γεωργίας Ακριβείας και Εξοπλισμός

Η Γεωργία Ακριβείας εφαρμόζει προηγμένες τεχνολογίες για τη βελτιστοποίηση της γεωργικής παραγωγής. Η συμβολή των τεχνολογιών της έχει πολλαπλά οφέλη στην αύξηση της απόδοσης, στη μείωση του κόστους και στη προστασία του περιβάλλοντος.

Σύμφωνα με τους Schwarz et al. (2011) οι τεχνολογίες της Γεωργίας Ακριβείας κατηγοριοποιούνται ως εξής :

- Συστήματα καθοδήγησης. Αυτά περιλαμβάνουν λογισμικά, τα οποία έχουν την ικανότητα του κατάλληλου προσανατολισμού και της αυτόματης καθοδήγησης για όλα τα γεωργικά μηχανήματα, όπως για παράδειγμα των γεωργικών ελκυστήρων και των παρελκόμενων τους στην καλλιέργεια.
- Συστήματα και μηχανισμοί καταγραφής δεδομένων. Αποτελούνται από χαρτογράφηση εδάφους, χαρτογράφηση εδαφικής υγρασίας, τηλεπισκόπηση συστήματα εντοπισμού θέσης και αισθητήρες.
- Συστήματα μεταβαλλόμενης εφαρμογής. Παραδείγματα τέτοιων συστημάτων είναι οι λιπασματοδιανομείς, τα ψεκαστικά μηχανήματα φαρμάκων, η μεταβαλλόμενη άρδευση και σπορά.

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά οι τεχνολογίες :



Εικόνα 1: Τεχνολογίες Γεωργίας Ακριβείας (Balafoitis et al., 2017).

Αργότερα, οι Φουντάς & Γέμτος (2015) κατηγοριοποίησαν τις **τεχνολογίες** που χρησιμοποιούνται στη Γεωργία Ακριβείας όπως παρακάτω:

- Παγκόσμιο Σύστημα Προσδιορισμού Θέσης (GPS) και Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS). Για λεπτομερή χαρτογράφηση του αγροτεμαχίου και ερμηνεία της μεταβλητότητας αυτού.
- Χαρτογράφηση της παραγωγής. Πραγματοποιείται αξιολόγηση της γεωργικής παραγωγής σε όλη την έκταση του αγρού.
- Χαρτογράφηση εδάφους. Γίνεται αξιολόγηση της γονιμότητας τους εδάφους
- Χαρτογράφηση ηλεκτρικής Αγωγιμότητας του εδάφους (μέσω GPS). Ένας από τους οικονομικότερους εξοπλισμούς που είναι εφικτό να χρησιμοποιηθεί αφορά τη χαρτογράφηση της φαινομενικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας (ECa). Πρόκειται για μια συσκευή μέτρησης αγωγιμότητας, η οποία συνδέεται πάνω σε παρελκόμενο όχημα και προσαρμόζεται παράλληλα και ένας δέκτης εντοπισμού γεωγραφικής θέσης (GPS).

- Τηλεπισκόπηση
- Τεχνολογία Διαφοροποιούμενης Δόσης (Variable Rate Application).

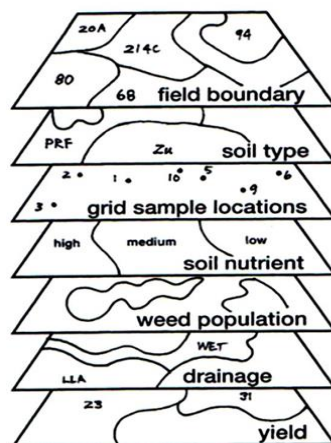
2.2.1 Παγκόσμιο Σύστημα Προσδιορισμού Θέσης (Global Positioning System, GPS)

Οι αρχές της δεκαετίας του 1960 αποτέλεσαν την έναρξη των πρώτων εφαρμογών. Αρχικά, εφαρμόστηκαν στον στρατιωτικό τομέα και στη συνέχεια σε διάφορους άλλους τομείς (Καρατασιού και Κάλφας, 2018). Μέσω των συστημάτων εντοπισμού θέσης καθορίζονται οι απόλυτες και οι σχετικές συντεταγμένες σημείων με την επεξεργασία μετρήσεων προς ή από τεχνητούς δορυφόρους. Σήμερα, για γεωδαιτικές εφαρμογές χρησιμοποιείται το GPS, καθώς επίσης και το ίδιας τεχνολογίας ρωσικό GLONASS. Τα λειτουργικά μέρη του GPS είναι το δορυφορικό τμήμα, το τμήμα ελέγχου και το τμήμα χρήσης (Φουντάς & Γέμτος, 2015). Το Παγκόσμιο Σύστημα Προσδιορισμού Θέσης (GPS) είναι ένα τρισδιάστατο σύστημα δεδομένων θέσης (γεωγραφικό πλάτος, μήκος και υψόμετρο) που αναπτύχθηκε από το Αμερικάνικο Υπουργείο Αμύνης για τον υπολογισμό του γεωγραφικού στίγματος οποιουδήποτε σημείου πάνω στην επιφάνεια της γης, ανεξαρτήτως των καιρικών συνθηκών. Σχετικά με την εφαρμογή των συστημάτων αυτών στη Γεωργία Ακριβείας προσφέρονται πολλαπλές δυνατότητες. Αρχικά, οι αγρότες έχουν την ευκαιρία να συλλέξουν δείγματα εδάφους του καλλιεργητικού τμήματος που επιθυμούν. Στη συνέχεια, είναι εφικτός ο εντοπισμός της ακριβούς θέσης των παρασίτων, των ζιζανίων και των προσβολών από έντομα, μέσω των συσκευών συλλογής δεδομένων GPS. Έτσι, υπάρχει η δυνατότητα αξιολόγησης των δεδομένων αυτών, με σκοπό τη λήψη αποφάσεων διαχείρισης και αντιμετώπισης των πιθανών παρεκκλίσεων που μπορεί να εμφανιστούν σε οποιοδήποτε στάδιο της παραγωγής. Η εφαρμογή ακριβών ποσοτήτων χημικών στις περιοχές που έχουν πληγεί γίνεται με βάση τα δεδομένα θέσης, τα οποία τώρα ενσωματώνονται σε καινοτόμα ψεκαστικά, είτε είναι αιωρούμενα είτε όχι (Garg et al., 2023).

2.2.2 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Geographic Information System, GIS)

Τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών χρησιμοποιούνται ως μέσο διαχείρισης των γεωγραφικών πληροφοριών και όλων των δεδομένων που συλλέγονται και σχετίζονται με αυτές. Είναι ένα λογισμικό που συμβάλει στην επεξεργασία του όγκου των πληροφοριών, διαμέσου της δημιουργίας ψηφιακών χαρτών μεγάλης ακρίβειας. Τα δεδομένα αυτά έχουν τη μορφή ψηφιακών χαρτών, διότι είναι προσδιορισμένα με τη βοήθεια του GPS στο χώρο του

υφιστάμενου αγρού (Φουντάς & Γέμτος, 2015). Σκοπός της χρήσης των συστημάτων είναι η δυνατότητα ελέγχου των εισροών και η συλλογή αρχείων των δεδομένων και των συνεπειών τους, έτσι ώστε να μπορούν να ληφθούν ορθολογικές και αξιόπιστες αποφάσεις διαχείρισης των αγρών (Καρατασίου και Κάλφας, 2018). Στη Γεωργία Ακριβείας τα GIS είναι απαραίτητο εργαλείο, διότι ο αγρότης έχει τη δυνατότητα να εισάγει διάφορες πληροφορίες του υφιστάμενου αγρού, όπως το pH του εδάφους, την ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους, τη γονιμότητα, την παραγωγή και τη μέση ετήσια βροχόπτωση. Επιπλέον, μπορεί να προσθέσει στίγματα στο ψηφιακό χάρτη με παρατηρήσεις που αφορούν προσβολές από εχθρούς ή άλλου είδους εντοπισμούς που θέλει να αποθηκευτούν (Φουντάς & Γέμτος, 2015). Είναι εφικτό, μέσω των χαρτών μεταβλητότητας να προσδιοριστούν οι εισροές της καλλιέργειας, όπως το νερό, διότι το προφίλ εδάφους προσφέρει πρόσβαση σε πληροφορίες όπως τη συγκράτηση νερού, την οργανική ουσία και έτσι οι ανάγκες προσδιορίζονται με ακρίβεια (Garg et al., 2023). Οι πληροφορίες σε επίπεδα (data layers) που μπορούν να προστεθούν σε μία αγροτική εκμετάλλευση είναι πιθανά να είναι τοπογραφικά διαγράμματα του αγρού, η χαρτογράφηση των εδαφικών τύπων, τα σημεία δειγματοληψίας σε όλη την έκταση του αγρού, χάρτης των θρεπτικών στοιχείων, ο πληθυσμός των ζιζανίων, χάρτης στράγγισης και χάρτης παραγωγής (Φουντάς & Γέμτος, 2015).



Εικόνα 2: Πληροφορίες σε επίπεδα για έναν αγρό(Φούντας & Γέμτος, 2015)

Ένα από τα πολλαπλά πλεονεκτήματα που προσφέρει μέσω της γεωργίας ακριβείας το GIS είναι η εξοικονόμηση χρόνου και χρήματος, μέσω της ταυτόχρονης ανάλυσης του όγκου των δεδομένων και της λήψης των κατάλληλων αποφάσεων διαχείρισης της εκάστοτε παραγωγής. Επίσης, είναι εφικτή η μελέτη του επιπέδου ρύπανσης της ατμόσφαιρας, μέσω της αξιολόγησης της περιβαλλοντικής κατάστασης από τους ψηφιακούς χάρτες (Garg et al., 2023).

2.2.3 Χαρτογράφηση Παραγωγής (Monitoring Yielding)

Ύψιστης σημασίας για τους παραγωγούς είναι η απόδοση των καλλιεργειών τους. Είναι γεγονός, πως υπάρχει ανομοιομορφία στην απόδοση της παραγωγής σε όλη την έκταση του αγρού. Αυτό συμβαίνει καθώς υπάρχουν μικρές διαφορές στη μορφολογία του αγροκτήματος όπως κλίσεις, κοιλότητες και διάφορες εδαφικές ανωμαλίες, οι οποίες συμβάλουν στη διαφοροποίηση της απόδοσης της καλλιέργειας σε έναν αγρό (Garg et al., 2023). Σκοπός της χαρτογράφησης της παραγωγής είναι παρακολούθηση της καταγεγραμμένης παραγωγής σε όλα τα σημεία του αγρού, έτσι ώστε να εντοπιστούν οι θέσεις που παρουσιάζουν πρόβλημα στην ανάπτυξη της παραγωγής και να διερευνηθούν οι παράγοντες που ευθύνονται. Η εφαρμογή της Γεωργίας Ακριβείας συνδυάζει εξαγωγή χαρτών της παραγωγής στους οποίους μπορούν να προστεθούν και εδαφολογικοί χάρτες, καθώς και άλλα δεδομένα που προέρχονται από μετεωρολογικούς αισθητήρες και τηλεπισκόπηση (Φουντάς & Γέμτος, 2015). Χρησιμοποιείται ένα ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο (Digital Elevation Model, DEM), το οποίο καταγράφει την επιφανειακή ετερογένεια του αγρού μέσω της χρήσης GPS και έτσι είναι εφικτή η ανάλυση με ακρίβεια 50-100mm ύψους. Με τον τρόπο αυτό είναι εφικτή η καταγραφή της παραλλακτικότητας της καλλιέργειας του αγρού χρησιμοποιώντας δεδομένα DEM και αέριες φωτογραμμετρίες για ακριβή ενημέρωση (Garg et al., 2023). Με βάση τα παραπάνω δεδομένα, ο παραγωγός έχει πρόσβαση στη ποσοτική καταγραφή της παραγωγής, καθώς επίσης και τη χρονική μεταβλητότητα. Επιπλέον, μέσω του συνδυασμού δεδομένων που αφορούν ιδιότητες του εδάφους, θρεπτικά στοιχεία, καιρικές συνθήκες υπάρχει πλήρη καταγραφή των δεδομένων που αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους. Έτσι, είναι εφικτή η αξιολόγηση των αιτιών της ανομοιομορφίας της παραγωγής και η λήψη κατάλληλων αποφάσεων διαχείρισης για τη διόρθωση ή βελτίωση της με σκοπό τη μέγιστη δυνατή απόδοση της υφιστάμενης καλλιέργειας (Φουντάς & Γέμτος, 2015).

2.2.4 Χαρτογράφηση Εδαφικών Ιδιοτήτων

Στη γεωργία παλιότερα επικρατούσε η τάση της χορήγησης δοσολογιών λιπασμάτων με βάση το μέσο όρο των εδαφικών ιδιοτήτων του αγρού. Σημαντικό ρόλο, επίσης είχαν οι χαμηλές τιμές στα λιπάσματα και έτσι εφαρμοζόταν μη ορθολογική διαχείριση στις ποσότητες. Την επιτακτική ανάγκη σήμερα για την υιοθέτηση προγραμματισμού λίπανσης με βάση τις πραγματικές ανάγκες, στις απαραίτητες ποσότητες και στα κατάλληλα σημεία του αγρού έρχεται να καλύψει η Γεωργία Ακριβείας. Περιλαμβάνει καινοτόμες μεθόδους, με τις οποίες

πραγματοποιείται τακτική δειγματοληψία και χαρτογράφηση μέσω GPS για τον αναλυτικό και ακριβή προσδιορισμό της χωρικής μεταβλητότητας του εδάφους. Οι κυριότερες μέθοδοι δειγματοληψίας εδάφους είναι η δειγματοληψία πλέγματος (grid sampling) και αυτή με βάση τον τύπο του εδάφους (soil type sampling). Σύμφωνα με την πρώτη μέθοδο, ο αγρός διαχωρίζεται σε κελιά (πλέγματα) και λαμβάνονται δείγματα, τα οποία αντιπροσωπεύουν την εδαφική σύσταση του κάθε πλέγματος και αναλύονται σε εξειδικευμένα εργαστήρια. Η δεύτερη μέθοδος βασίζεται στο διαχωρισμό του αγρού σε τμήματα ανάλογα με κοινά εδαφικά χαρακτηριστικά, αλλά δυσανάλογα μεταξύ τους σε αποστάσεις. Και στις δύο περιπτώσεις είναι εφικτή η δημιουργία χαρτών εδαφικών ιδιοτήτων με τη βοήθεια GPS, διότι με τη λήψη δειγμάτων πραγματοποιείται παράλληλα και καταγραφή της θέσης τους (Φουντάς & Γέμτος, 2015). Τα εδαφικά χαρακτηριστικά, τα οποία διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην αξιολόγηση της ποιότητας του εδάφους είναι τα παρακάτω :

- **Εδαφική Υγρασία.** Η παραγωγικότητα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την καλή υγρασία του εδάφους, καθώς και από την ικανοποιητική στράγγιση του. Το ριζικό σύστημα αποτελεί αναπόσπαστο τμήμα των φυτών και όργανο, το οποίο καθορίζει την ικανοποιητική ανάπτυξη τους. Ο καλός αερισμός του εδάφους παίζει καθοριστικό ρόλο στην επιτυχή ανάπτυξη του φυτού. Απαραίτητη προϋπόθεση για την επίτευξη των κατάλληλων συνθηκών για την απόδοση του ριζικού συστήματος είναι και η υπόγεια στάθμη του εδάφους, η οποία πρέπει να κρατείται χαμηλότερα από την κύρια μάζα του ριζικού συστήματος των φυτών (Βασιλακάκης, 2016). Έτσι, είναι σημαντικό να υπάρχει έλεγχος της υπόγειας στάθμης ύδατος και της στράγγισης μέσω της παρακολούθησης της εδαφικής υγρασίας για να λαμβάνονται ορθές αποφάσεις για τις απαραίτητες ποσότητες νερού και στο σωστό χρόνο (Garg et al., 2023). Τέλος, η εκτίμηση της κατάστασης υγρασίας σε πραγματικό χρόνο μπορεί να βελτιώσει την παραγωγή και έτσι να επιφέρει αύξηση του αγροτικού κέρδους (Shaukat. et al., 2022).
- **Εδαφική Θερμοκρασία.** Και η παρακολούθηση της θερμοκρασίας είναι βοηθητική, διότι αυτή επηρεάζει τη χημική σύσταση του εδάφους, όπως την περιεκτικότητα του σε ανόργανα συστατικά, τη γονιμότητα του καθώς και τις φυσιολογικές λειτουργίες των φυτών όπως η ανάπτυξη του ριζικού συστήματος (Garg et al., 2023).
- **Περιεκτικότητα σε Θρεπτικά Στοιχεία.** Τα κυριότερα θρεπτικά στοιχεία που είναι απαραίτητα για τα φυτά είναι το άζωτο, ο φώσφορος και το κάλιο. Το άζωτο είναι το βασικότερο και ο χρόνος εφαρμογής του, καθώς και οι μέθοδοι χορήγησης είναι καθοριστικοί για τα φυτά. Αν δεν πραγματοποιηθεί ο κατάλληλος χειρισμός του

υπάρχει πιθανότητα απονιτροποίησης, έκπλυσης και εξαέρωσης και έτσι υπάρχουν απώλειες αζώτου (Φουντάς & Γέμτος, 2015). Τα παραπάνω θρεπτικά στοιχεία είναι υπεύθυνα για το μεταβολισμό των φυτών, την αφομοίωση πρωτεϊνών και τη δημιουργία ATP (Adenosine triphosphate), το οποίο βοηθάει στην παροχή ενέργειας για διάφορες λειτουργίες. Έχει θετικό αντίκτυπο λοιπόν, η δυνατότητα ελέγχου της σύστασης του εδάφους για θρεπτικά συστατικά, δεδομένου ότι η περίσσεια τους οδηγεί σε έκπλυση στα υπόγεια και επιφανειακά ύδατα και η έλλειψη τους σε μειωμένη ανάπτυξη των φυτών και προβλήματα στη φυσιολογία τους (Garg et al., 2023).

- **Εδαφικό pH.** Το pH αποτελεί μέτρο της οξύτητας του εδάφους. Επηρεάζει σημαντικά τη διαθεσιμότητα των ιόντων και την απορρόφηση από το ριζικό σύστημα (Βασιλακάκης, 2016). Το pH επηρεάζεται από τις κλιματικές συνθήκες, τις πρακτικές διαχείρισης του εδάφους και τις αποσυνθέσεις της οργανικής ύλης (Garg et al., 2023).
- **Μηχανική Σύσταση Εδάφους.** Η μηχανική σύσταση του εδάφους επηρεάζει σημαντικά την στράγγιση και τον αερισμό του εδάφους. Επίσης, αυτή καθορίζει και την ικανότητα συγκράτησης σε θρεπτικά συστατικά (Garg et al., 2023). Το έδαφος αποτελείται από άμμο, ιλύ και άργιλο και άλλα υλικά (χαλίκια). Ανάλογα με το ποσοστό συμμετοχής των παραπάνω συστατικών το έδαφος χαρακτηρίζεται ελαφριάς, μέσης και βαριάς σύστασης (Βασιλακάκης, 2016).

2.2.5 Χαρτογράφηση Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας του Εδάφους (EC)

Ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι η ικανότητα ενός διαλύματος να άγει τον ηλεκτρισμό (Φουντάς & Γέμτος, 2015). Η αγωγιμότητα αυξάνει αναλογικά με την αύξηση των αλάτων που περιέχονται στο διάλυμα. Έτσι, αυτή δίνει μία έμμεση μέτρηση της συγκέντρωσης των αλάτων. Σήμερα, είναι εφικτή η χαρτογράφηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο πεδίο, η οποία είναι συνυφασμένη με τη συγκέντρωση αλάτων στο έδαφος. Υπάρχουν δύο μέθοδοι μετρήσεων. Η μέθοδος μέτρησης με επαφή είναι απλή, διότι περιλαμβάνει την εισαγωγή στο έδαφος τεσσάρων ηλεκτροδίων, με ορισμένες αποστάσεις μεταξύ τους και η κατασκευή αποτελείται από τέσσερις άξονες ή καλλιεργητικούς δίσκους, η οποία έλκεται στη συνέχεια από ένα γεωργικό όχημα. Έτσι, πραγματοποιείται μέτρηση της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC_a), η οποία μπορεί να συσχετιστεί με την αγωγιμότητα διαλύματος που εξάγεται από πάστα εδάφους κορεσμένη με νερό (EC_e). Επιπλέον, στην κατασκευή είναι εφικτή η προσθήκη GPS, με στόχο της χαρτογράφησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας για τη δημιουργία της χωρικής κατανομής της αλατότητας του εδάφους της καλλιέργειας (Brady and

Weil, 2011). Μία άλλη μέθοδος μέτρησης είναι χωρίς επαφή και στηρίζεται στην αρχή της ηλεκτρομαγνητικής απαγωγής. Η συσκευή αποτελείται από έναν πομπό που εκπέμπει ηλεκτρικό φορτίο και ένα δέκτη που απορροφά το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο, το οποίο προκύπτει από την ικανότητα του εδάφους να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα. Και αυτή η μέθοδος είναι απλή, διότι η συγκεκριμένη συσκευή τοποθετείται σε μεταλλικό πλαίσιο για την ενίσχυση της μετάδοσης του σήματος. Ένας από τους οικονομικότερους εξοπλισμούς που είναι εφικτό να χρησιμοποιηθεί αφορά τη χαρτογράφηση της φαινομενικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας (ECa) (Φουντάς & Γέμτος, 2015).

2.2.6 Τηλεπισκόπηση (Remote Sensing)

Πρόκειται για την μέθοδο με την οποία είναι εφικτή η συλλογή και η καταγραφή πληροφοριών για αντικείμενα, τα οποία βρίσκονται σε απόσταση από τα συστήματα καταγραφής τους και δεν έρχονται σε φυσική επαφή μαζί τους. Ο ορισμός που επικρατεί μέχρι και σήμερα είναι πως «Τηλεπισκόπηση είναι η διαδικασία καταγραφής της ενέργειας η οποία ανακλάται ή εκπέμπεται από ένα αντικείμενο» (Φουντάς & Γέμτος, 2015). Η απόκτηση των επιθυμητών πληροφοριών επιτυγχάνεται μέσω της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (Καρατασίου και Κάλφας, 2018). Ορισμένα δεδομένα μελέτης, τα οποία μπορούν να αποκτηθούν μέσω της μεθόδου της τηλεπισκόπησης είναι η χωρική θέση του αντικειμένου που μελετάται, το μέγεθος και το σχήμα, το υψόμετρο, η φασματική συμπεριφορά της χλωροφύλλης, οι συγκεντρώσεις υγρασιών σε έδαφος και βλάστηση και η θερμοκρασία (Φουντάς & Γέμτος, 2015). Επίσης, είναι δυνατόν να δοθούν πληροφορίες σχετικά με την πρόβλεψη της απόδοσης της καλλιέργειας και την κατάσταση της υγείας των φυτών (Καρατασίου και Κάλφας, 2018). Σύμφωνα με τον Bauer (1975), η πρώτη εφαρμογή τηλεπισκόπησης στη γεωργία ήταν το 1929 και σχετιζόταν με τη χαρτογράφηση εδαφών μέσω αεροφωτογραφιών. Σήμερα, η τηλεπισκόπηση έχει σημαντική εξέλιξη στον τομέα της γεωργίας, καθώς τα καινοτόμα μη επανδρωμένα αέρια οχήματα (Unmanned Aerial Vehicles, UAV) προσφέρουν υψηλή χρονική, χωρική και φασματική ανάλυση, σε συνδυασμό με την εύκολη πρόσβαση δορυφόρων. Το σύστημα της τηλεπισκόπησης αποτελείται από τρεις κατηγορίες εξαρτημάτων, οι οποίες περιλαμβάνουν το σύστημα χωρικής θεμελίωσης, το σύστημα της εδαφικής βάσης και το σύστημα αποθήκευσης δεδομένων τηλεπισκόπησης. Τα παραπάνω αποτελούνται από απομακρυσμένους αισθητήρες, συστήματα απόκτησης, διαβίβασης, επεξεργασίας και αποθήκευσης δεδομένων (Yin et al., 2019). Στη Γεωργία Ακριβείας είναι ευρέως διαδεδομένα τα συστήματα που παρέχουν πληροφορίες και δεδομένα μέσω αεροφωτογραφιών και

βιντεοσκοπήσεων. Πιο συγκεκριμένα, είναι εφικτή η απόκτηση δεδομένων που σχετίζονται με τη χημική και μηχανική σύσταση του εδάφους, την οργανική ύλη, την αλατότητα και την περιεκτικότητα υγρασίας του. Οι γεωαναφερόμενες και ψηφιοποιούμενες παρατηρήσεις εισάγονται στο πληροφοριακό σύστημα GIS και οροθετούνται με σκοπό το σχηματισμό ζωνών διαχείρισης του υφιστάμενου αγρού. Συνοπτικά, τα συστήματα δορυφόρων της τηλεπισκόπησης σε συνδυασμό με τη διαστημική τεχνολογία προσφέρουν καινοτόμες δυνατότητες μέσω της εφαρμογής τους στη Γεωργία Ακριβείας για την ορθολογική διαχείριση των καλλιεργειών. Πιο συγκεκριμένα, το σύστημα αφύπνισης για πιθανή καταστροφή, ο εντοπισμός της ανάπτυξης κινδύνου και η εκτίμηση ζημιών είναι δεδομένα, τα οποία μπορούν να ανακτηθούν και η μετάδοσης των πληροφοριών τους να είναι ταχύς έτσι ώστε να ληφθούν άμεσα τα κατάλληλα μέτρα αντιμετώπισης (Garg et al., 2023). Η τηλεπισκόπηση προσφέρει τη δυνατότητα της αξιολόγησης της θρεπτικής κατάστασης των φυτών μέσω των τεχνολογιών της. Για παράδειγμα για την εκτίμηση της υδατικής κατάστασης των φυτών είναι εφικτή η δημιουργία δεικτών μέσω των θερμικών και πολυφασματικών πληροφοριών που λαμβάνονται από αισθητήρες σε δορυφόρους ή αερομεταφερούμενες πλατφόρμες (Gonzalez-Dugo et al., 2010). Ακόμη, ο συστηματικός έλεγχος της βλαστικής πορείας των φυτών δίνει τη δυνατότητα της πρόβλεψης της απόδοσης της καλλιέργειας από τους παραγωγούς. Όλα τα παραπάνω δεδομένα μπορούν να αποκτηθούν με γρήγορους ρυθμούς σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή είναι επιθυμητό και το κόστος των πληροφοριών είναι ιδιαίτερα χαμηλό σε σύγκριση με αυτό που θα απαιτούσαν οι δειγματοληψίες και άλλες μέθοδοι για τη λήψη πληροφοριών (Φουντάς & Γέμτος, 2015).

2.2.7 Τεχνολογία Διαφοροποιούμενης Δόσης (Variable Rate Application)

Στη Γεωργία Ακριβείας, η τεχνολογία μεταβλητού ρυθμού είναι άρρηκτα συνυφασμένη με την εφαρμογή εισροών μέσω μεταβλητού τύπου και ποσότητας με ακρίβεια και σύμφωνα με την υφιστάμενη κατάσταση και τις απαιτήσεις (Garg et al., 2023). Οι εισροές περιλαμβάνουν σπόρο, λιπάσματα, φυτοφάρμακα και αρδευτικό νερό. Οι μέθοδοι της παραπάνω τεχνολογίας είναι η εφαρμογή μέσω χαρτών και η δεύτερη μέθοδος πραγματοποιείται μέσω αισθητήρων. Η πρώτη μέθοδος απαιτεί GPS για τον προσδιορισμό της θέσης στον αγρό και ένα χάρτη εφαρμογής, ο οποίος σύμφωνα με τις συντεταγμένες των ζωνών διαχείρισης που έχει αποθηκευμένες δίνει εντολές στο μηχάνημα που εφαρμόζει τις μεταβλητές δόσεις για την κατάλληλη δοσολογία. Στη δεύτερη μέθοδο, η οποία εφαρμόζεται μέσω αισθητήρων σε πραγματικό χρόνο, οι εισροές μεταβάλλονται και ρυθμίζονται μέσω αισθητήρων που είναι

τοποθετημένοι στο μηχάνημα. Οι αισθητήρες λαμβάνουν πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά του εδάφους και της καλλιέργειας, μεταδίδουν τα δεδομένα σε καθορισμένο πρόγραμμα, το οποίο υπολογίζει τις απαιτήσεις του εδάφους και της καλλιέργειας. Στη συνέχεια, οι μετρήσεις μεταφέρονται σε μια διάταξη εφαρμογής που διανέμει τις εισροές (Φουντάς & Γέμτος, 2015). Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα αναγνώρισης προβλήματος μέσω των αισθητήρων και ειδοποιεί το μηχάνημα εφαρμογής για την εκτέλεση της κατάλληλης ενέργειας (Καρατασίου και Κάλφας, 2018). Τα κυριότερα μέρη από τα οποία αποτελούνται τα συστήματα μεταβλητών δόσεων είναι τα παρακάτω :

- **Οι αισθητήρες (sensors).** Οι αισθητήρες αντλούν πληροφορίες από τις καλλιέργειες και το έδαφος. Ορισμένες από αυτές είναι η περιεκτικότητα του εδάφους σε υγρασία, την οργανική ουσία, τα θρεπτικά στοιχεία και ελέγχουν την ανάκλαση φωτός από καλλιέργειες και ζιζάνια.
- **Οι ελεγκτές (controllers).** Καθορίζουν τη δόση εφαρμογής μέσω αλγορίθμων, αφού πρώτα αποκωδικοποιήσουν τα δεδομένα μέσω των μικροεπεξεργαστών τους.
- **Οι ενεργοποιητές (actuators).** Οι ενεργοποιητές έχουν την ικανότητα να αντιδρούν σε ηλεκτρικά, πνευματικά ή υδραυλικά σήματα που προέρχονται από τους ελεγκτές. Πιο αναλυτικά, μέσω της αντίδρασης τους, η οποία μπορεί να είναι η αλλαγή της θέσης μιας βαλβίδας που ρυθμίζει τη ροή ή την πίεση, ρυθμίζουν οι ενεργοποιητές την ποσότητα του προϊόντος που εφαρμόζεται στην καλλιέργεια.

Επιπρόσθετα, τα συστήματα ανάλογα με τον τύπο του προϊόντος που εφαρμόζουν διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες. Την κατηγορία εφαρμογής σπόρου, στερεών χημικών και υγρών (Φουντάς & Γέμτος, 2015).

Τα πλεονεκτήματα της εφαρμογής τεχνολογίας με μεταβλητή δόση είναι πολλαπλά. Αρχικά, με τη λίπανση κάθε ζώνης διαχείρισης με ακρίβεια χρονικά και χωρικά επιτυγχάνονται υψηλότερες αποδόσεις και ένα οικονομικό βέλτιστο αποτέλεσμα (Balafoutis et al., 2017). Τέλος, οι επιρροές των συστημάτων που χρησιμοποιούνται με τεχνολογία διαφοροποιημένης δόσης έχουν υψηλό θετικό αντίκτυπο στο περιβάλλον και την οικονομία, καθώς πραγματοποιείται εξοικονόμηση των φυσικών πόρων και ελαχιστοποίηση των αποβλήτων στην ατμόσφαιρα (Taseer and Han, 2024).

Η τεχνολογία σήμερα εξελίσσεται με ταχύτατους ρυθμούς, με αποτέλεσμα να προκύπτουν διαρκώς νέες καινοτομίες και εξοπλισμοί που έχουν βελτιωμένη εφαρμογή στις πρακτικές της

γεωργίας ακριβείας. Συνοψίζοντας, η πληθώρα των τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται μπορεί να κατανεμηθεί σε τρεις κατηγορίες, όπως παρακάτω :

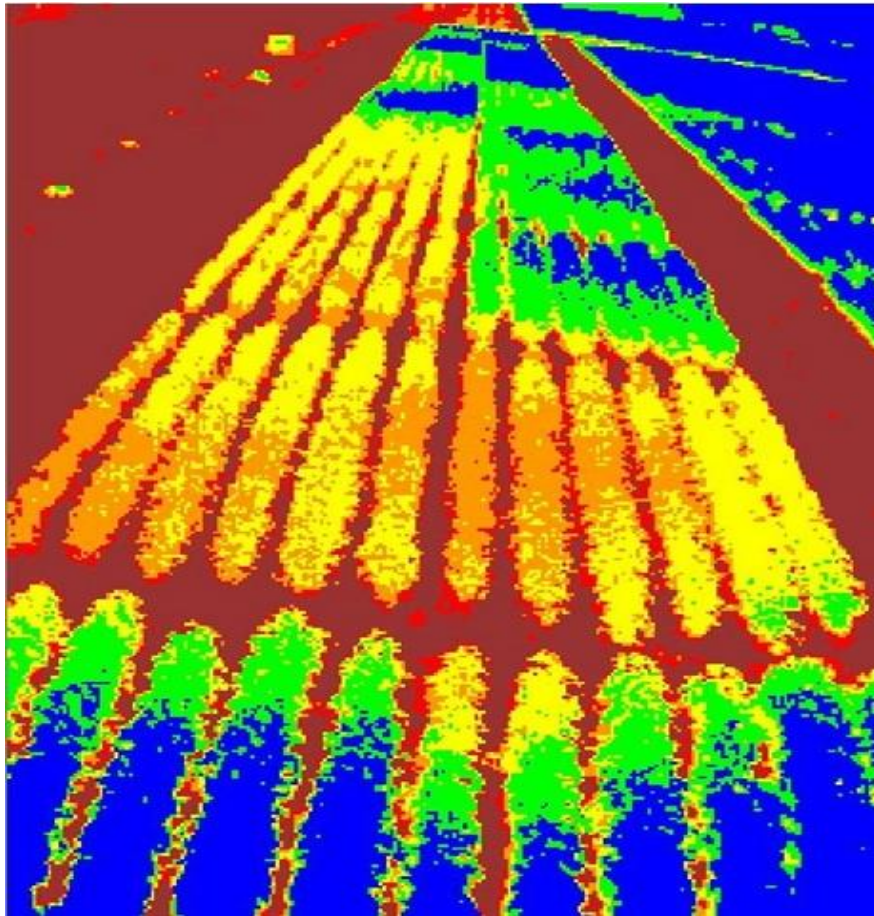
- Τεχνολογίες καταγραφής - χαρτογράφησης. Αυτές αποτελούν την αφετηρία για την απόκτηση των απαιτούμενων πληροφοριών και δεδομένων, έτσι ώστε να ληφθούν κατάλληλες αποφάσεις για την καλύτερη δυνατή διαχείριση του αγρού. Σύμφωνα με τις τεχνολογίες αυτές εφαρμόζονται στη συνέχεια και οι πρακτικές μεταβλητών δόσεων (VRT).
- Τεχνολογίες διαφοροποιούμενης δόσης (VRT). Περιλαμβάνουν συστήματα για εφαρμογές στη σπορά, στη λίπανση, την άρδευση, την άροση και τους ψεκασμούς
- Τεχνολογίες καθοδήγησης (Guidance Technology). Έχουν εφαρμογή μέσω των παράλληλων συστημάτων εντοπισμού (lighting bar), συστημάτων αυτόματης πλοήγησης και καθοδήγησης (auto-steering) και μέσω τεχνολογιών για τον έλεγχο της κυκλοφορίας στον αγρό (Control Traffic Farming). Τα συστήματα αυτόματης πλοήγησης προσφέρουν μείωση κόστους και χρόνου, εξαιτίας της ελάττωσης των περιττών δρομολογιών με αποτέλεσμα την κατανάλωση λιγότερων καυσίμων και την εξοικονόμηση κόστους εργασίας. Τα συστήματα καθοδήγησης επιφέρουν ακρίβεια στην εφαρμογή μεταβλητών δόσεων και την εργασία ακόμα και σε συνθήκες με μειωμένη ορατότητα. Έχουν γίνει ιδιαίτερα δημοφιλή εξαιτίας του χαμηλού τους κόστους και εφαρμόζονται όλο και περισσότερο στη Γεωργία Ακριβείας. Επιπλέον, ο έλεγχος της κυκλοφορίας περιορίζει τις αρνητικές συνέπειες στο έδαφος από την υπερβολική και τη μη καθορισμένη κυκλοφορία. (Φουντάς & Γέμτος, 2015).

2.2.8 Μη Επανδρωμένα Εναέρια Οχήματα (Unmanned Aerial Vehicles, UAV)

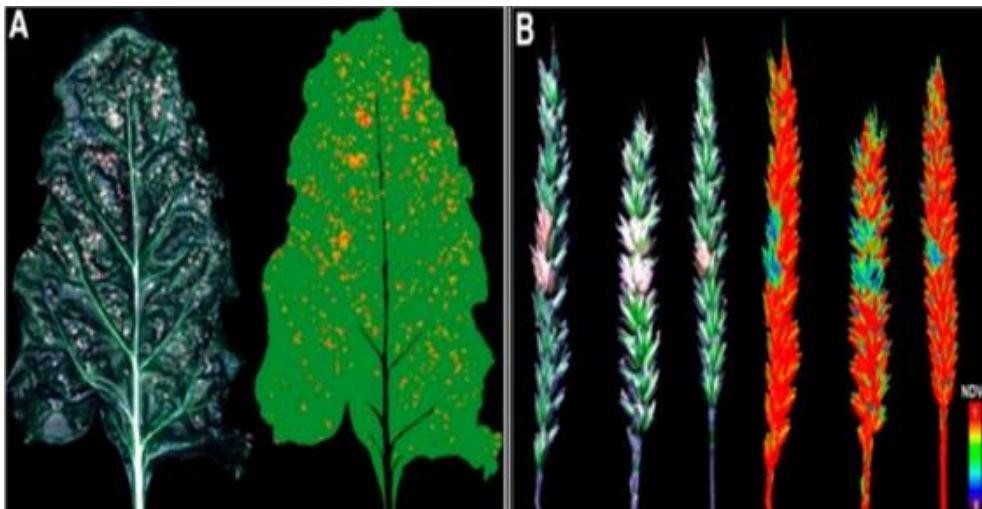
Τα μη επανδρωμένα εναέρια συστήματα (Unmanned Aerial System, UAS) είναι όρος που χρησιμοποιείται από την Ομοσπονδιακή Διοίκηση Αεροπορίας (Federal Aviation Administration, FAA), ενώ η Πολεμική Αεροπορία των Η.Π.Α. τα αναφέρει ως τηλεκατευθυνόμενα αεροσκάφη (Remotely Piloted Aircraft, RPA) και τα μέσα ενημέρωσης ως “drones” (Γράβαλος και Μακρής, 2024). Είναι γεγονός, πως η Γεωργία Ακριβείας είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τη χρήση των UAV (Unmanned Aerial Vehicles), καθώς προσφέρουν δυνατότητες παρακολούθησης της καλλιέργειας μέσω της απόκτησης δεδομένων και πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο με τεχνολογία υψηλής ακρίβειας και εφαρμογής καλλιεργητικών πρακτικών (Taseer and Han, 2024).

Σχετικά με τη συλλογή και την καταγραφή δεδομένων, την τηλεπισκόπηση δηλαδή του αγρού, αυτή είναι εφικτή μέσω των εικονοληπτικών αισθητήρων. Τα είδη των εικόνων που είναι δυνατόν να αποκτηθούν είναι τα παρακάτω:

- **Εικόνες RGB** (πρότυπο χρώματος, Red Green Blue): Μέσω των εικόνων αυτών πραγματοποιείται η αποτύπωση στιγμιότυπου της υφιστάμενης κατάστασης της καλλιέργειας, με στόχο την παρακολούθηση της προόδου της χρονικά, ειδικά όταν ο σκοπός είναι η απόκτηση χωρικών λεπτομερειών του αγρού.
- **Πολυφασματικές:** Αποτελούν σημαντικό εργαλείο για τη δημιουργία ζωνών διαχείρισης. Αποτυπώνουν εκτός του ορατού φάσματος και σε μήκη κύματος όπως το υπέρυθρο και υπεριώδες, με σκοπό τη διάγνωση ασθενειών. Τέλος, αναπόσπαστο κομμάτι των πολυφασματικών εικόνων είναι οι δείκτες (εικόνες) που προκύπτουν μέσα από μαθηματικές πράξεις από αυτές, με σημαντικότερο τον δείκτη βλάστησης NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) από τον οποίο προέρχονται πληροφορίες για τη ζωνρότητα και την πυκνότητα της βλάστησης.
- **Θερμικές:** Παρουσιάζουν το υδατικό δυναμικό του φυλλώματος των καλλιεργειών και έτσι είναι εφικτή η ενημέρωση για την ανάγκη ή μη της άρδευσης.
- **Εικόνες υψομετρικών διαφορών:** Προκύπτουν μέσω της επεξεργασίας των RGB εικόνων, για τον εντοπισμό των ισοϋψών μεταβολών.
- **Τρισδιάστατες:** Η λήψη των συγκεκριμένων εικόνων πραγματοποιείται μέσω σαρωτών λέιζερ (LiDAR). Είναι εφικτή, με αυτόν τον τρόπο η αναπαράσταση η γεωμετρία της βλάστησης. Ωστόσο, το κόστος για την αποτύπωση των τρισδιάστατων εικόνων είναι ιδιαίτερα υψηλό και γι' αυτό χρησιμοποιείται περισσότερο για ερευνητικούς σκοπούς (Γράβαλος και Μακρής, 2024).



Εικόνα 3: Θερμική Εικόνα - Χαρτογράφηση υδατικού δυναμικού φυλλώματος καλλιέργειας (Γράβαλος και Μακρής, 2024)



Εικόνα 4: Πολυφασματικές εικόνες: α) Διάγνωση μύκητα, β) Διάγνωση προσβολής από *Fusarium* (Taseer and Han, 2024)

Επιπρόσθετα, η χρήση των τηλεκατευθυνόμενων ή των αυτόνομων UAV στις καλλιεργητικές πρακτικές πραγματοποιείται για πολλαπλούς σκοπούς. Πιο αναλυτικά, γίνονται εφαρμογές κυρίως για σπορά, λίπανση και φυτοπροστασία. Είναι εξοπλισμένα με συστήματα GNSS (Global Navigation Satellite Systems), GPS και λογισμικά, τα οποία παρέχουν ακρίβεια στον

εντοπισμό θέσης και τη σχεδίαση της διαδρομής που θα διανύσουν. Έτσι, τα δεδομένα που λαμβάνονται συνδυαστικά και από τους αισθητήρες αποκωδικοποιούνται για τον πλήρη έλεγχο της κατάστασης της υφιστάμενης καλλιέργειας, προσαρμόζεται ο κατάλληλος προγραμματισμός της διαχείρισης για τη λήψη αποφάσεων και εφαρμόζονται οι απαραίτητες δοσολογίες των λιπασμάτων και των φυτοφαρμάκων (Taseer and Han, 2024). Οι εφαρμογές φυτοφαρμάκων μέσω των UAV παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα. Αρχικά, είναι εφικτό να εφαρμοστεί με ακρίβεια η δόση του σκευάσματος που συνιστάται, διότι έχουν την ικανότητα να συνεισφέρουν στην καλύτερη διείσδυση του προϊόντος στο φύλλωμα, ενώ ταυτόχρονα ακόμα και σε καλλιέργειες πυκνής φύτευσης ενισχύεται η εφαρμογή και στα κατώτερα φυλλώματα. Οι UAV χρησιμοποιούν δύο τεχνικές εναπόθεσης για τους ψεκασμούς. Η πρώτη αφορά ηλεκτροστατικά συστήματα ψεκασμού, τα οποία εναποθέτουν σταγονίδια μικρότερου μεγέθους, πιο ομοιόμορφα και με μικρότερο σφάλμα απόκλισης συγκριτικά με τις συμβατικές μεθόδους ψεκασμού. Η δεύτερη τεχνική αφορά συστήματα ψεκασμού διαφοροποιούμενης δόσης. Πιο αναλυτικά, οι κλιματολογικές συνθήκες και παράγοντες όπως η ταχύτητα του ανέμου, το ύψος πτήσης και η γωνία ψεκασμού αποτελούν παράγοντες που επηρεάζουν την ποσότητα εναπόθεσης των ψεκασμών. Για το λόγο αυτό, τα συστήματα μεταβλητών δόσεων διαφοροποιούν τη δοσολογία σύμφωνα με τους παραπάνω παράγοντες για εξοικονόμηση κόστους και μείωση της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος. Έτσι, δημιουργούνται χάρτες εφαρμογής μέσω ζωνών διαχείρισης και ανάλογα με αυτούς πραγματοποιούνται οι απαραίτητες εφαρμογές (Γράβαλος και Μακρής, 2024).

2.3 Ζώνες Διαχείρισης

Οι ζώνες διαχείρισης στη Γεωργία Ακριβείας είναι πρωταρχικής σημασίας. Αποτελούν ομοιογενή τμήματα του αγρού, μέσα στα οποία οι συνέπειες που οφείλονται στις χωρικές και χρονικές μεταβολές στο κλίμα, στο έδαφος και στις πρακτικές διαχείρισης παρουσιάζουν σχετική ομοιομορφία. Η οριοθέτηση των ζωνών διαχείρισης επιτρέπει την εφαρμογή των απαιτούμενων πρακτικών διαχείρισης στο κάθε τμήμα. Επιπρόσθετα, είναι βασικό βήμα για την εφαρμογή των απαραίτητων εισροών στην καλλιέργεια μέσω των συστημάτων τεχνολογίας μεταβλητής δόσης, καθώς λειτουργούν ως βάση αναφοράς για τη δημιουργία χαρτών δοσολογιών (Lanucara et al., 2024). Επίσης, οι ζώνες διαχείρισης αποτελούν αντιπροσωπευτικούς δείκτες για την λήψη δειγμάτων εδάφους και καλλιέργειας, με σκοπό την ανάλυση τους, μειώνοντας έτσι τον αριθμό δειγμάτων σε σύγκριση με μεθόδους χωρίς την

ύπαρξη ομοιογενών τμημάτων (Gavioli et al., 2019). Τα δεδομένα που μελετώνται για τη δημιουργία ζωνών διαχείρισης αντλούνται από αγρονομικά στοιχεία, δεδομένα διαχείρισης, την ιστορία του αγρού και από τις δυνατότητες και τους περιορισμούς που προκύπτουν από τη χρήση του εξοπλισμού. Σχετικά με τα αγρονομικά χαρακτηριστικά είναι εφικτά μέσω εδαφικών χαρτών, χαρτών παραγωγής, δεικτών βλάστησης, αεροφωτογραφίες και δορυφορικές εικόνες με βλάστηση και χωρίς, αναλύσεις εδάφους και άλλες διάφορες πηγές πληροφόρησης. Τα ιστορικά δεδομένα προκύπτουν από τις καλλιέργειες των προηγούμενων ετών, από τις περιοχές του αγρού που έχουν υποστεί διάβρωση ή συγκρατούν πολλή υγρασία, εφαρμογές με λιπάσματα και φυτοφάρμακα παλαιότερων ετών και κάλυψη άρδευσης (Φουντάς & Γέμτος, 2015). Δύο είναι οι κατηγορίες μεθόδων δημιουργίας ζωνών διαχείρισης, οι οποίες χρησιμοποιούνται περισσότερο. Η πρώτη μέθοδος, η οποία είναι και η πιο απλή είναι η εμπειρική (empirical analysis) και βασίζεται στην κατανομή της απόδοσης για τη διαίρεση των τμημάτων, ο αριθμός των οποίων είναι καθορισμένος. Η δεύτερη ονομάζεται ανάλυση συμπλεγμάτων (cluster analysis) και εφαρμόζεται μέσω ταξινόμησης των δεδομένων σε τάξεις. Σκοπός της συγκεκριμένης οριοθέτησης είναι η ύπαρξη ομοιότητας μεταξύ των δεδομένων εντός των κλάσεων και η παραλλακτικότητα μεταξύ τους (Gavioli et al., 2019).

2.4 Εφαρμογές Γεωργίας Ακριβείας

Στην Ελλάδα η πρώτη εφαρμογή της Γεωργίας Ακριβείας πραγματοποιήθηκε το 2001, μέσω της χαρτογράφησης της παραγωγής σε καλλιέργεια βαμβακιού στην Καρδίτσα. Το 2005 ήταν η αφετηρία για την έναρξη των εφαρμογών και σε καλλιέργειες όπως τα μήλα, η ελιά, το αμπέλι και τα αχλάδια. Ωστόσο, σε παγκόσμιο επίπεδο ξεκίνησε στις αρχές της δεκαετίας του 1990 στις ΗΠΑ και τη Βρετανία. Οι πρώτες εφαρμογές έλαβαν χώρα σε καλλιέργειες σιτηρών με χαρτογράφηση της παραγωγής (Φουντάς & Γέμτος, 2015).

Στην Αγιά Λάρισα, σε δύο οπωρώνες μηλιάς πραγματοποιήθηκε μελέτη της χρονικής και χωρικής μεταβλητότητας, έτσι ώστε να προκύψουν νέοι μέθοδοι πρόβλεψης της τελικής απόδοσης της παραγωγής και να δημιουργηθούν ζώνες διαχείρισης με στόχο την εφαρμογή λίπανσης μεταβλητής δόσης. Ιδιαίτερα θετικό ήταν το γεγονός της ύπαρξης χρονικής και χωρικής παραλλακτικότητας εντός των οπωρώνων στη χημική και μηχανική σύσταση του εδάφους, στην παραγωγή, στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών, στη διαμόρφωση της κόμης των δένδρων και της άνθισης τους. Διότι, η παραλλακτικότητα είναι χαρακτηριστικό που υποδηλώνει την ικανοποιητική εφαρμογή των πρακτικών της γεωργίας ακριβείας και την

ύπαρξη θετικών αποτελεσμάτων. Απόρροια της παραπάνω μελέτης ήταν πως η πρόβλεψη της χωρικής παραλλακτικότητας της παραγωγής βοήθησε τον παραγωγό να προσαρμόσει τις εισροές του στις περιοχές που ήταν απαραίτητο και έτσι να βελτιώσει το κέρδος του. Η πρόβλεψη της παραγωγής έγινε μέσω της χαρτογράφησης του δείκτη ευρωστίας των δέντρων NDVI. Δεύτερον, η εφαρμογή λίπανσης μέσω διαφοροποιούμενης δόσης βασισμένη στη ποσότητα αζώτου που αφαιρείται από την παραγωγή της προηγούμενης χρονιάς είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση σε ποσοστό 32,4% του λιπάσματος που χορηγήθηκε και αύξηση κατά 21% στο κέρδος του παραγωγού. Επιπλέον, τη δεύτερη χρονιά η απαιτούμενη ποσότητα λιπάσματος ελαττώθηκε κατά 56,6% και το κέρδος της καλλιέργειας αυξήθηκε κατά 9%. Τέλος, σημαντική βελτίωση της ποιότητας των καρπών προέκυψε μέσω των εφαρμογών μεταβλητών δόσεων λίπανσης σε σύγκριση με την ομοιόμορφη εφαρμογή λίπανσης στους οπωρώνες (Λιάκος, 2013).

2.5 Εφαρμογές της γεωργίας ακριβείας στην ελιά

Περιορισμένος αριθμός εφαρμογών γεωργίας ακριβείας έχει πραγματοποιηθεί στην ελιά, σε σύγκριση με τις εφαρμογές που έχουν γίνει στα σιτηρά και στα φυτά μεγάλης καλλιέργειας. Στην Ελλάδα, έχουν γίνει εφαρμογές κυρίως σε αμπελώνες, μηλιές και αχλαδιές, αλλά και σε βαμβάκι, καλαμπόκι και χειμερινά σιτηρά. Ωστόσο, η πλειονότητα αυτών αφορά εφαρμογές ιδιαίτερα στην τηλεπισκόπηση. Η πιο διαδεδομένη τρισδιάστατη καλλιέργεια παγκοσμίως είναι η ελιά, με 10,5 Mha ή 10.500.000 Ha ή 105.000.000.000 στρέμματα (“Olive crop information”, 2020). Έτσι, η εφαρμογή ακριβών δόσεων φυτοπροστατευτικών προϊόντων σε τρισδιάστατες καλλιέργειες γίνεται εξαιρετικά σημαντική από περιβαλλοντική και οικονομική άποψη (Román et al., 2020).

Στην Ιταλία, οι Roma et al. (2023) εφάρμοσαν μία μεθοδολογία για τη δημιουργία χαρτών συνταγής για τη μεταβλητή εφαρμογή λιπασμάτων αζώτου σε ελαιώνα συνολικής έκτασης 5860m² και περιμέτρου 344m, λαμβάνοντας υπόψη τα αγρονομικά και εδαφολογικά χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου καλλιεργητικού συστήματος. Η μεθοδολογία περιλάμβανε την εφαρμογή πλατφόρμας GIS χρησιμοποιώντας αλγορίθμους GEOBIA, με σκοπό να δημιουργηθούν χάρτες δοσολογίας για μεταβλητή δόση αζώτου. Το μεταβλητό πρόγραμμα λίπανσης αζώτου δημιουργήθηκε με βάση δεδομένων από γεωαναφορές (S7-G Stonex εργαλεία), δειγματοληψία εδάφους, φύλλων και παραγωγής, για να προσδιοριστούν τα επίπεδα αζώτου, καθώς επίσης ανάλυση βιομετρικών και χωρικών συνθηκών, για τη

δημιουργία χαρτών NDVI. Ο χάρτης δοσολογίας αζώτου έχει τη δυνατότητα να προσαρμοστεί σε ελκυστήρα και ψεκαστικό, αφού γίνει σύνδεση με ISOBUS σύστημα. Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης μεθόδου ήταν ιδιαίτερα σημαντικά, καθώς η απαιτούμενη λίπανση αζώτου ήταν 31% χαμηλότερη συγκριτικά με τη συμβατική μέθοδο εφαρμογής αζώτου. Η μείωση αυτή έχει πολλαπλά οφέλη τόσο στην εξοικονόμηση του κόστους όσο και στην προστασία του περιβάλλοντος (Roma et al., 2023).

Στην Ισπανία, πραγματοποιήθηκε έρευνα σε ένα τμήμα ελαιώνα συνολικής έκτασης 47,1 εκταρίων. Οι Rodriguez-Lizana et al. (2021) εφάρμοσαν την τεχνική της γεωστατιστικής προσομοίωσης με την χρήση στοχαστικών αλγορίθμων για την δημιουργία χαρτών συνταγών φυτοφαρμάκων για ελαιώνες. Η καινοτομία της παραπάνω τεχνικής βασίζεται στην ενσωμάτωση δεδομένων προβαλλόμενης περιοχής δέντρων για τη βελτίωση της χωρικής πρόβλεψης του όγκου της κόμης του δέντρου και στη χρήση αλγορίθμων στοχαστικής χωρικής προσομοίωσης για την ποσοτικοποίηση της αβεβαιότητάς του. Τέλος, δημιουργήθηκαν οι ζώνες διαχείρισης για την ποσοτικοποίηση των αναγκών σε φυτοφάρμακα και τη μείωση των ποσοτήτων σε σύγκριση με τη συμβατική μέθοδο. Τα συμπεράσματα που προέκυψαν έδειξαν πως υπήρξε μείωση των εισροών από 21% έως 38% (Rodriguez-Lizana et al., 2021).

Στο Μεσολόγγι, το 2020 οι Spyropoulos et al. εφάρμοσαν την τεχνική της ανάλυσης δορυφορικών εικόνων για την εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής των καλλιεργειών (ETc) και παρακολούθηση των αναγκών σε νερό των ελαιόδεντρων. Τα συμπεράσματα που προέκυψαν ήταν αξιοσημείωτα, καθώς οι συνολικές απαιτήσεις σε νερό που εξάγονται με δορυφορικά δεδομένα είναι μικρότερες από αυτές που υπολογίζονται με τη μέθοδο του FAO, με θετική επίδραση εξοικονόμηση νερού και πιθανή βελτιστοποίηση των εισροών, διατηρώντας και προστατεύοντας το περιβάλλον. Επιπλέον, μπορεί να επιτευχθεί εκτίμηση των συντελεστών βλάστησης (Kc, ETc) και σε μεμονωμένα δέντρα (Spyropoulos et al., 2020). Αυτό προσφέρει ιδιαίτερο ενδιαφέρον κυρίως για την Ελλάδα, όπου υπάρχουν μικρές και διάσπαρτες γεωργικές εκμεταλλεύσεις, γεγονός που αποτέλεσε και ανασταλτικό παράγοντα στις εφαρμογές γεωργίας ακριβείας στην Ελλάδα τα παλαιότερα χρόνια (Φουντάς & Γέμος, 2015).

Στη Νότια Ελλάδα, το 2017 οι Van Evert et al. πραγματοποίησαν εφαρμογή μεταβλητών δόσεων σε ελαιώνα έκτασης 9,1 εκταρίων και πυκνότητας 181 δέντρα ανά εκτάριο. Η συγκεκριμένη γεωργική παραγωγή παρουσίαζε ιδιαίτερη μεταβλητότητα ως προς τις ιδιότητες του εδάφους. Το 2008 και το 2009, αφού πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία εδάφους

(δειγματοληψία 10 δειγμάτων ανά εκτάριο), έγινε διαχείριση χωρικών στοιχείων φωσφόρου (P), καλίου (K) και ασβεστίου (Ca). Στη συνέχεια, δημιουργήθηκαν ζώνες διαχείρισης, σύμφωνα με τα όρια προσδιορισμού. Για το P και το K, δημιουργήθηκαν δύο ζώνες διαχείρισης (χαμηλής και υψηλής συγκέντρωσης). Τα όρια προσδιορισμού για το P ήταν 45ppm, ενώ για το K ήταν 350ppm. Στις ζώνες διαχείρισης P εφαρμόστηκε 1kg λιπάσματος ανά δέντρο στη ζώνη χαμηλής συγκέντρωσης και στη ζώνη υψηλής συγκέντρωσης δεν εφαρμόστηκε λίπασμα. Αντίθετα, στην περίπτωση του K εφαρμόστηκαν 2kg ανά δέντρο στη ζώνη χαμηλής συγκέντρωσης K, ενώ στη ζώνη υψηλής συγκέντρωσης εφαρμόστηκε 1kg λιπάσματος ανά δέντρο. Τέλος, για τη βελτίωση του pH του εδάφους έγιναν εφαρμογές με ποσότητα ασβέστη 5kg ανά δέντρο στις περιοχές, όπου το pH του εδάφους προσδιορίστηκε κάτω από 6,5. Τα αποτελέσματα της εφαρμογής έδειξαν μείωση 31% στην περίπτωση του Καλίου, 56% μείωση στην περίπτωση του φωσφόρου και 86% μείωση της ποσότητας του ασβέστη. Οι μειωμένες αυτές ποσότητες των εισροών έχουν άμεση θετική επίδραση στο περιβάλλον (Van Evert et al., 2017).

Οι Calderón *et al.* (2013), εφάρμοσαν μεθόδους τηλεπισκόπησης, όπως αερομεταφερόμενες υπερφασματικές και θερμικές εικόνες υψηλής ανάλυσης για έγκαιρη ανίχνευση της βερτισιλλώσεως (VW), ασθένεια που προκαλείται από το μύκητα *Verticillium dahliae* Kleb και το σοβαρότερο αποτέλεσμα αυτής είναι η θνησιμότητα των δέντρων. Πιο αναλυτικά, πραγματοποιήθηκε εφαρμογή θερμικών εικόνων υψηλής ανάλυσης, φθορισμού χλωροφύλλης, δομικών και φυσιολογικών δεικτών (ξανθοφύλλη, χλωροφύλλη α + β, [καροτενοειδή](#) και B/G/R δεικτών), που υπολογίστηκαν από πολυφασματικές και υπερφασματικές εικόνες ως πρώιμους δείκτες υδατικής καταπόνησης και σοβαρότητας που προκαλούνται από την ασθένεια αυτή. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε σε διάρκεια τριών ετών παρακολουθώντας έτσι και τα όλα στάδια σοβαρότητας της ασθένειας. Αποτέλεσμα της έρευνας αυτής ήταν οι δυνατότητες έγκαιρης ανίχνευσης της μόλυνσης από *V. dahliae* και η διάκριση μεταξύ των επιπέδων σοβαρότητας της VW σε καλλιέργειες ελιάς χρησιμοποιώντας θερμικές, πολυφασματικές και υπερφασματικές εικόνες που αποκτήθηκαν με μη επανδρωμένο εναέριο όχημα. Η διάγνωση συμπτωμάτων ασθενειών, καθώς επίσης και το στάδιο ανάπτυξης της ασθένειας αποτελεί σημαντική πρακτική για έγκαιρη, αποτελεσματική αντιμετώπιση και αποτροπή εξάπλωσης, με πολλαπλά πλεονεκτήματα στην εξοικονόμηση κόστους και στη βιωσιμότητα του περιβάλλοντος (Calderón et al., 2013).

Παράδειγμα εφαρμογής μέσω τηλεπισκόπησης πραγματοποιήθηκε από τους Romo et al. (2007), οι οποίοι δημιούργησαν ένα σύστημα υποστήριξης διαχείρισης ελαιώνα έκτασης 250 εκταρίων. Χρησιμοποιήθηκαν δύο είδη δορυφορικών εικόνων: MODIS και DMC. Οι δορυφορικές εικόνες δημιουργούσαν χάρτες NDVI, οι οποίοι ενημέρωναν τον παραγωγό κάθε 10 ημέρες (MODIS εικόνες) για ολόκληρη την καλλιεργητική περίοδο και κάθε 16 ημέρες (DMC), για Φεβρουάριο έως Ιούνιο. Έτσι, υπήρχε ολοκληρωμένη πληροφόρηση για την πορεία της καλλιέργειας, με στόχο την αποτελεσματικότερη εφαρμογή εισροών και καλλιεργητικών πρακτικών, σύμφωνα με τις κατάλληλες ειδοποιήσεις και ενημερώσεις που λάμβανε ο παραγωγός (Romo et al., 2007).

Στην Ελλάδα, το 2007 έγινε η εφαρμογή ενός συστήματος για διαχείριση και προγραμματισμό των ψεκασμών για τον δάκο της ελιάς (*Bactrocera oleae*). Αρχικά, πραγματοποιήθηκε καταγραφή μέσω GPS των θέσεων των παγίδων που χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση του πληθυσμού του δάκου και ταυτόχρονα μετρήθηκε ο πληθυσμός των εντόμων στις παγίδες. Οι παραπάνω πληροφορίες εισήχθησαν σε ένα σύστημα GIS. Στη συνέχεια, οι συσκευές GPS τοποθετήθηκαν στους ελκυστήρες που κάνουν τους ψεκασμούς και χαρτογράφησαν τις διαδρομές που έκαναν. Αποτέλεσμα της συγκεκριμένης εφαρμογής ήταν η εξοικονόμηση χρημάτων, η μείωση της εκπομπής των περιττών καυσαερίων, καθώς επίσης και η εξοικονόμηση ενέργειας, διότι καλύφθηκαν μόνο οι απαραίτητες διαδρομές από τους ελκυστήρες και οργανώθηκε καλύτερος προγραμματισμός ψεκασμών. Το σύστημα αναμένεται να επεκταθεί μετρώντας τη δόση ψεκασμού σε κάθε ελκυστήρα για μεγαλύτερη ακρίβεια στις εφαρμογές του ψεκαστικού υγρού (Paraskevopoulos & Bouloulis, 2007).

Οι Solanelles et al. (2006) δημιούργησαν ένα πρωτότυπο ηλεκτρονικό σύστημα βασισμένο σε υπερήχους για την εφαρμογή φυτοφαρμάκων ανάλογα με το πλάτος της κόμης των δένδρων. Το σύστημα αυτό διέθετε υπερηχητικούς αισθητήρες και σωληνοειδείς βαλβίδες για αναλογική εφαρμογή στο πλάτος της κόμης των δέντρων και εγκαταστάθηκε σε ψεκαστήρα. Οι εφαρμογές έγιναν σε όλη την έκταση του ελαιώνα και έγινε σύγκριση της απόδοσης του συστήματος ελέγχου με τη συμβατική μέθοδο ψεκασμού, χωρίς το σύστημα αυτό του προσδιορισμού. Αξιολογήθηκαν δύο περιπτώσεις ελέγχου στην καλλιέργεια της ελιάς, οι οποίες συμπεριλάμβαναν έναν ή δυο αισθητήρες ελέγχου. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν ήταν εντυπωσιακά, διότι στην πρώτη περίπτωση (ένας αισθητήρας) υπήρξε εξοικονόμηση

ψεκαστικού υγρού κατά 68% και στη δεύτερη περίπτωση (δύο αισθητήρες) υπήρξε ποσοστό μείωσης 72% σε σύγκριση με τη συμβατική μέθοδο ψεκασμού (Solanelles et al., 2006).

Στην Ισπανία το 2004, μελετήθηκε η χωρική παραλλακτικότητα στα θρεπτικά στοιχεία στα φύλλα της ελιάς. Αυτό επιτεύχθηκε μέσω της δημιουργίας χαρτών των θρεπτικών στοιχείων στα φύλλα, όπου ήταν εμφανή τα όρια επάρκειας των θρεπτικών στοιχείων και έτσι μπορούσαν να δημιουργηθούν χάρτες με όρια επάρκειας θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος. Βρέθηκε λοιπόν, πως μόνο το 3% και το 17% της επιφάνειας του αγρού (ήταν κάτω από το όριο επάρκειας) χρειαζόταν λίπανση με N για τα έτη 1999 και 2000 αντίστοιχα. Επιπλέον, η εφαρμογή του B ήταν απαραίτητη μόνο στο 36,6% και 0,2% της έκτασης για το 1999 και το 2000 αντίστοιχα. Τέλος, η λίπανση με P έπρεπε να εφαρμοστεί σε όλη την επιφάνεια το 1999, ενώ το 2000 μόνο στο 28% της έκτασης. Αποτέλεσμα της συγκεκριμένης μεθόδου γεωργίας ακριβείας ήταν η εξοικονόμηση κυρίως χρημάτων, λόγω εφαρμογής μόνο της απαραίτητης ποσότητας λίπανσης και φυσικά μειωμένη επιβάρυνση του περιβάλλοντος (López-Granados et al., 2004).

2.6 Οφέλη Γεωργίας Ακριβείας

Τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η Γεωργία Ακριβείας με τις πρακτικές που εφαρμόζονται στις καλλιέργειες είναι πολλαπλά. Αρχικά, είναι εφικτή η ελάττωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί εξαιτίας των εφαρμογών της Γεωργίας Ακριβείας, οι οποίες έχουν πρωταρχικό ρόλο τη μείωση των εισροών, των καυσίμων που καταναλώνονται και των λιπασμάτων, μέσω της ορθολογικής διαχείρισης με μειωμένο αριθμό επεμβάσεων και ποσοτήτων. Έτσι, υπάρχει γενικότερη μείωση της κατανάλωσης των καυσίμων (Gołasa et al., 2021). Επιπλέον, οι τεχνολογίες της γεωργίας ακριβείας στοχεύουν στη βελτιστοποίηση της χρήσης της παραγωγικότητας των πόρων που καταναλώνονται. Ακόμη, οι ορθολογικοί ψεκασμοί των φυτοφαρμάκων και η χρήση λιπασμάτων στις απαραίτητες ποσότητες και στο σωστό χρόνο προσδίδει στη μείωση των εισροών, με αποτέλεσμα να είναι εφικτή η ελάττωση του κόστους παραγωγής και του χρόνου εργασίας του ανθρώπινου δυναμικού (Barnes et al., 2019). Σύμφωνα με στοιχεία της κυβέρνησης του Ηνωμένου Βασιλείου για τη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, η καταλληλότερη μέθοδος είναι η διαχείριση των θρεπτικών ουσιών, με την οποία μπορεί να επιτευχθεί και 1,4Mt CO₂-eq μείωση (του συνολικού 3Mt CO₂-eq που μπορεί να επιτευχθεί ως το 2020, συγκρινόμενο με το 2007), μέσω της θρεπτικής επάρκειας αζώτου (0,8Mt CO₂-eq).

Επίσης, η ορθολογική διαχείριση εδάφους επιφέρει 0,45Mt CO₂-eq. Ακόμη, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή που σχετίζεται με τις κλιματικές δράσεις κάνει λόγο για την επίτευξη των μειώσεων στους ρύπους μέσω ορθολογικών πρακτικών διαχείρισης των καλλιεργούμενων εκτάσεων. Τα αποτελέσματα αυτά μπορούν να προκύψουν από τις πρακτικές και τις μεθόδους της γεωργίας ακριβείας, η οποία στηρίζει τις βάσεις για την εφαρμογή της στην ορθολογική διαχείριση της λίπανσης, του εδάφους, της άρδευσης και της συγκομιδής (Balafoutis et al., 2017). Είναι γεγονός, πως μέσω του γεωργικού τομέα καταναλώνεται το 70% της παγκόσμιας κατανάλωσης γλυκού νερού. Οι συνέπειες της κλιματικής αλλαγής που περιλαμβάνουν μειωμένες βροχοπτώσεις και παρατεταμένες ξηρασίες λόγω αυξήσεων της θερμοκρασίας θα μεταβάλλουν σε σημαντικό βαθμό τις ανάγκες άρδευσης των καλλιεργειών. Έχουν προκύψει θετικά αποτελέσματα από την εφαρμογή τεχνολογιών άρδευσης σε ελαιοκαλλιέργειες σε συνδυασμό με συστήματα τηλεπισκόπηση με εξοικονόμηση νερού έως και 42,1%, καθώς επίσης και ενέργειας. Είναι ζωτικής σημασίας λοιπόν ορθολογική διαχείριση του μέσω της άρδευσης στις καλλιέργειες, διότι είναι δυνατόν να επιτευχθεί βελτίωση της απόδοσης του νερού, του εδάφους, των θρεπτικών συστατικών και της ενέργειας (Kakkavou et al., 2024). Ένας από τους στόχους της εφαρμογής των εισροών με μεταβλητές δόσεις είναι η προστασία του περιβάλλοντος (Bongiovanni and Lowenberg-Deboer, 2004). Για παράδειγμα, με την εφαρμογή αζώτου με μεταβλητές δόσεις μπορεί να μειωθεί το N που εφαρμόζεται και να μειωθεί το N σε ευαίσθητες περιοχές, χωρίς να μειωθεί η παραγωγή και πιθανότατα με καλύτερο οικονομικό αποτέλεσμα (Φουντάς & Γέμτος, 2015). Τα εντατικά και υπερεντατικά συστήματα φύτευσης ελιάς συγκριτικά με τα συμβατικά συστήματα παρουσιάζουν περισσότερες απαιτήσεις σε N, το οποίο συντελεί στη σωστή ανάπτυξη και απόδοση της καλλιέργειας. Είναι ύψιστης σημασίας η ορθολογική χορήγηση του για τις μέγιστες δυνατές αποδόσεις (Villalobos et al., 2023). Επίσης, με την εφαρμογή εντομοκτόνων και ζιζανιοκτόνων με μεταβλητές δόσεις μπορεί να μειωθούν οι ποσότητες που εφαρμόζονται, αφού εφαρμόζονται μόνο εκεί που είναι απαραίτητες. (Φουντάς & Γέμτος, 2015). Συμπερασματικά, η Γεωργία Ακριβείας είναι ικανή να συνδράμει στην επίτευξη της γεωργικής βιωσιμότητας, καθώς οι καινοτόμες πρακτικές εφαρμογής της μπορούν να περιορίσουν σημαντικά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε συνδυασμό με την αύξηση της παραγωγικότητας (Balafoutis et al., 2017).

3. Η καλλιέργεια της ελιάς

3.1 Το ιστορικό και η προέλευση της ελιάς

Η ελιά, θεωρείται το πιο χαρακτηριστικό δένδρο της Μεσογείου και των χωρών που βρέχονται από αυτήν με τεράστια επιρροή στην οικονομία, στην ιστορία, στον πολιτισμό και γενικότερα στο περιβάλλον. Είναι ιερό δένδρο και αποτελεί παγκόσμιο σύμβολο ειρήνης και νίκης (Κωστελένος, 2011). Η ελιά είναι άρρηκτα συνυφασμένη με την πολιτιστική ιστορία της Μεσογείου. Η προέλευση της συνδέεται με την εμφάνιση μερικών από τους αρχαιότερους πολιτισμούς πριν από περίπου έξι χιλιετίες. Είναι γεγονός, πως η εκμετάλλευση των άγριων και καλλιεργούμενων ελαιόδεντρων κυρίως για τροφή, ξυλεία και ζωοτροφή μαρτυρά την επέκταση των ελαιώνων με την εξάπλωση του ανθρώπινου πολιτισμού (Besnard et al., 2018). Το ελαιόλαδο ως πολύτιμη ουσία για τους Αρχαίους Έλληνες και τους Ρωμαίους χρησιμοποιούνταν ως τρόφιμο, ως φάρμακο, ως πρώτη ύλη για αρώματα, ως σαπούνι και στο φωτισμό (J. Vilar et al., 2018). Επίσης, η ελιά και το ελαιόλαδο πολλές φορές αναφέρονται στα ιερά βιβλία, με την ελιά να θεωρείται απαραίτητο φυτό για τη ζωή του ανθρώπου και ως θεϊκό δώρο (Θεριός, 2005). Η καταγωγή της ελιάς, σύμφωνα με τις επικρατούσες επιστημονικές αντιλήψεις είναι από την ευρύτερη γεωγραφική περιοχή που ορίζεται από τις ακτές της Ανατολικής Μεσογείου, τη Μέση Ανατολή, το Ιράν και τους πρόποδες του Νότιου Καυκάσου. Παρόλα αυτά, υπάρχουν άλλοι ερευνητές που υποστηρίζουν πως η ελιά διασώθηκε από την τελευταία περίοδο των παγετώνων, σε δύο περιοχές καταφύγια, το ένα στη Συρία στη Μέση Ανατολή και το άλλο στη Βορειοδυτική Αφρική και ειδικότερα στο Μαρόκο και την Αλγερία (Κωστελένος, 2011). Στα προϊστορικά χρόνια οι κάτοικοι των μεσογειακών χωρών, με επικρατέστερους τους κατοίκους της Νεολιθικής Κρήτης ξεκίνησαν να καλλιεργούν συστηματικά την ελιά, βελτιώνοντας το αυτοφύες ως τότε ελαιόδεντρο και συμβάλλοντας στην εξέλιξη του Μινωικού πολιτισμού (Θεριός, 2005). Τις τελευταίες έξι χιλιετίες έχουν τεκμηριωθεί τρεις κύριες φάσεις της ελαιοκαλλιέργειας. Αυτές συνέβησαν κατά την τελική Νεολιθική-Μινωική περίοδο, την Ελληνιστική-Ρωμαϊκή-Βυζαντινή και την περίοδο των Νεότερων χρόνων (Jouffroy-Bapicot et al., 2021).

Η ελιά ανήκει στο γένος *Olea*, το οποίο περιλαμβάνει 30-35 είδη που ανήκουν στην οικογένεια *Oleaceae*, της υποοικογένειας *Oleoideae* ($x=23$). Η καλλιεργούμενη ελιά (*Olea europaea* L.) είναι δένδρο αειθαλές που προήλθε από τροπικά και υποτροπικά είδη (Θεριός, 2005). Το είδος

Olea europaea L. διαιρείται σε δύο υποείδη, τα οποία είναι η δασική ή άγρια ελιά *Olea europaea* L. subsp. *Oleaster* και την καλλιεργούμενη *Olea europaea* L. subsp. *sativa* (Κωστελένος, 2011). Η *O. sativa* αποτελείται από βλαστούς κυλινδρικούς και καρπούς μεγάλους ωοειδείς ή ελλειψοειδείς, οι οποίοι είναι άλλοτε πορφυροκυανοί ή μελανοερυθροί και σπανίως λευκοί με υψηλή ελαιοπεριεκτικότητα. Στην Κύπρο η καλλιεργούμενη ελιά ήταν ήδη γνωστή από το 4800 π.Χ. Γεγονός που εξηγεί τη μεγάλη παραλλακτικότητα μεταξύ των ειδών του. Στις βορειότερες περιοχές απαντώνται ποικιλίες ανθεκτικές στους παγετούς, οι ιδανικότερες συνθήκες ωστόσο για την καλλιέργεια της ελιάς είναι οι ήπιοι χειμώνες και το ξηρό θέρος (Θερίος, 2005).

3.2 Η Καλλιέργεια της Ελιάς στην Ελλάδα

Η καλλιέργεια της ελιάς στην Ελλάδα περιοριζόταν σε περιοχές με θερμό και ξηρό καλοκαίρι και με ήπιους παγετούς το χειμώνα. Οι πιο αντιπροσωπευτικές περιοχές καλλιέργειας της ελιάς είναι οι παραλιακές της ηπειρωτικής και της νησιώτικής Ελλάδας, από τον Έβρο μέχρι τη Μεσσηνία και από το νησί της Κέρκυρας μέχρι και το Καστελόριζο (Κωστελένος, 2011). Η Ελλάδα βρίσκεται στην Τρίτη θέση παγκοσμίως σε παραγωγή ελαιόλαδου, ακολουθώντας την Ισπανία και την Ιταλία και στη δεύτερη θέση σε παραγωγή επιτραπέζιας ελιάς (Καρατασίου και Κάλφας, 2018).

Σήμερα, η εξάπλωση της καλλιέργειας της λαμβάνει χώρα με αυξητικούς ρυθμούς ακόμα και σε περιοχές της Κεντρικής και της Βόρειας Ελλάδας. Ένας από τους λόγους της αυξητικής τάσης της καλλιέργειας αυτής σε όλη την ελληνική επικράτεια ανεξαρτήτως εδαφοκλιματικών συνθηκών είναι τα υπέρπυκνα γραμμικά συστήματα καλλιέργειας, με πυκνότητες δένδρων από 130 έως και 200 το στρέμμα σε σύγκριση με το παραδοσιακό σύστημα καλλιέργειας με αριθμό από 25 έως και 35 δένδρα το στρέμμα (Κωστελένος, 2011). Σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία του 2021 της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής, ο αριθμός των δένδρων ελιάς ξεπερνά τα 147.000.000 σε ολόκληρη την ελληνική επικράτεια με τις περιοχές της Κρήτης και της Πελοποννήσου να κατέχουν το μεγαλύτερο αριθμό δένδρων από όλες τις υπόλοιπες περιοχές της Ελλάδος. Επιπλέον, σχετικά με την παραγόμενη ποσότητα ελαιόλαδου, σύμφωνα με το International Olive Council (IOC=Διεθνές Συμβούλιο Ελιάς), το οποίο αποτελεί το μοναδικό διεθνή διακυβερνητικό οργανισμό στον κόσμο στον τομέα της ελαιοκαλλιέργειας, η παραγωγή ελαιόλαδου στην Ελλάδα την περίοδο 2020-2021 ανερχόταν στους 275.000 τόνους, την περίοδο 2021-2022 παρήγαγε 232.000 τόνους και την καλλιεργητική περίοδο 2022-2023 η παραγωγή ήταν 350.000 τόνους, ενώ αναμένεται μείωση αυτής σε υψηλά ποσοστά. Τα

δεδομένα αυτά της παραγωγής της Ελλάδας, έρχονται σε αντίθεση με αυτά της Ισπανίας, η οποία αντιμετωπίζει μείωση της παραγωγής σε ποσοστό 47,7% και της δεύτερης στην κατάταξη, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω Ιταλίας με μείωση 28,6%.

3.3 Η Καλλιέργεια της Ελιάς Παγκοσμίως

Η έκταση των καλλιεργούμενων ελαιόδεντρων ανέρχεται περίπου στα 11,5 εκατομμύρια εκτάρια και απαντάται σε 58 χώρες (Giacomo and Romano, 2022). Σχετικά με την κατανομή της συνολικής αυτής έκτασης η μεγαλύτερη καλλιεργούμενη έκταση βρίσκεται στην Ισπανία (2.507.684 εκτάρια), ακολουθεί η Τυνησία (1.746.360 εκτάρια) και η Ιταλία (1.143.363 εκτάρια) (“Olive oil prices-December 2022”, 2022). Οι ελαιώνες ανέρχονται στο 25% του συνόλου των πολυετών καλλιεργειών παγκοσμίως. Το 30% των ελιών που καλλιεργείται παγκοσμίως είναι αρδευόμενο και το υπόλοιπο 70% αρδεύεται μέσω των βροχοπτώσεων (Fernandez-Lobato et al., 2024). Η έκταση της ελιάς έχει τριπλασιαστεί τα τελευταία 50 χρόνια και οι νέες εφαρμογές συστημάτων φύτευσης ακόμη και σε περιοχές χωρίς παράδοσης της καλλιέργειας αυτής μαρτυρά υψηλή επεκτατική τάση για τις επόμενες δεκαετίες (Sánchez-Martínez and Garrido-Almonacid, 2018). Οι παραδοσιακοί ελαιώνες καλύπτουν περίπου 8-9 εκατομμύρια εκτάρια, ενώ οι σύγχρονοι 3 εκατομμύρια εκτάρια. Το σύνολο των σύγχρονων συστημάτων φύτευσης περιλαμβάνει ποσοστό ίσο με 82% πυκνών φυτεύσεων και το υπόλοιπο 18%, το οποίο ανέρχεται σε 0,5 περίπου εκατομμύρια εκτάρια είναι υπέρπυκνων φυτεύσεων (Giacomo and Romano, 2022). Η καλλιέργεια της ελιάς παγκοσμίως απασχολεί πάνω από 35 εκατομμύρια ανθρώπους, που αντιστοιχεί στο 1,20% του ενεργού πληθυσμού και σε μία επιχείρηση, η οποία πολλές φορές αγγίζει τα 14 δισεκατομμύρια ευρώ (Villar et al., 2018). Ο ρόλος της Ισπανίας στην επέκταση της καλλιέργειας της και στην αύξηση της κατανάλωσης ελαιόλαδου και επιτραπέζιων ελιών ήταν καθοριστικός (Sánchez-Martínez and Garrido-Almonacid, 2018).

3.4 Παράγοντες με αρνητική επίπτωση στην καλλιέργεια της ελιάς

Λόγω της κλιματικής αλλαγής που ήδη έχει αρχίσει να κάνει την εμφάνιση της οι βροχοπτώσεις τα τελευταία χρόνια έχουν ελαττωθεί και σε συνδυασμό με την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας προκάλεσαν προβλήματα στις αρδεύσεις των ελαιώνων. Έτσι, το νερό των γεωτρήσεων δεν επαρκεί για να καλύψει τις ανάγκες των ελαιώνων σε άρδευση (Θερίος, 2005). Επιπλέον, η λεκάνη της Μεσογείου, η οποία αποτελεί το ιδανικότερο κλίμα για την καλλιέργεια της ελιάς, αντιμετωπίζει υψηλό κίνδυνο ξηρασίας εξαιτίας της αύξησης της μέσης

θερμοκρασίας και την ελάττωση των βροχοπτώσεων, τα οποία αποτελούν ιδιαίτερα αρνητικές συνέπειες ως απόρροια της κλιματικής αλλαγής. Σύμφωνα με μελλοντικές προβλέψεις μετεωρολογικών συστημάτων αναμένονται συνθήκες εντονότερης ξηρασίας και τάση υψηλότερης θερμοκρασίας παγκοσμίως λόγω της κλιματικής αλλαγής. Οι συνθήκες αυτές δημιουργούν προβλήματα στους υδάτινους πόρους και στο σύνολο των οικοσυστημάτων, με αποτέλεσμα τη μείωση της παραγωγής των ελαιόδεντρων, καθώς επίσης και την επιρροή στην ποιότητα των καρπών (Nteve et al., 2024). Η ξηρασία σε σύγκριση με άλλους παράγοντες, οι οποίοι αποτελούν και αυτοί επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής είναι η πιο επιβλαβής, διότι είναι εφικτή να προκαλέσει τη μεγαλύτερη μείωση της παραγωγής. Σύμφωνα με την τελευταία έκθεση του Παγκόσμιου Μετεωρολογικού Οργανισμού (World Meteorological Organization), η οποία δημοσιεύτηκε το Νοέμβριο του 2023, το έτος 2023 ήταν το θερμότερο που έχει παρατηρηθεί τα τελευταία 174 χρόνια. Το έτος αυτό προκλήθηκε τεράστια μείωση παραγωγής αφενός εξαιτίας της έντονης ξηρασίας και της υψηλής θερμοκρασίας και αφετέρου εξαιτίας των πυρκαγιών σε μεγάλες εκτάσεις παγκοσμίως (Nteve et al., 2024).

Προβλήματα μείζονος σημασίας στην καλλιέργεια της ελιάς είναι αυτά που προκαλούνται από διάφορους εχθρούς και ασθένειες. Η ελιά προσβάλλεται από πολλαπλούς εχθρούς. Ο πιο επιβλαβής εχθρός της είναι ο Δάκος (*Dacus oleae* Gmele). Η προνύμφη του εντόμου προκαλεί πρόωμη καρπόπτωση και έντονη μείωση της παραγωγής. Το συγκεκριμένο έντομο έχει πολλές γενεές το καλοκαίρι και το φθινόπωρο. Σημαντικό ρόλο στην αποτελεσματική αντιμετώπιση του εντόμου έχει ο έγκαιρος εντοπισμός του, μέσω της παρακολούθησης του πληθυσμού και οι κατάλληλες εφαρμογές με ψεκασμούς. Ο πυρηνοτρήτης (*Prays oleaella*) είναι επίσης έντομο, το οποίο προσβάλει τα άνθη, τα φύλλα, τους βλαστούς και τον καρπό της ελιάς και προκαλεί καρπόπτωση. Η αντιμετώπιση του είναι εφικτή με εντομοκτόνα, αλλά και με κατάλληλα φυσικά παράσιτα. Επίσης, η βαμβακάδα (*Euphyllura olivina*) αποτελεί εχθρό της ελιάς και προκαλεί ανθόρροια, η οποία έχει αρνητικές επιπτώσεις στην παραγωγή των δένδρων. Τα διασυστηματικά εντομοκτόνα μπορούν να αντιμετωπίσουν τη βαμβακάδα. Τέλος, ακόμη ένας σημαντικός εχθρός που αξίζει να αναφερθεί είναι το λεκάνιο (*Saessetia oleae*, *Lekaniidae*) ανήκει στην κατηγορία των κοκκοειδών και προκαλεί σοβαρές ζημιές στις ελαιοκαλλιέργειες. Στις ασθένειες με τις σοβαρότερες επιπτώσεις ανήκει το κυκλοκόνιο. Προκαλείται έντονη φυλλόπτωση και μείωση της διαφοροποίησης των ανθών και της καρπόδεσης. Αντιμετωπίζεται με κατάλληλους ψεκασμούς σε συγκεκριμένες περιόδους. Διαδεδομένες επίσης για τις δυσμενείς συνέπειες τους στην ελιά είναι οι αδρομυκώσεις (*Verticillium* spp. – *Moniliaceae*, *Moniliales*). Στην αρχή, παρατηρείται νέκρωση των φύλλων

και τελικά επεκτείνεται σε ολόκληρο το δένδρο. Για την αποφυγή της εμφάνισης των μυκήτων που ευθύνονται για τις ασθένειες αυτές απαιτούνται συγκεκριμένοι χειρισμοί και πρακτικές στους ελαιώνες, οι οποίες αφορούν την καλύτερη διαχείριση του εδάφους, την έγκαιρη αντιμετώπιση των αγριόχορτων και την κατάλληλη λίπανση με προσθήκη καλίου και μείωση αζώτου. Είναι γεγονός, πως και στην περίπτωση των εχθρών και στην περίπτωση των ασθενειών είναι εφικτό να περιοριστούν οι δυσμενείς συνέπειες στο περιβάλλον και να ελαχιστοποιηθεί η οικονομική ζημιά, με την εφαρμογή της ολοκληρωμένης διαχείρισης αυτών. Οι μέθοδοι και οι πρακτικές με τις οποίες μπορεί να επιτευχθεί η ολοκληρωμένη διαχείριση είναι φυσικές, καλλιεργητικές, βιολογικές και βιοτεχνολογικές. Σύμφωνα με πρόσφατα κριτήρια επιζήμιοι είναι οι εχθροί όταν η πυκνότητα του πληθυσμού τους βρίσκεται σε επίπεδα που είναι εφικτό να προκαλέσουν οικονομική ζημιά. Ωστόσο, ο προσδιορισμός της οριακής οικονομικής ζημίας είναι δύσκολο να επιτευχθεί λόγω των διάφορων διακυμάνσεων των πληθυσμών, των διαδικασιών δειγματοληψίας, των διαφορών μεταξύ των ελαιοκομικών περιοχών και φυσικά λόγω του λειτουργικού κόστους (Θερίος, 2005).

Η παρενιαυτοφορία αποτελεί επίσης παράγοντα που προκαλεί πρόβλημα στην καλλιέργεια της ελιάς (Θερίος, 2005). Είναι το φαινόμενο κατά το οποίο η ελιά μετά από μία χρονιά με ικανοποιητική καρπόδεση και παραγωγή ακολουθεί η επόμενη χρονιά με περιορισμένη έως και μηδενική καρποφορία. Ερευνητές αναφέρουν πως οφείλεται στον ανταγωνισμό για θρεπτικά στοιχεία ή προϊόντα φωτοσύνθεσης και μεταβολισμού μεταξύ των ανθικών καταβολών της ετήσιας βλάστησης των καρπών του έτους και της βλαστικής ανάπτυξης της επόμενης χρονιάς (Kour et al., 2022). Είναι γεγονός, πως η ικανοποιητική παραγωγή των δένδρων έχει ως συνέπεια τη μείωση των αζωτούχων και συστατικών και των υδατανθράκων, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει απόθεμα των απαραίτητων αυτών ουσιών για παραγωγή τον επόμενο χρόνο (Θερίος, 2005). Παράγοντες, οι οποίοι ενισχύουν την εμφάνιση της παρενιαυτοφορίας είναι η θερμοκρασία, η οποία παίζει σημαντικό ρόλο καθώς η ελιά ευδοκιμεί σε συγκεκριμένα κλίματα και πρέπει να ικανοποιούνται οι ανάγκες της σε χαμηλές θερμοκρασίες την περίοδο του χειμώνα. Επίσης, η υδατική και η θερμική καταπόνηση των δένδρων σε οποιοδήποτε στάδιο επηρεάζει σημαντικά. Τέλος, η ανεπάρκεια των δένδρων σε θρεπτικά στοιχεία είναι ικανή να επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό (Kour et al., 2022). Το φαινόμενο αυτό είναι εφικτό να περιοριστεί με την εφαρμογή ορισμένων καλλιεργητικών πρακτικών και μεθόδων, οι οποίες συντελούν στην ευρωστία και στη διατήρηση της ισορροπίας μεταξύ της νέας βλάστησης και της καρποφορίας κάθε χρόνο. Αυτές περιλαμβάνουν :

- Ορθολογική λίπανση αζωτούχων λιπασμάτων στη κατάλληλη χρονική περίοδο

- Το μέτριο κλάδεμα στην παραγωγική χρονιά
- Επαρκής εδαφική υγρασία
- Έγκαιροι και ορθοί φυτοπροστατευτικοί ψεκασμοί
- Ιδιαίτερη έμφαση στην καταπολέμηση του κυκλοκονίου
- Ορθή κατεργασία του εδάφους

(“Η καλλιέργεια της ελιάς”, 2022).

Η σχινοκαρπία, η οποία έχει την ικανότητα να προκαλεί ανομοιομορφία στους καρπούς αποτελεί παράγοντα με αρνητικές επιπτώσεις στην καλλιέργεια της ελιάς. Οφείλεται σε μη αποδοτική σταυροεπικονίαση ή υπερβολική καρπόδεση ή μη ικανοποιητική θρέψη των φυτών (Θεριός, 2005).

Η ρύπανση της ατμόσφαιρας συντελεί σε μεγάλο βαθμό αρνητικά στις γεωργικές εκμεταλλεύσεις σε παγκόσμιο επίπεδο. Η μόλυνση με SO₂ έχει επιρροές στη μορφολογία και τη φυσιολογία των φυτών (Θεριός, 2005).

3.5 Κλίμα και έδαφος

Η ελιά αναπτύσσεται και ευδοκimeί ικανοποιητικά σε όλη την εύκρατο και υποτροπική ζώνη (μεταξύ 30° έως και 45° γεωγραφικό πλάτος). Ιδανικότερο κλίμα, στο οποίο παρατηρείται και η μεγαλύτερη συγκέντρωση της καλλιέργειας της ελιάς είναι στις παραμεσόγειες χώρες με ήπιο χειμώνα και ζεστό, θερμό καλοκαίρι. Οι περιοχές, όπου καλλιεργείται έχουν μέση ετήσια θερμοκρασία 15-20°C, ελάχιστη θερμοκρασία -4°C και μέγιστη 40°C. Είναι γεγονός, πως η αντοχή των δένδρων στις χαμηλές θερμοκρασίες εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως η διάρκεια των χαμηλών θερμοκρασιών, η ποικιλία των δέντρων (ποικιλίες ανθεκτικές και ευαίσθητες στις χαμηλές θερμοκρασίες), η ατμοσφαιρική υγρασία και η φυσιολογική φάση της ελιάς κατά την περίοδο των πολύ χαμηλών θερμοκρασιών. Αν η πτώση της θερμοκρασίας είναι σταδιακή, τότε η ελιά μπορεί να αντέξει και έως -12°C (Θεριός, 2005). Οι χαμηλές θερμοκρασίες το χειμώνα είναι απαραίτητες για τη διαφοροποίηση των ανθοφόρων οφθαλμών της ελιάς (7-16°C) και ανάλογα με την ποικιλία οι θερμοκρασίες αυτές και η διάρκεια αυτών διαφέρουν. Σε περίπτωση που δεν καλυφθούν οι απαιτούμενες αυτές χαμηλές ώρες θερμοκρασιών έχει ως συνέπεια τη μείωση της παραγωγής. Επιπλέον, η ελιά έχει απαίτηση και για υψηλές θερμοκρασίες την περίοδο της άνοιξης και του καλοκαιριού για την ανάπτυξη και ωρίμανση των καρπών της (“Η καλλιέργεια της ελιάς”, 2022). Αξίζει να σημειωθεί επίσης

πως οι περιοχές με μεγάλο υψόμετρο θεωρούνται ακατάλληλες λόγω του κινδύνου των παγετών και της βραχύτερης βλαστικής περιόδου (Θεριός, 2005).

Όσον αφορά τις εδαφικές απαιτήσεις της ελιάς, μπορεί να αναπτυχθεί σε ποικίλα εδάφη όπως σχετικά ξερά, φτωχά, ασβεστώδη, χαλκώδη και πετρώδη. Τα καταλληλότερα όμως εδάφη για ικανοποιητική ανάπτυξη των δένδρων είναι τα βαθιά αμμοπηλώδη, που είναι επαρκώς εφοδιασμένα με N,K,P και νερό. Τέλος, η ελιά αναπτύσσεται ικανοποιητικά σε εδάφη μετρίως όξινα ή αλκαλικά και σε εδάφη με σχετικά υψηλά επίπεδα βορίου (Θεριός, 2005).

3.6 Λίπανση

Η ελιά αποτελεί μία από τις πιο σημαντικές δενδρώδεις καλλιέργειες στη χώρα μας. Η λίπανση της είναι απαραίτητη για την ευρωστία της, την ικανοποιητική καρποφορία της και τον περιορισμό της παρενδυτοφορίας. Οι ποσότητες της λίπανσης εξαρτώνται από την ηλικία των δένδρων, τη γονιμότητα του εδάφους, την άρδευση ή μη του ελαιώνα. Οι ανάγκες της ελιάς σε θρεπτικά στοιχεία γίνονται εντονότερες ύστερα από μεγάλο όγκο παραγωγής, αφαίρεσης πολλών κλαδιών και φύλλων λόγω κλαδέματος, έντονης φυλλόπτωσης από παθολογικά αίτια και έλλειψης υγρασίας. Πιο αναλυτικά, οι μεγαλύτερες απαιτήσεις θρεπτικών στοιχείων της ελιάς είναι σε άζωτο (N), φώσφορο(P) και κάλιο(K) (Θεριός, 2005). Το άζωτο, είναι ύψιστης σημασίας για την ελιά, διότι ευνοεί ιδιαίτερα τη βλάστηση και την καρποφορία, βελτιώνει σημαντικά την παραγωγικότητα, αυξάνει τα ποσοστά των τέλειων ανθέων και μειώνει την παρενδυτοφορία. Επιπλέον, είναι εφικτή η μείωση της συχνότητας εμφάνισης του δάκου, εξαιτίας της καθυστέρησης της ωρίμανσης των καρπών, γεγονός που αποπροσανατολίζει τα έντομα για ωοτοκία πάνω στους καρπούς (Rodrigues et al., 2019). Έτσι, χορηγείται ετησίως στην κατάλληλη περίοδο και στην απαραίτητη ποσότητα για το κάθε δένδρο. Ο φώσφορος, έχει θετικές επιδράσεις στην ικανοποιητική αύξηση της ρίζας, στην επιτάχυνση της ωριμότητας του φυτού και η χορήγηση του είναι απαραίτητη μόνο όταν αυτό κριθεί απαραίτητο. Το κάλιο συμβάλλει θετικά στην καλλιέργεια της ελιάς με ποικίλους τρόπους. Πιο συγκεκριμένα, βελτιώνει την ποιότητα των καρπών, ενισχύει την αντοχή των φυτών στις ασθένειες και τις εσωτερικές κυτταρικές λειτουργίες των φυτών. Η ποσότητα της καλιούχου λίπανσης εξαρτάται από την συγκέντρωση καλίου των φύλλων. Από τα ιχνοστοιχεία το Βόριο έχει τη μεγαλύτερη σημασία για την ελιά. Το Βόριο ευνοεί την μετακίνηση και την απορρόφηση των άλλων ανόργανων στοιχείων και βοηθά στην περεταίρω ανάπτυξη του φυτού. Εφαρμογές με Βόριο έχουν την ικανότητα να αυξήσουν την ποσότητα και την ποιότητα της περιεκτικότητας του καρπού σε λάδι (Saadati et al., 2013). Συνοπτικά, για να είναι εφικτός

ο προγραμματισμός της λίπανσης ορθολογικά ενός ελαιώνα πρέπει να αξιοποιηθούν ορισμένοι παράγοντες. Πιο συγκεκριμένα, το ιστορικό της εκμετάλλευσης, οι εδαφοκλιματικές συνθήκες (εδαφική υγρασία, μηχανική και χημική σύσταση του εδάφους, κλιματικές συνθήκες) και το ύψος της παραγωγής. Σημαντικές πληροφορίες για τις λιπαντικές ανάγκες του κάθε φυτού στον ελαιώνα μπορούν να αποκτηθούν από την εφαρμογή εδαφολογικών χαρτών (Καρατασιού και Κάλφας, 2018).

3.7 Άρδευση

Ιδιαίτερη σημασία για τους φυτικούς οργανισμούς έχει το νερό. Είναι γεγονός, πως το νερό απαρτίζει το 85-90% του βάρους των ζωντανών ιστών, εξασφαλίζει η ύπαρξη του τη σπαργή των κυττάρων και είναι θεμελιώδης για την υδρόλυση του αμύλου σε σάκχαρα. Οι ανάγκες της ελιάς σε νερό είναι εξασφαλισμένες με ετήσια βροχόπτωση 450-650χιλ./έτος. Σε περιοχές με ετήσια βροχόπτωση <450χιλ. θα πρέπει να συμπληρώνονται οι απαιτούμενες ποσότητες μέσω της άρδευσης. Ο υπολογισμός των απαραίτητων ποσοτήτων νερού γίνεται με συντελεστές τη διαπνοή και την εξατμισοδιαπνοή (απώλειες από την επιφάνεια του εδάφους με εξάτμιση). Οι παράγοντες, οι οποίοι έχουν επίδραση στην κατανάλωση νερού από τα φυτά είναι η σχετική υγρασία, ο άνεμος, η θερμοκρασία, η ηλιοφάνεια. Ιδιαίτερη επιρροή στην διαπνοή έχει η λίπανση, με αποτέλεσμα σε εδάφη με υψηλά επίπεδα θρεπτικών στοιχείων να μην απαιτείται υψηλή ποσότητα νερού. Επίσης, τα φυτά με επαρκή υγρασία έχουν καλύτερη αντοχή στο ψύχος σε σύγκριση με αυτά που βρίσκονται σε συνθήκες ξηρασίας. Επιπλέον, η υπερβολική υγρασία προκαλεί συρρίκνωση καρπών κακό αερισμό του εδάφους. Είναι γεγονός, πως οι ελιές εξαιτίας της μικρής επιφάνειας των φύλλων είναι εφικτό να ανεχθούν τη ξηρασία και τις υψηλές θερμοκρασίες. Ωστόσο, για ικανοποιητική σοδειά ιδιαίτερα στις επιτραπέζιες ελιάς είναι απαραίτητη η καλή άρδευση (Θεριός, 2005). Οι τεχνικές των αρδεύσεων και οι συχνότητες ποτίσματος διαφέρουν ανάλογα με το σύστημα φύτευσης (πυκνότητα δέντρων) και τον αρδευτικό εξοπλισμό της καλλιέργειας. Τα πιο διαδεδομένα συστήματα άρδευσης είναι τα παρακάτω :

1. Τεχνητή βροχή. Κατάλληλη για ελαφρύ έδαφος
2. Στάγδην άρδευση (σύστημα ποτίσματος με χρήση σταγόνων). Απαραίτητη προϋπόθεση για πυκνές-υπέρπυκνες φυτεύσεις γραμμικών ελαιώνων (Κωστελένος και Βλασάκη, 2011)
3. Λεκάνες σε εδάφη με κλίση έως 3%

3.8 Συστήματα φύτευσης

Παρακάτω παρουσιάζονται τα πιο διαδεδομένα συστήματα φύτευσης ελαιώνων, με ορισμένα από τα κυριότερα χαρακτηριστικά τους :

A) Παραδοσιακά Συστήματα: Χαρακτηρίζονται από χαμηλή πυκνότητα φύτευσης και ο αριθμός των φυτών/εκτάριο δεν ξεπερνά τα 300 με αποστάσεις φύτευσης 5-7x6-8m. Τα δένδρα φυτεύονται στις γωνίες ενός τετραγώνου (κατά τετράγωνα) (Θεριός, 2005). Οι παραδοσιακοί ελαιώνες απαντώνται σε ξηρές και περιθωριακές περιοχές, στις οποίες προσέδωσαν αξία στο πρόσφατο παρελθόν. Σε βορειότερα περιβάλλοντα με θερμοκρασίες χαμηλότερες από τις ιδανικές για την ανάπτυξη της ελιάς είναι απαραίτητη η πιο πυκνή φύτευση λόγω περιορισμένης βλαστικής ανάπτυξης των δέντρων. Αντίθετα, σε υψηλότερες θερμοκρασίες, μέτριες βροχοπτώσεις και περιόδους ξηρασίας η χαμηλή πυκνότητα είναι σημαντικό να εφαρμόζεται, διότι περιορίζονται έτσι τα προβλήματα υδατικής καταπόνησης. Το συγκεκριμένο σύστημα έχει ορισμένα μειονεκτήματα που αξίζει να αναφερθούν. Πρώτον, παρουσιάζεται στους ελαιώνες έντονα το φαινόμενο της παρενιαυτοφορίας εξαιτίας κυρίως της μειωμένης άρδευσης, του κλαδέματος ανά 4-5 χρόνια και της ηλικίας των δέντρων, η οποία οδηγεί στην αποσύνθεση του ξύλου, το οποίο παρεμποδίζει την μεταφορά των απαραίτητων θρεπτικών ουσιών μεταξύ των οργάνων στο εσωτερικό των δέντρων. Δεύτερον, η αδυναμία μηχανοποίησης των εργασιών της συγκομιδής καθιστά το παραδοσιακό σύστημα μη οικονομικό. Επιπλέον, το κλάδεμα είναι επικίνδυνο και δύσκολο στα πολύ υψηλά δέντρα και έτσι τείνει να εφαρμόζεται κάθε 4-5 χρόνια. Τέλος, οι εφαρμογές φαρμάκων και λιπασμάτων γίνονται με μεγάλης εμβέλειας ψεκαστικά λόγω του μεγέθους των δέντρων, με αποτέλεσμα να εφαρμόζονται μεγαλύτερες ποσότητες με αρνητικές συνέπειες τόσο στο περιβάλλον όσο και στο κόστος της παραγωγής (Lo Bianco et al., 2021).

B) Πυκνά Συστήματα: Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι ελαιώνες με πυκνότητα φύτευσης 300-1000 δένδρα./εκτάριο και τα δένδρα είναι διατεταγμένα σε τετράγωνα ή ορθογώνια ανάλογα με την πυκνότητα φύτευσης και τη μορφή που εφαρμόζεται. Υπάρχουν τρεις κατηγορίες πυκνών φυτεύσεων: χαμηλή, μεσαία και υψηλή πυκνότητα φύτευσης. Στης χαμηλής πυκνότητας ο αριθμός των δένδρων είναι περίπου 400 ανά εκτάριο με αποστάσεις φύτευσης 5-7x5-7m και διαμόρφωσης σφαιρικό, σε περιοχές με υψηλή ένταση φωτός και χαμηλή ατμοσφαιρική υγρασία και κυπελλοειδές, ιδανικό για περιοχές με χαμηλή ένταση

φωτός και υγρασίας. Η συγκομιδή πραγματοποιείται με μηχανικούς δονητές και με το κατάλληλο μέγεθος των δένδρων είναι εφικτό το κλάδεμα από το έδαφος. Στη μεσαίας πυκνότητας φύτευσης εφαρμόζονται δύο σχήματα διαμόρφωσης το κυπελλοειδές και το μονοκωνικό. Σχετικά με το κυπελλοειδές σχήμα διαμόρφωσης εφαρμόζεται σε έως και 500 δένδρα ανά εκτάριο. Για υψηλότερες πυκνότητες έως και 800 φυτά ανά εκτάριο επιλέγεται το μονοκωνικό. Στα υψηλής πυκνότητας συστήματα φύτευσης επιλέγεται αποκλειστικά το μονοκωνικό, δένδρο με κεντρικό άξονα και πλάγια βλάστηση με μορφή ατράκτου. Οι πυκνότητες είναι 400-800 δένδρα ανά εκτάριο και οι αποστάσεις φύτευσης 5-6x2-3m. Στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι εφικτή η μηχανοποίηση της συγκομιδής με αυτοκινούμενους δονητές κορμού “sidebyside”. Επίσης, το κλάδεμα εν μέρη μπορεί να μηχανοποιηθεί με ελκυστήρα. Έτσι, κατά την επιλογή του κατάλληλου συστήματος φύτευσης είναι δυνατή η επιλογή δύο κατηγοριών, η οποία εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα της άρδευσης. Η πρώτη περιλαμβάνει φυτεύσεις με πυκνότητα 300-400 δένδρα ανά εκτάριο, με συνθήκες βροχοπτώσεων με διαμόρφωση σφαιρική ή κυπελλοειδή. Η δεύτερη, σχετίζεται με φυτεύσεις πυκνότητας 400-800 δένδρα ανά εκτάριο, με δυνατότητα παροχής άρδευσης και διαμόρφωση μονοκωνικό ή πολυκωνικό κύπελλο (Lo Bianco et al., 2021).

Γ) Υπέρπυκνα Γραμμικά Συστήματα :

Το συγκεκριμένο υπέρπυκνο σύστημα καλλιέργειας αφορά συγκεκριμένες ποικιλίες ελιάς με πιο διαδεδομένες τις Arbequina, Arbequina IRTA i-18, Arbosana, Fs-17 και Κορωνέικη. Πρωτοπόροι της συγκεκριμένης μεθόδου των υπέρπυκνων γραμμικών φυτεύσεων είναι Ιταλοί ερευνητές του τότε IRO-CNR στην Perugia της Ιταλίας, οι οποίοι στις αρχές της δεκαετίας του 1980 πειραματικά την εφάρμοσαν. Επίσης, στην περιοχή της Ιταλίας έγινε και η πρώτη δοκιμαστική μηχανική συγκομιδή με μηχανή Pasquali το 1984, 10 χρόνια πριν την έναρξη των πρώτων φυτεύσεων των Ισπανών. Οι Ισπανοί στα μέσα της δεκαετίας του 1990 ξεκίνησαν να πειραματίζονται με αυτή τη μέθοδο φύτευσης και φύτευσαν χιλιάδες στρέμματα αφενός στην Ισπανία και αφετέρου και σε άλλες χώρες της μεσογείου και του νέου κόσμου (Αυστραλία, Η.Π.Α., κτλ.) (Κωστελένος και Βλασάκη, 2011). Οι συχνότερες αποστάσεις φύτευσης είναι 4-5x1,5-2m και οι πυκνότητες των φυτών κυμαίνονται από 800-1200 δένδρα ανά εκτάριο (Lo Bianco et al., 2021). Ίσως για την Ελλάδα να είναι προτιμότερο οι υπέρπυκνες φυτεύσεις να γίνονται στα 5x1,5m (66 δένδρα το στρέμμα), με τη σκέψη ότι μελλοντικά εάν χρειαστεί είναι εφικτό να αραιωθούν προοδευτικά σε πυκνή φύτευση ή και σε συμβατική καλλιέργεια. Απαραίτητες προϋποθέσεις για την εγκατάσταση υπέρπυκνων

γραμμικών καλλιεργειών είναι η δυνατότητα άρδευσης (600 κυβικά νερού οι απαιτήσεις του κάθε στρέμματος σύμφωνα με τους Ισπανούς), όλα τα λιπάσματα χορηγούνται με υδρολιπάνσεις και η ζιζανιοκτονία εφαρμόζεται με χημικά μέσα. Σε πλήρη καρποφορία ένας υπέρπυκνος ελαιώνας αποδίδει από 660 έως 1500 κιλά καρπού το χρόνο. Ωστόσο, η εμπορική του εκμετάλλευση διαρκεί από 15 έως 20 χρόνια (Κωστελένος και Βλασάκη, 2011). Στόχος των συστημάτων αυτών καλλιέργειας είναι η πλήρης εκμηχάνιση της συγκομιδής με σκοπό την αντιμετώπιση των ελλείψεων του εργατικού δυναμικού και της μείωσης του κόστους παραγωγής (Marino et al., 2017). Τέλος, τα συστήματα αυτά μπορούν να εισέλθουν σε πλήρη παραγωγή σε λιγότερα χρόνια από αυτά των παραδοσιακών συστημάτων φύτευσης (Rufat et al., 2014).

3.9 Συγκομιδή της Ελιάς

Είναι γεγονός, πως η συγκομιδή του καρπού της ελιάς αποτελεί το 50-80% του συνολικού κόστους παραγωγής (Καρατασίου και Κάλφας, 2018). Κατά την ωρίμανση το χρώμα του φλοιού και της σάρκας μεταβάλλεται από πράσινο σε ιώδες ως μελανοιώδες και ο φλοιός γίνεται στιλπνός. Ο καρπός ωριμάζει σε 7-8 μήνες από την άνθηση και η συγκομιδή του πραγματοποιείται είτε όταν είναι πράσινος, αφού έχει αποκτήσει το μέγιστο μέγεθος για παρασκευή πράσινων ελαιών είτε πλήρως ώριμος για παραγωγή λαδιού ή μαύρων ελαίων (Θεριός, 2005). Ύψιστης σημασίας για την παραγωγή της επόμενης χρονιάς είναι η περίοδος της συγκομιδής, διότι είναι εφικτό να προκληθεί περιορισμός της ανθοφορίας της επόμενης χρονιάς εάν οι καρποί παραμείνουν για μεγάλο χρονικό διάστημα στο δένδρο και δεν συγκομιστούν εγκαίρως. Επιπλέον, η παρατεταμένη παραμονή των καρπών στο δέντρο αυξάνει και τις πιθανότητες για προσβολές από το έντομο του δάκου και την άνοιξη, διότι συνεχίζει την ωστοκία του στους καρπούς μεταξύ δύο καλλιεργητικών περιόδων (Καρατασίου και Κάλφας, 2018).

Τα χαρακτηριστικά των επιτραπέζιων ελαιών για συγκομιδή είναι τα ακόλουθα :

1. Ο λόγος της σάρκας προς του πυρήνα κυμαίνεται από μεταξύ 5 και 12. Η κυρίως βρώσιμη κονσερβολιά φτάνει 10 με 12 τιμή.
2. Η περιεκτικότητα σε σάκχαρα 5 έως 6%. Όσο το δυνατόν υψηλότερα ποσοστά, διότι είναι επιθυμητά κατά τη γαλακτική ζύμωση για την παραγωγή γαλακτικού οξέος (Βασιλακάκης, 2016).
3. Περιεκτικότητα σε λάδι μικρή 12-20% του βάρους της ελαιομάζας, διότι αντιθέτως επηρεάζεται δυσμενώς η συντήρηση του προϊόντος και η συνεκτικότητα της σάρκας.

4. Η τραγανή σάρκα είναι επίσης επιθυμητό χαρακτηριστικό των βρώσιμων ελιών και λεπτή έως μέτρια επιδερμίδα, για να μην αλλοιώνεται κατά την επεξεργασία του καρπού.

5. Εύκολος αποχωρισμός του πυρήνα από τη σάρκα

(Θεριός, 2005)

Ο ακριβής προσδιορισμός της περιόδου συγκομιδής των πράσινων επιτραπέζιων ελαιών γίνεται με οπτική παρακολούθηση, λίγο πριν τον περκασμό (μεταβολής του πράσινου χρώματος) και όταν βρίσκεται στο μέγιστο μέγεθος του. Αντίθετα, οι μαύρες συγκομίζονται όταν η σάρκα έχει μαυρίσει έως τα 2/3 της πριν αρχίσει να μαλακώνει. Τέλος, υπάρχουν και περιπτώσεις μαύρων ελιών που συγκομίζονται σε πιο προχωρημένο στάδιο ωρίμανσης (Καρατασίου και Κάλφας, 2018).

Οι ελιές που προορίζονται για την παραγωγή λαδιού συγκομίζονται τελείως ώριμες. Η καταλληλότερη εποχή είναι εκείνη κατά την οποία ο καρπός έχει πάρει το οριστικό του μέγεθος και έχει ολοκληρωθεί ο σχηματισμός λαδιού.

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τη συγκομιδή των ελαιόκαρπων που προορίζονται για επιτραπέζια χρήση είναι ιδιαίτερα δαπανηροί, διότι απαιτείται εργατικό δυναμικό. Η συγκομιδή γίνεται με το χέρι είτε με τη βοήθεια ειδικών κτενών. Απλώνονται πανιά ή λινάτσες και οι καρποί αφού πέσουν στα πανιά καθαρίζονται από ξένες ύλες και τοποθετούνται σε ειδικά σακιά. Στις ελαιοποιήσιμες ποικιλίες η συγκομιδή πραγματοποιείται με ειδικές κτένες, με ραβδισμό ή αφήνονται να πέσουν μόνες τους. Τα τελευταία χρόνια γίνεται εφαρμογή της μηχανικής συγκομιδής με ελαιοραβδιστικά και δονητές. Η μηχανική συγκομιδή με περιστρεφόμενα πτερύγια είναι ιδανική στην ελιά, ιδιαίτερα στις μικρόκαρπες ποικιλίες (Βασιλακάκης, 2016).

Ακόμη, για τις υπέρπυκνες φυτεύσεις χρησιμοποιούνται μηχανές συγκομιδής που κινούνται πάνω από τα δέντρα (Καρατασίου και Κάλφας, 2018). Οι ελαιοσυλλεκτικές μηχανές συγκομίζουν 2,5 έως και 3 στρέμματα την ώρα με δύο άτομα προσωπικό. Επίσης, είναι εφικτή η συγκομιδή από 20 έως και 40 στρέμματα την ημέρα ή 3300 έως 8000 ελαιόδεντρα. Οι αποδόσεις περίπου των μηχανών αυτών φτάνουν και το 95% συγκομιδής καρπών (Κωστελένος και Βλασάκη, 2011). Συμπερασματικά, η πλήρης μηχανοποίηση της συγκομιδής έχει πολλαπλά οφέλη στο κόστος, εξαιτίας του μειωμένου εργατικού δυναμικού και των λιγότερων ωρών εργασίας και στην ποιότητα, διότι οι βέλτιστοι ρυθμοί συγκομιδής καθιστούν δυνατή τη συγκομιδή στην κατάλληλη περίοδο ωρίμανσης των καρπών (Almeida et al., 2015).

3.10 Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις από την καλλιέργεια της ελιάς

Υψιστης σημασίας για τον άνθρωπο και γενικότερα για το περιβάλλον είναι η μόλυνση που οφείλεται από τις υπερβολικές λιπάνσεις, ιδιαίτερα από τα νιτρικά λιπάσματα. Η αλόγιστη χρήση αυτών έχει επιφέρει σοβαρά προβλήματα μόλυνσης του υπεδάφους και του υδροφόρου ορίζοντα, καθώς επίσης και την είσοδο των νιτρικών στη διατροφική αλυσίδα (Θεριός, 2005). Πιο αναλυτικά, οι αέριες μορφές αζώτου που εξέρχονται από τα εδάφη, κυρίως τα οξειδία αζώτου έχουν έμμεσο αντίκτυπο στην υπερθέρμανση του πλανήτη και στην καταστροφή της στοιβάδας του όζοντος. Το άζωτο που διαφεύγει από τα εδάφη των καλλιεργειών επιφέρει μόλυνση στα υδάτινα στρώματα προκαλώντας ευτροφισμό (Rodrigues, 2019). Η είσοδος των νιτρικών στον ανθρώπινο οργανισμό είναι ιδιαίτερα επιβλαβής, διότι μετατρέπονται σε νιτροσαμίνες, οι οποίες θεωρούνται καρκινογόνες ουσίες (Θεριός, 2005). Αξίζει να σημειωθεί πως τα πυκνά και υπέρπυκνα συστήματα φύτευσης παρουσιάζουν σοβαρότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε σύγκριση με τα παραδοσιακά συστήματα και έτσι πρακτικές που στοχεύουν στη βελτίωση της λίπανσης είναι πρωταρχικής σημασίας (Romero-Gamez et al., 2017). Τέλος, ιδιαίτερα αρνητικό περιβαλλοντικό αντίκτυπο έχει ο όγκος των στερεών και υγρών αποβλήτων που παράγεται κατά τη λειτουργία των ελαιοτριβείων στην επεξεργασία των ελαιόκαρπων (Θεριός, 2005).

4. Ελαιόλαδο

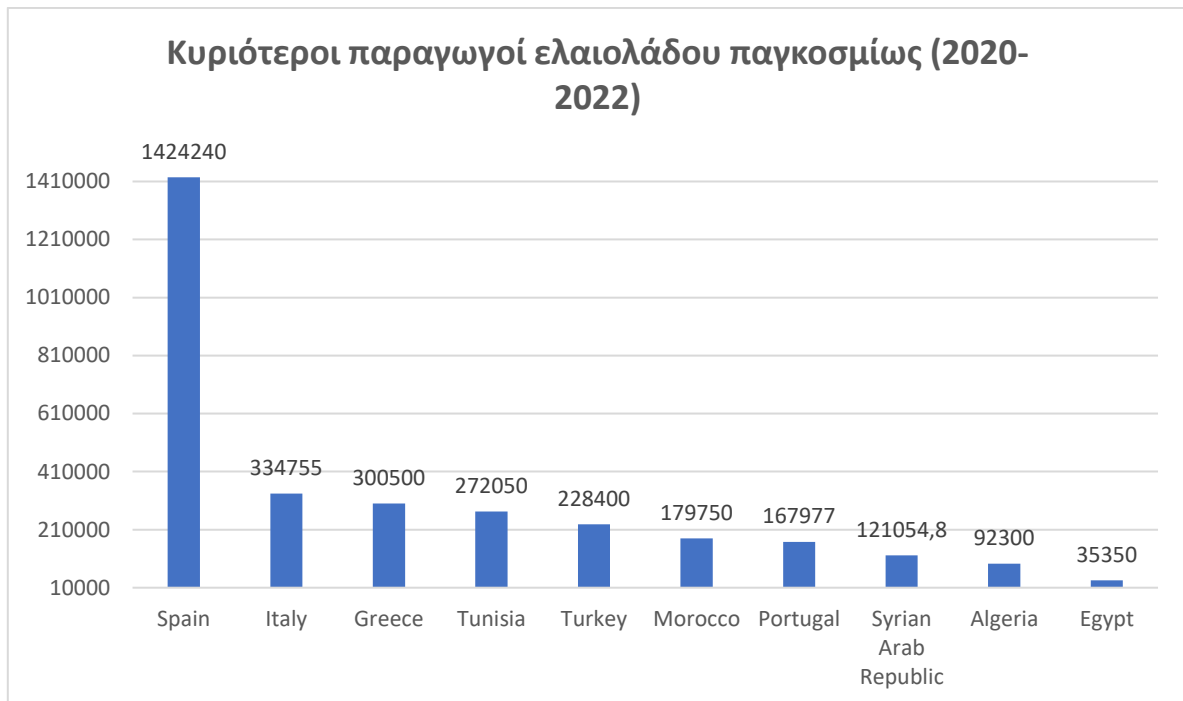
4.1 Παραγωγή ελαιόλαδου στην Ελλάδα

Είναι γεγονός, πως το ελαιόλαδο είναι προϊόν υψηλής διατροφικής αξίας και προσφέρεται η δυνατότητα διατήρησης του έως και δύο έτη. Ένας από τους πολλούς λόγους για τους οποίους έχουν επεκταθεί οι ελαιοκαλλιέργειες και σε περιοχές που δεν καλλιεργούνταν πρωτύτερα ακόμα και από ανθρώπους που δεν έχουν την ιδιότητα των αγροτών είναι η προτίμηση των Ελλήνων να παράγουν οι ίδιοι το λάδι που καταναλώνουν παρά να το αγοράζουν. Το πλήθος ποιοτικών ελληνικών ποικιλιών ελιάς δίνει τη δυνατότητα παραγωγής διαφορετικών ελαιόλαδων, τα οποία χαρακτηρίζονται από ποιότητα και μοναδικότητα και με διάφορες γεύσεις και χαρακτηριστικά. Έτσι, η Ελλάδα καθίσταται ικανή να ανταγωνιστεί χώρες με μεγάλες ποσότητες παραγωγής ελαιόλαδου, εξαιτίας των ποιοτικότερων και μοναδικών προϊόντων που μπορεί να παράγει (Κωστελένος, 2011). Το 80% της ελληνικής παραγωγής είναι έξτρα παρθένο ελαιόλαδο (οξύτητας 0-1 βαθμών) σε σύγκριση με το 50% της Ιταλίας και το 40% της Ισπανίας (Θεριός, 2005). Η Ελλάδα είναι η τρίτη μεγαλύτερη παραγωγός χώρα ελαιόλαδου μετά την Ισπανία και την Ιταλία, παράγοντας κατά μέσο όρο 300 χιλιάδες τόνους ελαιόλαδου (“Olive oil prices-December 2022”, 2022). Είναι η χώρα με τη μεγαλύτερη κατά κεφαλήν κατανάλωση ελαιόλαδου κατά μέσο όρο με 18κιά/κεφαλή, ενώ η μέση κατανάλωση παγκοσμίως ανέρχεται σε 4 κιά/κεφαλή (Villar et al., 2018).

4.2 Παραγωγή ελαιόλαδου Παγκοσμίως

Το ποσοστό της παραγωγής του ελαιόλαδου παγκοσμίως ανέρχεται στο 87% της καλλιέργειας των ελαιόδεντρων (Villar et al., 2018). Η Ισπανία, η Ιταλία και η Ελλάδα παράγουν πάνω από το 60% του συνολικού ελαιόλαδου που παράγεται παγκοσμίως (Giacomo and Romano, 2022). Η Χάεν της Ανδαλουσίας (νότια Ισπανία), αποτελεί τη μεγαλύτερη παράγωγο περιοχή παγκοσμίως, καθώς αντιπροσωπεύει το 20% της παγκόσμιας παραγωγής ελαιόλαδου, με συνολική έκταση 550.000 εκτάρια (Fernandez-Lobato et al., 2024). Στις χώρες αυτές η παραγωγή του ελαιόλαδου είναι ιδιαίτερα σημαντική για την αγροτική τους οικονομία, καθώς οι αγροτικές καλλιεργούμενες τους εκτάσεις σε ποσοστό τουλάχιστον 5% δεσμεύεται για την καλλιέργεια ελαιόδεντρων και περίπου 2,5 εκατομμύρια ανθρώπινο δυναμικό εμπλέκεται

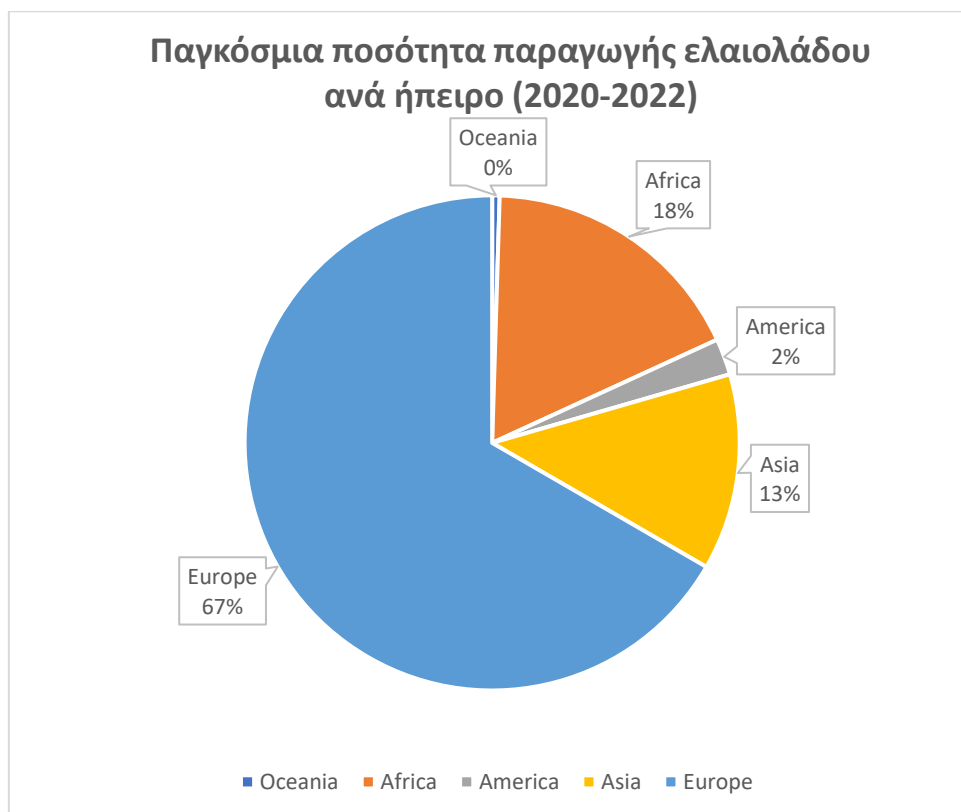
επαγγελματικά στην αλυσίδα εφοδιασμού του ελαιόλαδου στην Ευρωπαϊκή Ένωση (Rallatou and Tzouvelekas, 2016).



Διάγραμμα 1: Κυριότεροι παραγωγοί ελαιόλαδου παγκοσμίως (2020-2022) (FAOSTAT, 2024).

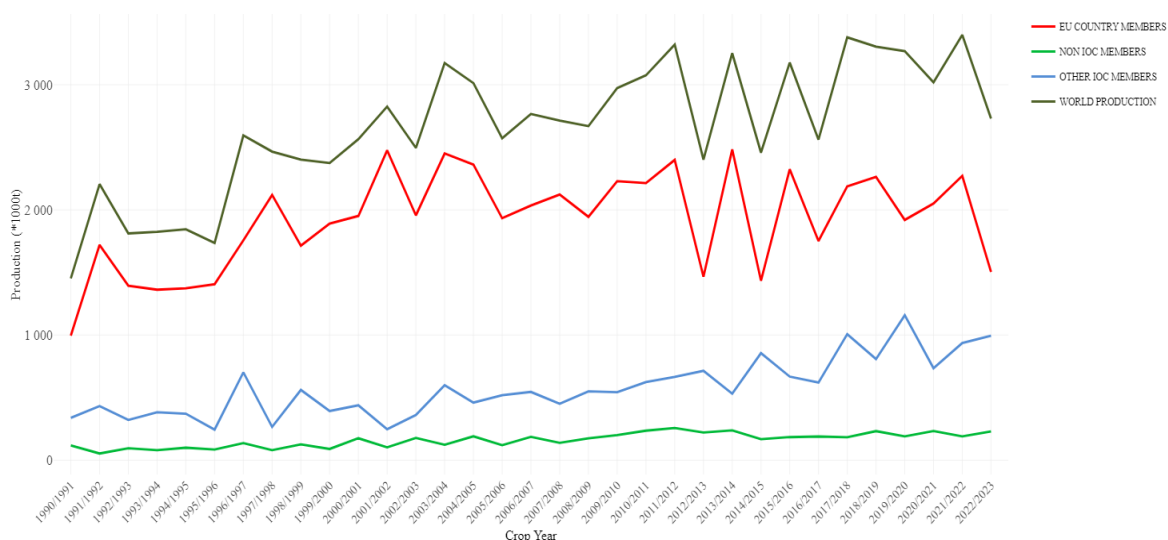
Άλλες χώρες της νότιας Μεσογείου όπως η Συρία, η Τυνησία, η Τουρκία, το Μαρόκο και η Αλγερία αντιπροσωπεύουν το 26,3% της συνολικής παραγωγής (Monge, 2024).

Επίσης, είναι σημαντικό να αναφερθεί πως ο όγκος της συγκομιδής ποικίλει συνεχώς, παρόλο που η εντατικοποίηση και οι εφαρμογές νέων καλλιεργητικών τεχνικών στην ελιά αυξάνονται με ταχύτατους ρυθμούς. Το γεγονός αυτό, οφείλεται στην ευαισθησία στις μετεωρολογικές συνθήκες κάθε εποχής, ειδικά στο μεσογειακό κλίμα, το οποίο αντιπροσωπεύεται από συνεχείς διακυμάνσεις (Sánchez-Martínez and Garrido-Almonacid, 2018).



Διάγραμμα 2: Παγκόσμια ποσοστά παραγωγής ανά ήπειρο (2020-2022) (FAOSTAT, 2024)

Στο επόμενο διάγραμμα παρουσιάζεται η πορεία της παραγωγής ελαιολάδου παγκοσμίως από το 1990 έως και το 2023.



Εικόνα 5: Παγκόσμια παραγωγή ελαιολάδου (πηγή : <https://www.internationaloliveoil.org/wp-content/uploads/2022/12/IOC-Olive-Oil-Dashboard-2.html#production-1>)

Πιο συγκεκριμένα, την περίοδο 2022/2023 παρατηρήθηκε μείωση της παραγωγής της τάξης του 20% (International Olive Oil). Η έντονη ξηρασία και οι υψηλές θερμοκρασίες που παρατηρήθηκαν το έτος 2023, καθώς επίσης και οι πυρκαγιές σε διάφορες περιοχές

παγκοσμίως προκάλεσαν ραγδαία μείωση της παραγωγής ελαιόλαδου, κυρίως στο νότιο μέρος της Ευρώπης. Στην Ευρώπη η παραγωγή ελαιόλαδου σημείωσε τα χαμηλότερα επίπεδα παραγωγής από το 1994/95 (Nteve et al., 2024).

4.3 Παγκόσμιο εμπόριο του ελαιόλαδου

Είναι γεγονός, πως το ελαιόλαδο αναγνωρίζει τεράστια ζήτηση παγκοσμίως αφενός για τις ευεργετικές του ιδιότητες και τα θρεπτικά του συστατικά για τον ανθρώπινο οργανισμό και αφετέρου για τη γαστρονομική θέση που έχει κατακτήσει τα τελευταία χρόνια στις παγκόσμιες κουζίνες (Sánchez-Martínez and Garrido-Almonacid, 2018). Η ζήτηση του ελαιόλαδο έχει εξαπλωθεί πέρα από τη Μεσόγειο, λόγω της τεράστιας προώθησης που έχει υποστεί, εξαιτίας της μεσογειακής διατροφής και τα πολλαπλά οφέλη που προσφέρει στον ανθρώπινο οργανισμό, σε αγορές που παραδοσιακά δεν υπήρχε (Monge, 2024). Τα πλεονεκτήματα που έχει η ένταξη του ελαιόλαδου στη διατροφή το έχουν καταστήσει ως ένα από τα σπουδαιότερα προϊόντα διατροφής όσον αφορά τη ζήτηση (Rallatou and Tzouvelekas, 2016). Η ζήτηση του ελαιόλαδου στην Ευρωπαϊκή ένωση και στις χώρες παραγωγής προσδιορίζει την παγκόσμια κατανάλωση. Στις Ηνωμένες Πολιτείες τα τελευταία 20 χρόνια η κατανάλωση ελαιόλαδου είχε ραγδαία αύξηση, με αποτέλεσμα να ξεπεράσει την Ελλάδα, η οποία κατείχε την τρίτη θέση μετά την Ιταλία και την Ισπανία (Monge, 2024). Η παγκόσμια κατανάλωση ελαιόλαδου σύμφωνα με στοιχεία του Διεθνούς Συμβουλίου Ελαιόλαδου από 1,6 εκατομμύρια τόνους το 1990/1991 έφτασε τους 3,2 εκατομμύρια τόνους το 2021/2022. Σε παγκόσμια κλίμακα το 75% των εξαγωγών αντιπροσωπεύεται από την Ισπανία, την Ιταλία, την Ελλάδα και την Πορτογαλία και το 95% αντίστοιχα από τις ίδιες χώρες εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Rallatou and Tzouvelekas, 2016).

4.4 Πορεία τιμών ελαιόλαδου τα τελευταία χρόνια

Στην Ευρώπη, η οποία παρουσιάζει και τη μεγαλύτερη παραγωγή ελαιόλαδου παγκοσμίως περιλαμβάνει τρία κέντρα, τα οποία καλύπτουν το 60% της παγκόσμιας παραγωγής. Αυτά είναι η Χαέν της Ισπανίας, το Μπάρι της Ιταλίας και η Κρήτη της Ελλάδος. Τα τρία αυτά κέντρα, κυρίως η Ισπανία, έχουν το μεγαλύτερο αντίκτυπο και ασκούν τη σημαντικότερη επιρροή στις άλλες χώρες παραγωγής και εξαγωγών ελαιόλαδου. Από την 2011/2012 καλλιεργητική περίοδο μέχρι την 2022/2023 περίοδο, το έξτρα παρθένο ελαιόλαδο στη Χαέν

της Ισπανίας είχε ως χαμηλότερη τιμή τα 1,743€/kg και ως υψηλότερη τα 8,52€/kg, ενώ σύμφωνα με τις τελευταίες μετρήσεις του Διεθνούς Συμβουλίου Ελαιόλαδου έφτασε την τιμή των 7,975€/kg, αύξηση 80,2% συγκρινόμενη με τις τιμές της ίδιας περιόδου της προηγούμενης καλλιεργητικής περιόδου. Στο Μπάρι της Ιταλίας η χαμηλότερη τιμή για το έξτρα παρθένο ελαιόλαδο από την περίοδο 2011/2012 έως και την 2022/2023 ήταν 2,3€/kg και η υψηλότερη 9,08€/kg. Με βάση τις πιο πρόσφατες μελέτες η τιμή κυμαίνεται στα 8,7€/kg, σημειώνοντας αύξηση 63,8% σε σύγκριση με την προηγούμενη καλλιεργητική περίοδο. Τέλος, στα Χανιά της Κρήτης μεταξύ των περιόδων 2011/2012 και 2022/2023 η ελάχιστη τιμή που εκτιμήθηκε ήταν η 1,82€/kg και η μέγιστη τιμή ήταν στα 7,95€/kg. Το ποσοστό της αύξησης που παρατηρήθηκε στις τιμές του έξτρα παρθένου ελαιόλαδου στην περιοχή των Χανίων είναι 123,2% σε σύγκριση με την προηγούμενη καλλιεργητική περίοδο καθώς η τιμή αγγίζει τα 7,7€/kg. Παρακάτω παρουσιάζεται η μέση μηνιαία πορεία των τιμών του έξτρα παρθένου ελαιόλαδου σύμφωνα με τα στοιχεία του Διεθνούς Συμβουλίου Ελαιόλαδου από την περίοδο 2012/2013 έως και 2023/2024 της Χάεν της Ισπανίας σε ευρώ ανά 100kg:

	2012/2013	2013/2014	2014/2015	2015/2016	2016/2017	2017/2018	2018/2019	2019/2020	2020/2021	2021/2022	2022/2023	2023/2024
Οκτώβριος	254.6	234.9	263.9	378.6	315.1	372.4	264.9	214.1	222.3	316.2	447.1	802.25
Νοέμβριος	241.8	231.9	285.8	333.5	326.5	362.0	274.1	207.1	236.7	309.8	473.0	NA
Δεκέμβριος	248.2	211.0	305.7	307.6	341.9	357.0	280.8	209.2	250.2	328.6	520.5	NA
Ιανουάριος	290.5	202.3	322.0	328.2	355.1	362.9	267.0	204.9	251.4	334.5	527.6	NA
Φεβρουάριος	298.0	204.3	324.1	328.8	376.3	357.5	262.1	204.0	266.0	322.6	521.2	NA
Μάρτιος	295.4	200.1	324.5	321.4	383.9	320.5	245.4	213.6	272.9	353.8	522.5	NA
Απρίλιος	288.0	203.0	332.2	315.7	390.1	303.7	235.4	205.9	296.5	346.6	533.6	NA
Μάιος	277.4	197.9	353.8	300.0	400.7	273.0	229.5	199.2	335.6	339.2	587.6	NA
Ιούνιος	274.9	209.1	354.5	299.4	394.7	270.9	219.1	196.2	328.4	334.4	630.7	NA
Ιούλιος	270.5	237.6	373.4	310.1	383.2	279.0	227.5	190.6	327.5	357.0	709.9	NA
Αύγουστος	261.6	264.0	415.4	311.5	382.0	276.9	224.9	198.2	322.1	375.1	782.3	NA
Σεπτέμβριος	258.7	270.2	414.3	317.4	373.4	276.2	222.6	207.1	325.1	393.7	841.1	NA
Μέση Τιμή	271.6	222.2	339.1	321.0	368.6	317.7	246.1	204.2	286.2	342.6	591.4	802.25

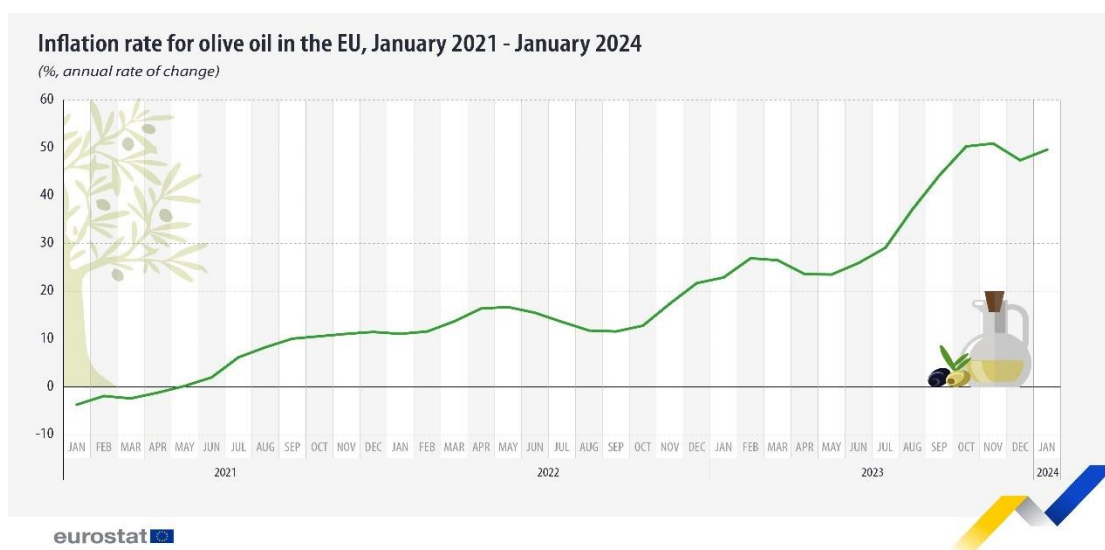
Πίνακας 1: Μηνιαίες μέσες τιμές ελαιόλαδου στη Χάεν

Επίσης, παρουσιάζεται παρακάτω και ο πίνακας με τη μέση μηνιαία πορεία των τιμών του έξτρα παρθένου ελαιόλαδου σύμφωνα με τα στοιχεία του Διεθνούς Συμβουλίου Ελαιόλαδου από την περίοδο 2012/2013 έως και 2023/2024 των Χανίων της Ελλάδας σε ευρώ ανά 100kg:

	2012/13	2013/14	2014/15	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20	2020/21	2021/22	2022/23	2023/24
Οκτώβριος	212.0	241.0	264.2	329.0	295.0	387.9	258.0	268.0	213.3	307.5	375.0	777.5
Νοέμβριος	217.5	237.2	288.5	301.7	318.4	358.0	284.0	233.8	237.5	300.0	409.5	NA
Δεκέμβριος	205.7	243.5	293.5	287.0	345.9	333.0	281.3	235.0	236.2	307.5	459.0	NA
Ιανουάριος	238.5	246.6	297.9	296.0	345.9	336.8	281.0	214.0	242.1	318.8	463.8	NA
Φεβρουάριος	241.0	249.0	295.5	303.5	346.0	328.0	284.2	200.0	249.6	312.5	460.0	NA
Μάρτιος	246.0	254.8	294.0	296.3	354.0	312.0	276.8	207.2	257.5	316.0	462.5	NA
Απρίλιος	245.9	258.4	295.2	295.0	362.7	293.0	268.0	205.6	281.1	321.2	488.8	NA
Μάιος	240.0	251.5	305.8	293.8	373.4	264.0	268.0	200.0	313.3	327.5	535.0	NA
Ιούνιος	239.8	249.0	309.0	290.0	376.0	260.5	258.0	200.0	307.5	326.0	581.2	NA
Ιούλιος	245.9	251.0	312.2	291.7	367.6	273.0	258.0	200.0	297.0	331.2	690.0	NA
Αύγουστος	246.0	256.0	349.0	295.0	373.5	278.0	258.0	207.3	270.0	330.0	735.0	NA
Σεπτέμβριος	248.9	263.9	346.5	295.0	380.5	270.5	268.0	200.0	307.0	333.0	767.5	NA
Μέση Τιμή	235.6	250.2	304.3	297.8	353.2	307.9	270.3	214.2	267.7	319.3	535.6	777.5

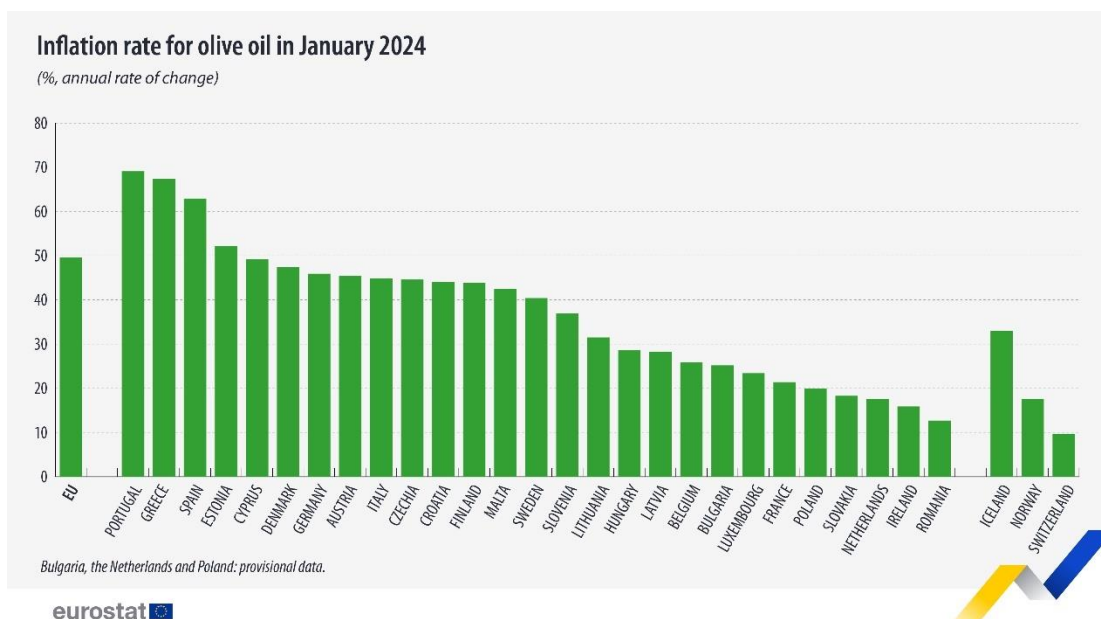
Πίνακας 2: Μηνιαίες μέσες τιμές ελαιόλαδου Χανιά

Τον Ιανουάριο του 2024 στην Ευρώπη η τιμή του ελαιόλαδου είχε αύξηση της τάξης του 50% σε σύγκριση με τον Ιανουάριο του 2023. Στο μεσοδιάστημα αυτό (Ιανουάριος 2023-Ιανουάριος 2024) η μεγαλύτερη αύξηση παρατηρήθηκε το Νοέμβριο του 2023 (51%) σε σύγκριση με το Νοέμβριο του 2022. Το Δεκέμβριο παρατηρήθηκε μικρή πτώση του ποσοστού αύξησης 47% σε σύγκριση με το Δεκέμβριο του 2022 (Eurostat,2024). Παρακάτω παρουσιάζεται το διάγραμμα με την πορεία αυξήσεων των τιμών ελαιόλαδου στην Ευρώπη από τον Ιανουάριο του 2021 έως και τον Ιανουάριο του 2024 :



Εικόνα 6: Ποσοστά αυξήσεων τιμών στην Ευρώπη (πηγή : <https://ec.europa.eu/eurostat>)

Τον Ιανουάριο του 2024 παρατηρήθηκε σε όλες τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης αύξηση του ετήσιου πληθωρισμού στο ελαιόλαδο. Η μεγαλύτερη αύξηση παρατηρήθηκε στην Πορτογαλία (69%, σε σύγκριση με τον Ιανουάριο του 2023), δεύτερη θέση με ποσοστό αύξησης 67% κατέχει η Ελλάδα και η τρίτη είναι η Ισπανία με ποσοστό αύξησης 63%. Τέλος, η Ρουμανία έχει τα μικρότερα ποσοστά αυξήσεων της τάξης του 13%. Αναλυτικά, τα ποσοστά αυξήσεων για τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης παρουσιάζονται παρακάτω :



Εικόνα 7: Ποσοστά αυξήσεων τιμών χώρες ΕΕ (πηγή : <https://ec.europa.eu/eurostat>)

Είναι γεγονός, πως ο πληθωρισμός των τροφίμων παραμένει υψηλότερος από το μετρούμενο συνολικό πληθωρισμό και θα συνεχίσει να είναι αυξημένος, εάν οι πιέσεις στις τιμές συνεχιστούν από τη πλευρά της προσφοράς και παράλληλα η ζήτηση παραμένει επίσης υψηλή (Scott et al., 2023).

4.5 Παράγοντες διαμόρφωσης τιμών ελαιόλαδου Παγκοσμίως

Οι τιμές του ελαιόλαδου διαμορφώνονται από ποικίλους παράγοντες. Είναι κυρίως συνυφασμένες με την παραγωγή, την κατανάλωση ακόμη και με τη κερδοσκοπία. Υπάρχει αντίστροφη σχέση μεταξύ της προσφοράς ενός προϊόντος και της τιμής του (Fatih et al., 2020). Πιο αναλυτικά, παράγοντες όπως η απόδοση της παραγωγής, οι καλλιεργούμενες εκτάσεις, οι καιρικές συνθήκες, οι συνθήκες του εδάφους, η κλιματική κρίση, η προστιθέμενη αξία, η βιωσιμότητα της παραγωγής, τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά προέλευσης και ποικιλίας, η προσφορά και η ζήτηση και το ακαθάριστο εγχώριο προϊόν επηρεάζουν τη διαμόρφωση τιμών του ελαιόλαδου. Είναι εφικτή, επίσης και η επιρροή της αγροοικονομίας από παράγοντες όπως η πανδημία του κορονοϊού, καθώς λόγω των περιοριστικών μέτρων που τέθηκαν από τις κυβερνήσεις για τον περιορισμό της εξάπλωσης της (lockdown), υπήρξαν αδυναμίες στις καλλιεργητικές πρακτικές των ελαιόδεντρων για την προετοιμασία της παραγωγής του επόμενου έτους και κατ' επέκταση παύση των εμπορικών δραστηριοτήτων. Η ζήτηση και η πώληση δέχθηκαν πλήγμα (ξαφνική πτώση), γεγονός που επηρέασε τις παγκόσμιες τιμές (Monge, 2024). Η παραπάνω έλλειψη των διαδικασιών για την προετοιμασία της επόμενης

παραγωγής ως απόρροια του κορονοϊού προκάλεσε αύξηση τιμών, λόγω της αυξημένης ζήτησης και της περιορισμένης παραγωγής (Francesca et al., 2022). Επίσης, χαρακτηριστικό παράδειγμα της επίδρασης της μειωμένης παραγωγής λόγω της κλιματικής αλλαγής είναι η ραγδαία αύξηση τιμών ελαιόλαδου (Nteve et al., 2024). Επιπλέον, οι τιμές αγαθών όπως το ελαιόλαδο υφίστανται κρίση σε περιόδους δυσκολιών εφοδιασμού τροφίμων, όπως για παράδειγμα ο πόλεμος μεταξύ Ρωσίας και Ουκρανίας, διότι οι αγορές των αγροτικών βασικών προϊόντων έχουν εξαιρετικά μειωμένη προσφορά και έντονο πληθωρισμό σε ζήτηση και προσφορά. Είναι αξιοσημείωτο επίσης, το γεγονός πως η ανοδική τάση των τιμών του ελαιόλαδου ήταν πιο ήπια σε σύγκριση με άλλους τύπους ελαίων, καθώς με την έναρξη της κρίσης αυτής τα έλαια όπως το σογιέλαιο, το ηλιέλαιο και το φοινικέλαιο είχαν υψηλότερη ζήτηση. Το ελαιόλαδο έχει διαπιστωθεί ως ο πιο επικερδής τύπος ελαίου σε σύγκριση με αυτά που προαναφέρθηκαν, αλλά παρουσιάζει τη μεγαλύτερη μεταβλητότητα, με αποτέλεσμα να έχει χαμηλότερη απόδοση σε συγκυρίες κρίσης. Είναι γεγονός, πως σε περιόδους κρίσεων, όπως αυτές που αναφέρθηκαν τα προϊόντα διατροφής που θεωρούνται πρωταρχικής σημασίας τείνουν να έχουν ηγετικό ρόλο στις αγορές τροφίμων. Έτσι, το ελαιόλαδο ως τρόφιμο που ευνοεί την υγεία και δεδομένου πως σε περιόδους οικονομικής κρίσης δεν συνδέεται με τις αγορές υποκατάστατων ελαίων ασκεί εξαιρετική επίδραση στις τιμές της αγοράς, με αποτέλεσμα όταν η ζήτηση του αυξάνεται υπάρχει αναλογική αύξηση και στις τιμές του (Kyriazis, 2024).

4.6 Ποιοτικά Χαρακτηριστικά ελαιόλαδου

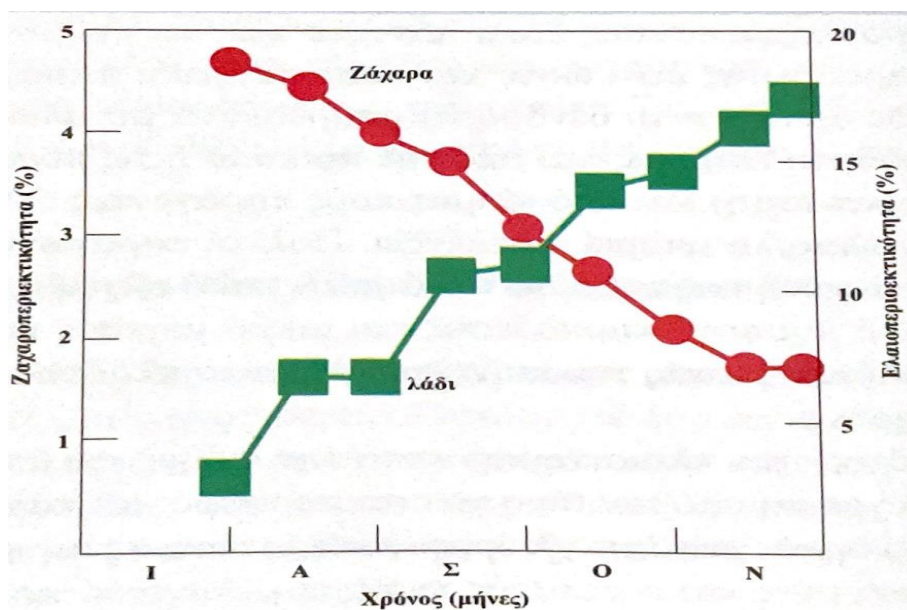
Το ελαιόλαδο είναι συνυφασμένο με τη μεσογειακή διατροφή και η κατανάλωση του έχει ιδιαίτερα θετικό αντίκτυπο στην ανθρώπινη υγεία. Είναι γεγονός, πως αποτελεί μια λιπαρή ουσία, η οποία προσφέρει ενέργεια στον οργανισμό. Είναι πλούσιο σε αντιοξειδωτικές ουσίες, καρροτενοειδή και άλλες ουσίες, οι οποίες παρέχουν προστασία στον οργανισμό ενάντια στην υπεροξειδωση που έχει βλαβερές συνέπειες για τον οργανισμό (καρδιοαγγειακά νοσήματα και άλλες ασθένειες) (Βασιλακάκης, 2016). Ακόμη, βελτιώνει την αντίσταση στην ινσουλίνη, ευνοεί τη λειτουργία του ήπατος και της χοληδόχου κύστεως (Massoud, 2023). Το ελαιόλαδο αποτελεί οργανικό κλάσμα του χυμού που παράγεται από τους καρπούς της ελιάς (Giacomo and Romano, 2022). Οι τύποι λαδιού που κυκλοφορούν στο εμπόριο είναι τρεις. Ο πρώτος τύπος είναι το παρθένο ελαιόλαδο, το οποίο χωρίζεται σε δύο κατηγορίες το έξτρα παρθένο με οξύτητα κάτω από 1% και το παρθένο με οξύτητα 1 έως 3,3%. Ο δεύτερος τύπος είναι το ραφινέ, το οποίο αποτελεί ένα λάδι χαμηλής ποιότητας και θεραπευτικής αξίας και

χρησιμοποιείται ευρέως στην εστίαση και σε βιομηχανίες τροφίμων. Τέλος, το αγνό είναι μείγμα παρθένου και ραφινέ σε διάφορες αναλογίες, οι οποίες αντικατοπτρίζουν και την ποιότητα αυτού.

Η ποιότητα του ελαιόλαδου που παράγεται εξαρτάται από ποικίλους παράγοντες. Αρχικά, πρωτίστως η ποικιλία των ελαιόδεντρων προσδιορίζει σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα αλλά και την ποσότητα της παραγωγής. Η καρποφορία των δένδρων όταν είναι υπερβολική έχει αρνητικές επιδράσεις στην ποιότητα και την απόδοση, λόγω της καθυστέρησης ωρίμανσης του ελαιόκαρπου. Επιπλέον, οι προσβολές από το έντομο του δάκου είναι εφικτό να έχουν δυσμενείς επιπτώσεις. Επίσης, οι εδαφοκλιματικές συνθήκες επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό, καθώς επίσης και οι καλλιεργητικές φροντίδες, οι οποίες περιλαμβάνουν την άρδευση, τη λίπανση, το κλάδεμα και την έγκαιρη και αποτελεσματική καταπολέμηση ασθενειών και εχθρών. Ύψιστης σημασίας για την ποιότητα του ελαιόλαδου έχει το στάδιο ωριμότητας του ελαιόκαρπου στο οποίο συγκομίζεται. Στις διαδικασίες που ακολουθούν μετά τη συγκομιδή σημαντικό ρόλο παίζουν οι μεταχειρίσεις του ελαιόκαρπου από τη συγκομιδή έως την εξαγωγή του ελαιόλαδου, οι συνθήκες κατά τις οποίες πραγματοποιείται η εξαγωγή και συνεπακόλουθα οι συνθήκες συντήρησης του ελαιόλαδου (Βασιλακάκης, 2016). Τέλος, η χημική σύσταση του εδάφους είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας για την ποιότητα του ελαιόλαδου. Σε ασβεστούχα και πλούσια σε κάλιο εδάφη το λάδι είναι εκλεκτό, έχει λεπτή γεύση και χρώμα κεχριμπαριού (“Η καλλιέργεια της ελιάς”, 2022).

Υπάρχουν κριτήρια για τον προσδιορισμό της ποιότητας του ελαιόλαδου, τα οποία έχουν θεσπιστεί από το Διεθνές Συμβούλιο Ελαιόλαδου. Αυτά είναι τα παρακάτω :

- **Η οξύτητα:** Χαρακτηριστικό το οποίο προσδιορίζει εάν το ελαιόλαδο είναι βρώσιμο ή βιομηχανικό
- **Η οξείδωση:** Προσδιορίζεται σύμφωνα με τις μετρήσεις των υπεροξειδίων ή την απορρόφηση στο υπεριώδες φάσμα ή με άλλες τεχνικές
- **Το χρώμα:** Η κυριότερο στοιχείο για τον προσδιορισμό της ποιότητας αποτελεί το χρώμα, το οποίο καθορίζεται από το είδος των λιποδιαλυτών χρωστικών στο στάδιο της συγκομιδής. Ένα επίσης σημαντικό οργανοληπτικό συστατικό είναι η γεύση, η οποία διαμορφώνεται από την παρουσία των πτητικών συστατικών και των λιπαρών οξέων, κυρίως το ελαϊκό και λινελαϊκό οξύ, καθώς επίσης και από τις πολυφαινόλες (Θερίος, 2005).

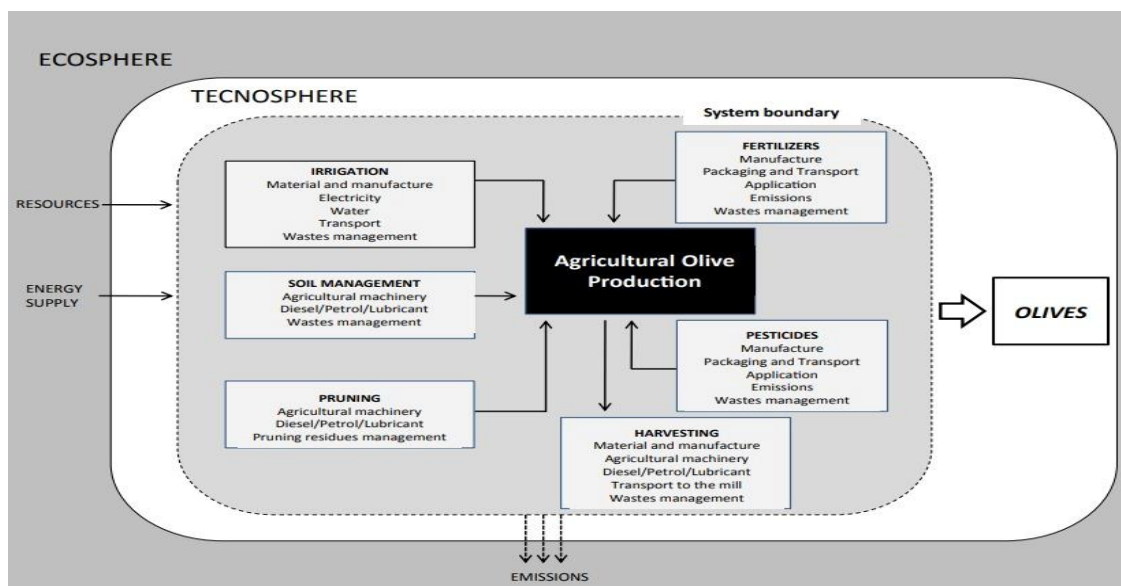


Εικόνα 8: Μεταβολές ελαιόπεριεκτικότητας και σακχάρων κατά την ωρίμανση του ελαιόκαρπου (Βασιλακάκης, 2016)

4.7 Ανάλυση Κύκλου Ζωής του ελαιόλαδου

Είναι γεγονός, πως οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκαλούνται από την καλλιέργεια της ελιάς για την παραγωγή ελαιόλαδου διαφέρουν ανάλογα με τα συστήματα καλλιέργειας, την περιοχή, τις πρακτικές που εφαρμόζονται και τις κλιματικές συνθήκες (Romero-Gamez, et al., 2017). Τα αποτελέσματα των επιπτώσεων αυτών είναι η εξάντληση των φυσικών πόρων, η σταδιακή υποβάθμιση του εδάφους, η παραγωγή στερεών αποβλήτων, καθώς και η παραγωγή αέριων ατμοσφαιρικών ρύπων (Espadas-Aldana et al., 2019). Η ποσοτικοποίηση των επιπτώσεων αυτών είναι εφικτό να επιτευχθεί μέσω της Ανάλυσης του Κύκλου Ζωής, διότι γίνεται πλήρης ανάλυση των διαδικασιών και των πρακτικών που μεσολαβούν από την καλλιέργεια της ελιάς και την παραγωγή του ελαιόλαδου έως και την απόρριψη της συσκευασίας του ελαιόλαδου από τον καταναλωτή (Romero-Gamez et al., 2017). Ο κύκλος ζωής του ελαιόλαδου απαρτίζεται από τη γεωργική φάση, τη φάση παραγωγής ελαιόλαδου στο ελαιοτριβείο, τη διαχείριση των αποβλήτων (υγρών και στερεών), τη διαδικασία συσκευασίας του, τη διανομή του, την κατανάλωση του και τέλος, την απόρριψη ή την ανακύκλωση του μετά την κατανάλωση του (Espadas-Aldana et al., 2019). Η ΑΚΖ του ελαιόλαδου γενικά βασίζεται στα πρότυπα ISO14040 και ISO 14044 (ISO, 2006). Είναι εφικτό με την ΑΚΖ να εξεταστούν διάφοροι τομείς από την παραγωγή πρώτων υλών μέχρι την παραγωγή του προϊόντος (cradle-to-gate) ή από την παραγωγή πρώτων υλών έως και το τέλος του προϊόντος ύστερα από απόρριψη ή ανακύκλωση (cradle-to-grave) (Brito and Fernandes-Silva, 2022). Με τον τρόπο αυτό παρουσιάζονται τα κυριότερα περιβαλλοντικά προβλήματα που προκύπτουν

από την παραγωγή του ελαιόλαδου και είναι εφικτό να προσδιοριστούν οι φάσεις του κύκλου ζωής του που έχουν τη μεγαλύτερη δυσμενή περιβαλλοντική επιρροή (Tsarouhas and Papachristos, 2021). Είναι γεγονός, πως η Ανάλυση Κύκλου Ζωής είναι ένα μέσο για την περιβαλλοντική διαχείριση ιδιαίτερα σημαντικό. Επίσης, μεγάλο πλεονέκτημα για μελέτες Ανάλυσης Κύκλου Ζωής είναι πλέον η εφαρμογή του περιβαλλοντικού αποτυπώματος του προϊόντος από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή μέσω των κανόνων κατηγορίας του περιβαλλοντικού αποτυπώματος προϊόντων (Fernandez-Lobato et al., 2024). Η εκτίμηση των συνεπειών του κύκλου ζωής πραγματοποιείται μέσω περιβαλλοντικών δεικτών και είναι εφικτό να χρησιμοποιηθούν δύο τρόποι από τους οποίους προκύπτουν οι παράγοντες. Μέσω των δεικτών μέσου-σημείου είναι ο ένας τρόπος, ο οποίος δίνει τη δυνατότητα της μέτρησης της επίδρασης. Ο άλλος τρόπος, ο οποίος εφαρμόζεται μέσω δεικτών τελικού-σημείου εφαρμόζεται για να προσδιοριστούν οι τρέχουσες ζημιές (Espadas-Aldana et al., 2019). Τα στάδια που αποτελούν τις κύριες πρακτικές διαχείρισης των καλλιεργειών είναι η άρδευση, η διαχείριση του εδάφους, η λίπανση, η φυτοπροστασία μέσω εφαρμογής φαρμάκων, το κλάδεμα και η συγκομιδή. Σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις αυτές προέρχονται από τις διαδικασίες του κάθε σταδίου. Η άρδευση περιλαμβάνει την κατανάλωση νερού και ενέργειας των συστημάτων άρδευσης, καθώς επίσης και την κατανάλωση καυσίμων και ενέργειας για τη μεταφορά και εγκατάσταση των συστημάτων άρδευσης. Η διαχείριση του εδάφους περιλαμβάνει τα γεωργικά μηχανήματα, τα οποία αποτελούνται από τα καύσιμα και τα λιπαντικά που αυτά καταναλώνουν. Τα στάδια λίπανση και εφαρμογή φυτοφαρμάκων περιλαμβάνουν τις διαδικασίες εφαρμογής τους (ενέργεια, καύσιμα), απόρριψη συσκευασιών στο περιβάλλον και σαφώς τις εκπομπές των μολυσματικών ενώσεων στο περιβάλλον εξαιτίας της εφαρμογής τους. Το κλάδεμα και η συγκομιδή περιλαμβάνουν τα καύσιμα και την ενέργεια που καταναλώνονται για την πραγματοποίηση των διαδικασιών αυτών και για την απομάκρυνση και απόρριψη των κλαδιών, καθώς επίσης και τη μεταφορά των καρπών προς τα ελαιοτριβεία αντίστοιχα. Το σχήμα παρακάτω παρουσιάζει τα στάδια με τις εκροές και εισροές τους:



Εικόνα 9: Διάγραμμα ροής καλλιέργειας ελιάς (Romero-Gamez et al., 2017).

Είναι σημαντική η Απογραφή του Κύκλου Ζωής (LCI, Life Cycle Inventory), διότι οι εισροές και οι εκροές καταγράφονται αναλυτικά σε κάθε στάδιο του συστήματος της καλλιέργειας της ελιάς. Στις εισροές και εκροές περιλαμβάνονται οι ενεργειακές απαιτήσεις, οι απαραίτητες πρώτες ύλες για την πραγματοποίηση των εργασιών, καθώς επίσης και οι αέριες εκπομπές προς την ατμόσφαιρα, τα υγρά και τα αστικά απόβλητα (Romero-Gamez et al., 2017). Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής του ελαιόλαδου αποτελείται από όλες τις φάσεις ζωής του συστήματος του και αναλύει τις επιπτώσεις που επιφέρει σε περιβαλλοντικό επίπεδο σε ποικίλες κατηγορίες (Tsarouhas and Papachristos, 2021). Οι πιο διαδεδομένες περιβαλλοντικές κατηγορίες επιδράσεων σύμφωνα με τους Κανόνες Κατηγορίας Προϊόντων (Product Category Rules) για το ελαιόλαδο του Διεθνούς Συστήματος Περιβαλλοντικής Δήλωσης Προϊόντων (International Environmental Product Declaration) είναι η κλιματική αλλαγή, η οξίνιση, ο ευτροφισμός, η οικοτοξικότητα, η διάβρωση των εδαφών και η εξάντληση των υδατικών πόρων (Romero-Gamez et al., 2017).

Οι Fernandez-Lobato, et al. (2024) πραγματοποίησαν AKZ του ελαιόλαδου στην περιοχή της Ανδaluσίας στη φάση καλλιέργειας σε συστήματα με ποικίλες πυκνότητες φύτευσης, άρδευσης και κλίσης καλύπτοντας την περίοδο 2017-2022. Πιο αναλυτικά, οι τιμές των εισροών είναι υψηλότερες με την αύξηση της πυκνότητας φύτευσης, καθώς επίσης και με τη βελτίωση της απόδοσης. Επίσης, η υψηλή πυκνότητα, η άρδευση και η υψηλή κλίση συνδέονται με αύξηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε σύγκριση με τα υπόλοιπα

συστήματα φύτευσης. Τα στάδια που παρουσιάζουν στη φάση της καλλιέργειας τις υψηλότερες επιπτώσεις είναι η συγκομιδή, η λίπανση, η φυτοπροστασία και η άρδευση, σε ποσοστά επιπτώσεων που κυμαίνονται από 69% έως και 91%. Συνοψίζοντας, προτείνεται η εστίαση στη βελτιστοποίηση των καλλιεργητικών τεχνικών με σκοπό τη μείωση των εκπομπών που συνδράμουν στις αυξήσεις των ποσοστών των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, κυρίως στα παραπάνω στάδια (Fernandez-Lobato et al., 2024).

Στην Πορτογαλία, μελετήθηκε ένας ελαιώνας μεσαίας πυκνότητας φύτευσης και στάγδην άρδευσης, μέθοδος άρδευσης με σταγόνες, μέσω υπόγειων υδάτων από τους Brito and Fernandes-Silva (2022). Σκοπός της συγκεκριμένης μελέτης ήταν να προσδιοριστούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της καλλιέργειας της ελιάς μέσω της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής, στη φάση παραγωγής ελιών και των εισροών στην παραγωγή. Τα προϊόντα που χρησιμοποιούνται ως εισροές πρέπει να θεωρούνται και εκροές εξαιτίας των εκπομπών στο έδαφος και στο νερό. Τα αποτελέσματα στην κατηγορία της κλιματικής αλλαγής έδειξαν πως για την παραγωγή 1kg ελιάς εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα 0,249kg CO₂-Eq. Επίσης, η γεωργική φάση είναι υπεύθυνη για το 71,5% των συνολικών επιπτώσεων στην κλιματική αλλαγή, με κυριότερους ρύπους του CO₂ και N₂O. Η δεύτερη μεγαλύτερη επίπτωση σε αυτή την περιβαλλοντική κατηγορία με ποσοστό 12,74% οφειλόταν στην παραγωγή των πρώτων υλών των συστημάτων άρδευσης. Επιπλέον, με ποσοστό 4,77% των συνολικών συνεπειών στη κλιματική αλλαγή προέρχονταν από την καταναλισκόμενη ενέργεια για την άντληση των υπόγειων υδάτων. Στην κατηγορία της μείωσης του στρώματος του όζοντος το μέγιστο ποσοστό (26,7%) των συνολικών επιπτώσεων προήλθε από τις εκπομπές των ρύπων του αζώτου N που εφαρμόζεται με τη μορφή λιπάσματος (κυρίως ουρία) στην καλλιέργεια. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί πως η εξάτμιση της αμμωνίας κατά την εφαρμογή της αζωτούχου λίπανσης αντιπροσωπεύει το 1/5 των συνολικών εκπομπών αμμωνίας του συνόλου της γεωργίας (Brito and Fernandes-Silva, 2022).

Στην Ελλάδα, πραγματοποιήθηκε μελέτη της AKZ του ελαιόλαδου, με στόχο να προσδιορίσει την επίδραση του στο περιβάλλον από τις διαφορετικές πρακτικές στην παραγωγή του στην περιοχή του νομού Φθιώτιδας. Τα αποτελέσματα της μελέτης προέκυψαν μέσω βιβλιογραφικής ανασκόπησης και δεδομένων που συλλέχθηκαν από 20 παραγωγούς του νομού Φθιώτιδας. Αρχικά, προέκυψε πως η μεγαλύτερη κατανάλωση νερού οφείλεται στην καλλιέργεια της ελιάς, εξαιτίας της άρδευσης. Επίσης, η μέγιστη κατανάλωση ενέργειας

λαμβάνει χώρα κυρίως και αυτή στο στάδιο της καλλιέργειας. Προέκυψε πως τη μεγαλύτερη συμβολή στην παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας έχουν τα στάδια της καλλιέργειας και της παραγωγής ελαιόλαδου. Αναλυτικότερα, για την παραγωγή 1L ελαιόλαδου η συνολική επιβάρυνση του υποσυστήματος της καλλιέργειας της ελιάς προς την ατμόσφαιρα είναι ίση με 371,7179g CO₂-Eq στην κατηγορία της παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας. Τέλος, οι περισσότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι προέρχονται από τα στάδια της καλλιέργειας και της παραγωγής ελαιόλαδου (Καρακίκε, 2021).

Οι Espadas-Aldana, et al. (2019), πραγματοποίησαν βιβλιογραφική ανασκόπηση 23 Αναλύσεων Κύκλου Ζωής του ελαιόλαδου. Είναι γεγονός, πως η καλλιέργεια της ελιάς για την παραγωγή ελαιόλαδου παρουσιάζει υψηλό περιβαλλοντικό αντίκτυπο. Αποτέλεσμα της μελέτης αυτής ήταν πως η γεωργική φάση αποτελεί το σημαντικότερο στάδιο του κύκλου ζωής του ελαιόλαδου, διότι συντελεί στις σοβαρότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Επίσης, η κλιματική αλλαγή ήταν η περιβαλλοντική κατηγορία που αναλύθηκε περισσότερο στις παραπάνω μελέτες κύκλου ζωής, με μετρήσεις που φτάνουν τα 460kg ισοδύναμου CO₂-eq/ton ελιάς και 1,6kg ισοδύναμου CO₂-eq/L ελαιόλαδου. Πιο αναλυτικά, συγκλίνουν στο συμπέρασμα των υψηλών τιμών επιρροής στα στάδια της λίπανσης, της φυτοπροστασίας και της άρδευσης. Τέλος, προτείνεται η περαιτέρω μελέτη για βελτιώσεις των μοντέλων της λίπανσης και εφαρμογών φυτοφαρμάκων, καθώς επίσης και μείωση των ποσοτήτων τους. Ακόμη εξαιτίας της μεταβλητότητας των καιρικών συνθηκών είναι σημαντικό να υπάρχει μελέτη των τοπικών δεδομένων και μοντέλων (Espadas-Aldana et al., 2019).

Σύμφωνα με τους Romero-Gamez, et al. (2017), οι οποίοι ασχολήθηκαν με τη διερεύνηση 12 συστημάτων καλλιέργειας ελιάς στην Ισπανία, τα οποία διέφεραν στον τύπο καλλιέργειας (8 παραδοσιακά, 3 πυκνά και 1 υπέρπυκνο), την άρδευση, τη μηχανοποίηση και τις πρακτικές διαχείρισης. Τα στάδια της λίπανσης, της συγκομιδής και της άρδευσης είχαν τη μεγαλύτερη επίδραση σε όλες τις περιβαλλοντικές κατηγορίες και συστήματα. Πιο συγκεκριμένα, οι μεγαλύτερες περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις σε όλες τις κατηγορίες οφείλονταν στην παραγωγή και εφαρμογή λιπασμάτων στις καλλιέργειες, κυρίως εξαιτίας των αζωτούχων με μέγιστα ποσοστά 81% και 87% στο συμβατικό αρδευόμενο σύστημα καλλιέργειας στις κατηγορίες της κλιματικής αλλαγής και της οξίνισης αντίστοιχα. Το στάδιο της συγκομιδής παρουσίασε τα υψηλότερα ποσοστά στην κατηγορία του ευτροφισμού για όλα τα συστήματα καλλιέργειας κυμαινόμενα από 18% έως και 29% και αυτά οφείλονται στις εκπομπές από τις μεταφορές των

απαραίτητων εξοπλισμών για τη συγκομιδή και τη μεταφορά των ελαιόκαρπων στα ελαιοτριβεία. Το στάδιο της άρδευσης έδειξε υψηλά ποσοστά στην κατηγορία της οικοτοξικότητας με μέγιστα ποσοστά 48% και 43% στα πυκνά και υπέρπυκνα συστήματα καλλιέργειας αντίστοιχα. Ο κύριος παράγοντας των υψηλών αυτών ποσοστών στη συγκεκριμένη κατηγορία ήταν η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται κατά την άρδευση. Ωστόσο, τα στάδια της φυτοπροστασίας, του κλαδέματος και της διαχείρισης του εδάφους παρουσίασαν τις χαμηλότερες επιπτώσεις σε όλες τις περιβαλλοντικές κατηγορίες. Τέλος, τα συστήματα των πυκνών και υπέρπυκνων αρδευόμενων καλλιεργειών έδειξαν για πολλές κατηγορίες επιπτώσεων τους τις υψηλότερες μετρήσεις, διότι οι απαιτήσεις σε λιπάσματα και φυτοφάρμακα είναι υψηλότερες, καθώς επίσης έχουν υψηλό επίπεδο μηχανοποίησης. Συμπερασματικά, τα συστήματα καλλιέργειας της ελιάς παρουσιάζουν τις υψηλότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε όλες τις κατηγορίες κυρίως εξαιτίας της λίπανσης. Ειδικότερα, στην κατηγορία της κλιματικής αλλαγής εκπομπές CO₂ και NO₂ προκαλούνται κατά την παρασκευή και εφαρμογή των αζωτούχων λιπασμάτων. Έτσι, η ορθολογικότερη χρήση και η βελτιστοποίηση στην εφαρμογή τους, με την βοήθεια των πρακτικών της γεωργίας ακριβείας θα μπορούσε να συμβάλει στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων (Romero-Gamez et al., 2017).

Οι Tsarouhas et al. (2015), μελέτησαν την παραγωγή ελαιόλαδου στην Ελλάδα, διαχωρίζοντας την σε 14 υποσυστήματα, με σκοπό τη διερεύνηση των παραμέτρων που σχετίζονται με τον κύκλο ζωής της παραγωγής και την αξιολόγηση αυτών που ευθύνονται για τις μέγιστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Ακόμα, οι περιβαλλοντικές κατηγορίες που αναλύθηκαν ήταν η υπερθέρμανση του πλανήτη, η οξίνιση, ο ευτροφισμός και η δημιουργία φωτοχημικών οξειδωτικών. Προέκυψε πως η καλλιέργεια της ελιάς συντελεί σε ποσοστό 40,37% στην υπερθέρμανση του πλανήτη, 43,76% είναι υπεύθυνη για την οξίνιση και 67,93% για τη φωτοχημική οξείδωση. Τα ευρήματα της έρευνας έδειξαν πως η καλλιέργεια της ελιάς είναι το υποσύστημα που επηρεάζει στο μεγαλύτερο βαθμό όλες τις περιβαλλοντικές κατηγορίες που αξιολογήθηκαν. Είναι σημαντικό, στο επίπεδο της καλλιέργειας να γίνει εστίαση στη βελτίωση της διαχείρισης του νερού και της ενέργειας, καθώς επίσης και η ορθολογική χρήση των μηχανημάτων και των λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων θα συμβάλουν στη μείωση των παραγόμενων ρύπων. Τέλος, οι μέθοδοι, οι οποίοι βοηθούν στον προσδιορισμό του σωστού χρόνου συγκομιδής έχουν θετική συνεισφορά στην εξοικονόμηση χρόνου και ενέργειας (Tsarouhas et al., 2015).

Στην Ελλάδα, μελετήθηκε η Ανάλυση Κύκλου Ζωής του ελαιόλαδου σύμφωνα κυρίως με δεδομένα που προήλθαν από βιβλιογραφία, παραγωγούς και εταιρεία παραγωγής που βρίσκεται στη Χαλκιδική. Πιο αναλυτικά, μελετήθηκαν όλες οι παράμετροι που αφορούν την καλλιέργεια της ελιάς, την παραγωγή, καθώς επίσης και τη συσκευασία του ελαιόλαδου, προκειμένου να εντοπιστούν τα σημεία εκείνα με τις μεγαλύτερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Τα αποτελέσματα, έδειξαν πως η καλλιέργεια της ελιάς αποτελεί το υποσύστημα με τη μεγαλύτερη συμμετοχή στην αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας, στην όξινη βροχή και τη δημιουργία του φωτοχημικού νέφους (Δαμαλίδης και Μάσλης, 2008).

4.8 Περιβαλλοντικό Αποτύπωμα

Τα κυριότερα αέρια θερμοκηπίου που παράγονται μέσω των αγροτικών δραστηριοτήτων είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το μεθάνιο (CH_4) και το υποξείδιο του αζώτου (N_2O) (Balafoutis et al., 2017). Το διοξείδιο του άνθρακα είναι αδιαμφισβήτητο το σημαντικότερο αέριο. Είναι γεγονός, πως η ραγδαία αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού σε συνδυασμό με τις ανάλογες μεταβαλλόμενες απαιτήσεις του σε ορυκτά καύσιμα ως πηγή ενέργειας έχει συμβάλει στην αντίστοιχη υψηλή συγκέντρωση CO_2 στην ατμόσφαιρα. Ωστόσο, οι πηγές CO_2 είναι τόσο φυσικές όσο και ανθρωπογενείς. Στις φυσικές, οι οποίες προσδιορίζουν και το μεγαλύτερο ποσοστό που απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα αξίζει να αναφερθούν οι εκπομπές από δασικές πυρκαγιές, από την κυτταρική αναπνοή και από την αποσύνθεση οργανικής ύλης. Οι ανθρωπογενείς πηγές προέρχονται κυρίως από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, τις γεωργικές πρακτικές, την παραγωγή χημικών, πετρελαίου και τις μεταφορές. Τα σημαντικότερα ποσοστά CO_2 απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα από την καύση των ορυκτών καυσίμων που χρησιμοποιούνται στις παραπάνω πηγές και από την αλλαγή χρήσης γης σύμφωνα με την IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (Κατσαφάδος και Μαυροματίδης, 2024). Το 2023 η παγκόσμια συγκέντρωση CO_2 ήταν 419.3 ppm πραγματοποιώντας νέο ρεκόρ. Η διαφορά μεταξύ του 2022 και του 2023 ήταν 2,8ppm περίπου. Τα τελευταία 12 κατά σειρά χρόνια η αύξηση της συγκέντρωσης του CO_2 είναι παραπάνω από 2 ppm. Ενώ, τη δεκαετία του 1960 ο ρυθμός αύξησης κυμαινόταν $0,8 \pm 0,1$ ppm ετησίως. Αυτό συμβαίνει διότι πλέον παράγεται μεγαλύτερη ποσότητα από αυτή που μπορούν να απορροφήσουν οι φυσικές καταβόθρες της γης και οι ωκεανοί, με αποτέλεσμα να προκαλείται αύξηση κάθε χρόνο (Lindsey, 2024).

Στην αρχή της βιομηχανικής εποχής το 1750, η συγκέντρωση ήταν περίπου 277ppm και το 2021 είναι κατά 50% υψηλότερη.



Εικόνα 10: Ετήσιες συγκεντρώσεις ατμοσφαιρικού CO₂ την περίοδο 1750-2021 (Κατσαφάδος και Μαυροματίδης, 2024)

Το μεθάνιο είναι σε επίπεδο σημαντικότητας το δεύτερο (CH₄) μετά το CO₂ ανθρωπογενές αέριο του θερμοκηπίου, το οποίο έχει την ικανότητα της απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας. Οι ανθρωπογενείς πηγές μεθανίου συμβάλουν σε ποσοστό 50 έως 65% του συνολικού ποσοστού εκπομπών. Σε αυτές τις πηγές περιλαμβάνονται κυρίως οι καύσεις ορυκτών καυσίμων, τη γεωργία και την κτηνοτροφία. Η συγκέντρωση του μεθανίου έχει φτάσει τώρα τα 1.800 ppb. Το υποξείδιο του αζώτου N₂O είναι και αυτό ένα από τα κυριότερα αέρια του θερμοκηπίου και ο τομέας της γεωργίας αποτελεί την κυριότερη πηγή εκπομπών. Πιο συγκεκριμένα, οι εφαρμογές λιπασμάτων έχουν ως αποτέλεσμα υψηλές συγκεντρώσεις στο έδαφος με νιτρικό άλας και αμμώνιο και έτσι συντελούν στην αύξηση του N₂O (Κατσαφάδος και Μαυροματίδης, 2024). Η κλιματική Αλλαγή είναι γεγονός και οι μεταβολές των ακραίων κλιματικών τιμών έχουν ήδη ξεκινήσει. Αναλυτικότερα, η υπερθέρμανση του πλανήτη έχει προκαλέσει σημαντικές διακυμάνσεις στις ακραίες τιμές της θερμοκρασίας από τα μέσα του 20^{ου} αιώνα, καθώς κύματα καύσωνα, ξηρασία ή έντονες βροχοπτώσεις και ψυχρές εισβολές. Ειδικά στην περιοχή της Μεσογείου οι περίοδοι ξηρασίας έχουν αυξητική τάση. Επίσης, ο κίνδυνος των δασικών πυρκαγιών έγινε πιο αισθητός εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής, καθώς οι κυριότεροι παράγοντες πρόκλησης τους είναι η ελάττωση των βροχοπτώσεων σε συνδυασμό με την άνοδο της θερμοκρασίας (Κατσαφάδος και Μαυροματίδης, 2024).

Σε γενικό πλαίσιο η γεωργία συντελεί με άμεσο και έμμεσο τρόπο στην επιρροή της κλιματικής αλλαγής εξαιτίας των αερίων του θερμοκηπίου που εκπέμπονται από τις διάφορες διεργασίες. Έχει αποδειχθεί πως οι γεωργικές δραστηριότητες αντιπροσωπεύουν το 13,5% των συνολικών ανθρωπογενών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε παγκόσμια κλίμακα. Πιο αναλυτικά,

25% CO₂, 50% CH₄ και 70% N₂O αποτελούν τα ποσοστά που εκπέμπονται από τον γεωργικό τομέα. Πρωταρχικής σημασίας για την προστασία του περιβάλλοντος είναι η μείωση των εκπομπών αυτών σε συνδυασμό με τη διατήρηση της παραγωγικότητας και της αγροτικής οικονομίας για την ικανοποίηση της συνεχώς αυξανόμενης παγκόσμιας ζήτησης τροφίμων. Η λύση της εφαρμογής των πρακτικών της γεωργίας ακριβείας φαίνεται να είναι ιδιαίτερα ικανοποιητική, διότι υπόσχεται να συμβάλει στην ελάττωση των επιβλαβών εκπομπών και ταυτόχρονα να προσφέρει βελτίωση στην παραγωγή, την ποιότητα και την οικονομία των γεωργικών εκμεταλλεύσεων. Σύμφωνα με στοιχεία της Ευρωπαϊκής Ένωσης, για τον περιορισμό της επίδρασης της γεωργίας στο σύνολο των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου προτείνεται ελάττωση σε ποσοστό 36-37% έως το 2030 και σε ποσοστό 42-49% για το 2050 σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990. Η συμβολή είναι εφικτό να επιτευχθεί πρακτικά μέσω των παρακάτω εφαρμογών:

- Ενίσχυση της ικανότητας των εδαφών να λειτουργούν ως αποθήκες άνθρακα, διότι οι πρακτικές στοχεύουν στην ορθολογική διαχείριση και έτσι επιτυγχάνεται μείωση της μηχανικής κατεργασίας των καλλιεργούμενων εδαφών και την ελάττωση της αζωτούχου λίπανσης
- Μείωση της κατανάλωσης των ορυκτών καυσίμων, καθώς οι τεχνολογίες αποσκοπούν στον περιορισμό των καλλιεργητικών επεμβάσεων με μηχανήματα, γεγονός που επιφέρει άμεση μείωση των παραγόμενων αερίων του θερμοκηπίου
- Ελάττωση των εισροών στις αγροτικές εκμεταλλεύσεις προκαλώντας έμμεσο φραγμό στους επιβλαβείς αέριους ρύπους προς την ατμόσφαιρα

Είναι γεγονός, πως η ανεξέλεγκτη παραγωγή αερίων θερμοκηπίου οφείλεται στο μεγαλύτερο βαθμό στη μη ορθολογική διαχείριση του C και του N. Η κλιματική αλλαγή μπορεί να περιοριστεί μέσω της μείωσης των εκπομπών των επιβλαβών αυτών αερίων, της ενίσχυσης μεθόδων για την απορρόφηση τους και της αποφυγής ή μετατόπισης τους. Οι νέες τεχνολογίες που προσφέρονται μέσα από την εφαρμογή της γεωργίας ακριβείας είναι ικανές να μετριάσουν τις δυσμενείς επιπτώσεις των αγροτικών δραστηριοτήτων στην κλιματική αλλαγή. Τέλος, η χορήγηση των θρεπτικών στοιχείων σε ποσότητες και χρόνους που καθίστανται αναγκαία αφενός αποτρέπει από την ανεπιθύμητη απώλεια στην ατμόσφαιρα που θα μπορούσε να συμβεί λόγω περίσσειας ή έλλειψης θρεπτικής λίπανσης και αφετέρου βελτιώνει το ανθρακικό αποτύπωμα των καλλιεργειών (Balafoutis et al., 2017).

5. Συμπεράσματα

Η πρωτοφανής και έντονη αυξητική τάση της τιμής του ελαιόλαδου έχει επηρεάσει την παγκόσμια αγορά το τελευταίο έτος. Το γεγονός αυτό, μέσω διερεύνησης της βιβλιογραφίας προέκυψε πως οφείλεται κυρίως στη συντριπτική μείωση της παραγωγής στις ελαιοπαραγωγικές χώρες, καθώς επίσης και στην αύξηση των τιμών των εισροών της καλλιέργειας. Αντικείμενο της συγκεκριμένης έρευνας αποτελεί η Γεωργία Ακριβείας και οι ειδικά εφαρμοσμένες πρακτικές της στην καλλιέργεια της ελιάς, οι οποίες είναι εφικτό να επιφέρουν ποσοτική βελτίωση στην απόδοση και την ποιότητα της παραγωγής. Επίσης, τα μετρήσιμα θετικά αποτελέσματα της υιοθέτησης της Γεωργίας Ακριβείας σε περιβαλλοντικό επίπεδο αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της παρούσας εργασίας. Επιπλέον, οι παράγοντες που επηρεάζουν την ποσότητα και την ποιότητα της παραγωγής της μελετώνται αναλυτικά. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στο ελαιόλαδο, ως προϊόν με σημαντική ιστορική πορεία και πραγματοποιείται μελέτη στατιστικών στοιχείων σχετικά με την παραγωγή του και τις τιμές στην αγορά σε Ελληνικό, Ευρωπαϊκό και Παγκόσμιο επίπεδο. Εκτενέστερη έρευνα, έγινε στη Γεωργία Ακριβείας μέσω διεθνώς εφαρμοσμένων πρακτικών, οι οποίες στοχεύουν στην αύξηση της παραγωγής και στη βελτίωση της ποιότητας σε συνδυασμό με τη μείωση των αρνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων και κατ' επέκταση τη βελτίωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος. Η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε ήταν βιβλιογραφική ανασκόπηση, η οποία πραγματοποιήθηκε ύστερα από μελέτη των παραγόντων που παρουσιάζονται παρακάτω, έτσι ώστε να προκύψουν αξιόλογα αποτελέσματα.

Αρχικά, πραγματοποιήθηκε ανάλυση της γεωργίας ακριβείας ως στρατηγικής διαχείρισης καλλιεργειών. Έγινε η ανασκόπηση των τεχνολογιών και του εξοπλισμού που χρησιμοποιούνται κατά την εφαρμογή της. Επιπλέον, μέσω της διερεύνησης της βιβλιογραφίας μελετήθηκαν εφαρμογές της γεωργίας ακριβείας σε καλλιέργειες και δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση σε εφαρμογές που έχουν λάβει χώρα στην καλλιέργεια της ελιάς (9 μελέτες εφαρμογών για την ελιά). Ακόμη, ιδιαίτερη εστίαση δόθηκε στα οφέλη που προσφέρει σε επίπεδο καλλιέργειας αλλά και περιβαλλοντικό. Από τα παραπάνω προέκυψε πως είναι εφικτό να προσδιοριστούν οι απαιτούμενες εισροές χωρικά και χρονικά, με ιδιαίτερη έμφαση εξαιτίας των μεγαλύτερων περιβαλλοντικών επιπτώσεων στη λίπανση αζώτου, η οποία ήταν 31% χαμηλότερη συγκριτικά με τη συμβατική μέθοδο εφαρμογής. Γενικότερα, τα συμπεράσματα που προέκυψαν έδειξαν πως υπήρξε μείωση των εισροών από 21% έως 38% και δυνατότητα διάγνωσης ασθενειών και ύπαρξης πληθυσμού εντόμων, έτσι ώστε να αντιμετωπιστούν

εγκαίρως αποφεύγοντας τις αρνητικές επιπτώσεις στην παραγωγή. Η Γεωργία Ακριβείας προσφέρει τη δυνατότητα εφαρμογής μεταβλητών δόσεων των εισροών στη γεωργική παραγωγή με βάση τις πραγματικές ανάγκες σε κάθε τμήμα του αγρού. Αυτό είναι εφικτό, διότι η εφαρμογή της γεωργίας ακριβείας πραγματοποιείται με τεχνολογικά μέσα, τα οποία χαρτογραφούν και καταγράφουν την υφιστάμενη κατάσταση του αγροτεμαχίου και προσφέρουν τη δυνατότητα διαχείρισης του σε τμήματα (ζώνες διαχείρισης) μικρότερα από τη συνολική έκταση του, που εμφανίζουν σχετική ομοιομορφία στις ιδιότητες και τις απαιτήσεις. Οι σύγχρονες αυτές πρακτικές προσφέρουν πολλαπλά οφέλη τόσο σε επίπεδο ποιότητας και απόδοσης για τον ίδιο τον αγρό, όσο και σε περιβαλλοντικό επίπεδο.

Ακολούθησε η βιβλιογραφική ανασκόπηση της καλλιέργειας της ελιάς στις ελαιοπαραγωγικές χώρες συμπεριλαμβανόμενων των σύγχρονων εντατικών συστημάτων καλλιέργειας και των παραγόντων που δρουν αρνητικά σε αυτή, επιφέροντας μείωση στην απόδοση και την ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως η μείωση της παραγωγής και η υποβάθμιση της ποιότητας είναι απόρροια των ακραίων καιρικών φαινομένων, λόγω της κλιματικής αλλαγής. Αξιοσημείωτο κομμάτι της έρευνας ήταν πως το έτος αυτό έλαβαν χώρα ακραία φαινόμενα όπως έντονη ξηρασία και υψηλή θερμοκρασία και πυρκαγιές σε μεγάλες εκτάσεις παγκοσμίως και έπληξαν αμέτρητες παραγωγές. Επιπλέον, το 2023 ήταν το θερμότερο έτος που έχει παρατηρηθεί τα τελευταία 174 χρόνια. Άλλοι παράγοντες με αρνητικές επιδράσεις στην καλλιέργεια της ελιάς είναι οι εχθροί και οι ασθένειες, καθώς επίσης και το φαινόμενο της παρενιαντοφορίας που πλήττει την ελιά και την οδηγεί πολλές φορές σε πλήρη ακαρπία.

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε ανασκόπηση της παραγωγής του ελαιόλαδου παγκοσμίως και αξιολόγηση της πορείας της σε βάθος χρόνου. Τα δεδομένα έδειξαν πως η παραγωγή υπέστη μείωση σε ποσοστό της τάξης του 20% το 2022/2023. Στην Ευρώπη, η οποία αποτελεί και τον μεγαλύτερο παραγωγό ελαιόλαδου παγκοσμίως παράγοντας το 66,6% της παγκόσμιας παραγωγής, σημείωσε τα χαμηλότερα επίπεδα παραγωγής από το 1994/1995. Υπάρχει πολύ περιορισμένη βιβλιογραφία που να αναλύει τις τάσεις και την πορεία των τιμών του ελαιόλαδου για την περίοδο 2023/2024, όπου υπήρξε πρωτόγνωρη άνοδος των τιμών παγκοσμίως. Η συγκεκριμένη μελέτη, μέσω της ανάλυσης της πορείας των τιμών από το 2012/2013 έως και το 2023/2024 εντόπισε ότι το 2024 στην Ευρώπη η τιμή του ελαιόλαδου είχε αύξηση 50% σε σύγκριση με το 2023. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον είχε η Ανάλυση Κύκλου Ζωής του ελαιόλαδου μέσω της διερεύνησης μελετών που έχουν γίνει από επιστήμονες ανά τα έτη. Η AKZ έχει μεγάλη σημασία, διότι αποτελεί το μέσο για τον εντοπισμό των κυριότερων

περιβαλλοντικών προβλημάτων που προκύπτουν από την παραγωγή του ελαιόλαδου και είναι εφικτό να προσδιοριστούν οι φάσεις του κύκλου ζωής του που έχουν τη μεγαλύτερη δυσμενή περιβαλλοντική επιρροή. Από τις ποικίλες περιβαλλοντικές κατηγορίες επιδράσεων σύμφωνα με τους Κανόνες Κατηγορίας Προϊόντων (Product Category Rules) για το ελαιόλαδο του Διεθνούς Συστήματος Περιβαλλοντικής Δήλωσης Προϊόντων (International Environmental Product Declaration), αυτή που στη συγκεκριμένη έρευνα είχε τη μέγιστη επιρροή στις αποδόσεις των ελαιοκαλλιέργειών, είναι η κλιματική αλλαγή. Πιο συγκεκριμένα, οι μεγαλύτερες περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις λόγω εκπομπών CO₂ και NO₂ που οφείλονταν στην παραγωγή και εφαρμογή λιπασμάτων στις καλλιέργειες, κυρίως εξαιτίας των αζωτούχων με μέγιστα ποσοστά 81% στην κλιματική αλλαγή. Συνοπτικά, τα αποτελέσματα των βιβλιογραφικών ανασκοπήσεων των μελετών AKZ στην κατηγορία της κλιματικής αλλαγής παρουσιάζονται παρακάτω :

<i>Κωδικός</i>	<i>Τίτλος</i>	<i>Χώρα</i>	<i>Λειτουργική Μονάδα (FU, Functional Unit)</i>	<i>Περιβαλλοντικές Κατηγορίες Επιδράσεων</i>	<i>Επιδράσεις ανά κατηγορία</i>
1	Optimization of olive growing practices in Spain from a life cycle assessment perspective (Romero-Gamez et al., 2017).	Ισπανία	1 Τόνος ελιάς	Κλιματική Αλλαγή	224 kg CO ₂ eq/ton
2	Environmental impact of the most representative Spanish olive oil farming systems: A life cycle assessment study (Fernandez-Lobato et al., 2024).	Ισπανία	1 κιλό ελιάς	Κλιματική Αλλαγή	κυμαίνονται σε 2,9 kg CO ₂ eq/kg (παραδοσιακά συστήματα), 3,49 kg CO ₂ eq/kg (συστήματα με άρδευση) έως και 6.09 kg of CO ₂ eq/kg (υπέρπυκνα συστήματα με άρδευση)
3	Analysis and trends for Life Cycle Assessment of olive oil production (Espadas-Aldana et al., 2019).	Βιβλιογραφική ανασκόπηση 23 μελετών AKZ	1 Τόνος ελιάς-1 Λίτρο ελαιόλαδου	Κλιματική Αλλαγή	460 kg CO ₂ eq/ton ελιάς και 1,6 kg CO ₂ eq/L ελαιόλαδου
4	Life Cycle Assessment for Olive Production: A Case Study for the Region of Trás-os-Montes, Portugal(Brito and	Πορτογαλία	1 κιλό ελιάς	Κλιματική Αλλαγή	0,249 kg CO ₂ eq/kg (ημιενταντικ ό σύστημα καλλιέργειας)

	Fernandes-Silva, 2022).				
5	Ο κύκλος ζωής του ελαιόλαδου υψηλής ποιότητας και η επίδραση στο περιβάλλον(Καρακίκε, 2021).	Ελλάδα	1L ελαιόλαδου	Αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας	371,7179 g CO ₂ eq/L ελαιόλαδου

Πίνακας 3 : Αποτελέσματα των βιβλιογραφικών ανασκοπήσεων στην κατηγορία της Κλιματικής Αλλαγής

Γενικά, οι αναλύσεις συγκλίνουν στο συμπέρασμα των υψηλών τιμών επιρροής στα στάδια της λίπανσης, της φυτοπροστασίας και της άρδευσης. Ακόμη, ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στο γεγονός πως η υψηλή πυκνότητα, η άρδευση και η υψηλή κλίση συνδέονται με αύξηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε σύγκριση με τα υπόλοιπα συστήματα φύτευσης. Εν κατακλείδι, όλες οι μελέτες της AKZ του ελαιόλαδου εστίαζαν στην ανάγκη εφαρμογής μεθόδων που θα στοχεύουν στη βελτίωση της διαχείρισης του νερού και της ενέργειας, καθώς επίσης και στην ορθολογική χρήση των μηχανημάτων, των λιπασμάτων και των φυτοφαρμάκων έτσι ώστε να συμβάλουν στη μείωση των παραγόμενων ρύπων.

Ακόμη, πραγματοποιήθηκε ανασκόπηση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της καλλιέργειας, με σκοπό να προσδιοριστούν τα επιβλαβή αέρια του θερμοκηπίου και τα ποσοστά αυτών που προέρχονται από τη γεωργία. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως 25% CO₂, 50% CH₄ και 70% N₂O αποτελούν τα ποσοστά που εκπέμπονται από τον γεωργικό τομέα. Επίσης, το διοξείδιο του άνθρακα CO₂ είναι το πρώτο σε επίπεδο σημαντικότητας αέριο και το μεθάνιο CH₄ αποτελεί το δεύτερο. Σύμφωνα με τους ειδικούς η κλιματική αλλαγή αποτελεί το μέγιστο κίνδυνο για το περιβάλλον εξαιτίας των υψηλών συγκεντρώσεων αερίων θερμοκηπίων, κυρίως διοξειδίου του άνθρακα CO₂. Τα σημαντικότερα ποσοστά CO₂ απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα κυρίως από την καύση των ορυκτών καυσίμων, τις γεωργικές πρακτικές, παραγωγή χημικών και ηλεκτρικής ενέργειας. Στοιχεία της Ευρωπαϊκής Ένωσης, προτείνουν ελάττωση των εκπομπών σε ποσοστό 36-37% έως το 2030 και σε ποσοστό 42-49% για το 2050 σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990, με στόχο τον περιορισμό της επίδρασης της γεωργίας στο σύνολο των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου.

Συμπερασματικά, προκύπτει η έμμεση ποσοτική συνεισφορά της γεωργίας ακριβείας στη διαμόρφωση των τιμών του ελαιόλαδου με σκοπό να συμβάλει στην προσπάθεια εξισορρόπησης του παγκόσμιου ισοζυγίου Προσφοράς-Ζήτησης. Διότι, η διαρκής αύξηση της τιμής παγκοσμίως οφείλεται κυρίως στο έλλειμμα της παγκόσμιας παραγωγής ελαιόλαδου,

καθώς επίσης στις αυξημένες τιμές εισροών (λιπάσματα, φυτοφάρμακα, νερό άρδευσης) και ενέργειας. Η μειωμένη παραγωγή προέκυψε πρωτίστως από τις κλιματολογικές συνθήκες που επικράτησαν (αύξηση θερμοκρασίας, έντονη ξηρασία, μειωμένες βροχοπτώσεις). Η Γεωργία Ακριβείας έχει ως στόχο την αύξηση της παραγωγής και τη βελτίωση της ποιότητας σε συνδυασμό με τη μείωση των αρνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων και κατ' επέκταση τη βελτίωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος. Έτσι, με την εφαρμογή της είναι εφικτό να περιοριστούν τα ακραία περιβαλλοντικά φαινόμενα λόγω της κλιματικής αλλαγής, που επηρεάζουν αρνητικά την παραγωγή, καθώς επίσης και να επιτευχθεί ορθολογική χρήση των εισροών και της ενέργειας για εξοικονόμηση φυσικών πόρων και οικονομία στο κόστος της παραγωγής του ελαιόλαδου. Τέλος, υπάρχει επιτακτική ανάγκη ανάπτυξης στρατηγικών εφαρμογής πρακτικών της γεωργίας ακριβείας στην ελιά, με κύριο στόχο τον μετριασμό των συνεπειών της κλιματικής αλλαγής, έτσι ώστε να αποφευχθούν οι χειρότερες επιπτώσεις αυτής στον πρωτογενή τομέα.

Η μελλοντική έρευνα είναι δυνατόν να εμβαθύνει περισσότερο στις μεταβλητές και στις πρακτικές της γεωργίας ακριβείας, έτσι ώστε η περίπλοκη διαδικασία υιοθέτησης να καταστεί περισσότερο κατανοητή και από τους μέσους παραγωγούς. Είναι γεγονός, πως ο τομέας της τεχνολογίας εξελίσσεται με ταχύτατους ρυθμούς, με αποτέλεσμα να προκύπτουν διαρκώς νέα δεδομένα και να εφαρμόζονται πιο καινοτόμες τάσεις. Έτσι, η πρόσβαση σε νέες πληροφορίες είναι αναγκαία. Επιπλέον, η μεθοδολογία αξιολόγησης των δεδομένων χαρτογράφησης και καταγραφής της υφιστάμενης κατάστασης αγρού, με στόχο τη λήψη των κατάλληλων αποφάσεων διαχείρισης είναι θέμα για περαιτέρω έρευνα. Τέλος, δεδομένου ότι η βιβλιογραφία είναι περιορισμένη σχετικά με την άμεση επίδραση της γεωργίας ακριβείας στη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, τα συμπεράσματα σχετικά με την δυνατότητα μετριασμού τους προκύπτουν από την άμεση επίδραση της γεωργίας ακριβείας στη μείωση των εισροών. Και τα παραπάνω δεδομένα θα μπορούσαν να υποστούν περαιτέρω μελέτη.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

Ξενόγλωσσες

- Almeida, A., Figueiredo, T. and Fernandes-Silva, A. (2015) Data used as an indicator of mechanical olive harvest season, *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 7, 2-5.
- Balafoutis, A., Beck, B., Fountas, S., Vangeyte, J., van der Wal, T., Soto, I., Gómez-Barbero, M., Barnes, A. and Eory, V. (2017) Precision Agriculture Technologies Positively Contributing to GHG Emissions Mitigation, Farm Productivity and Economics, *Sustainability*, 9, 1339.
- Barnes, A., Soto, I., Eory, V., Beck, B., Balafoutis, A., Sánchez, B., Vangeyte, J., Fountas, S., van der Wal, T. and Gómez-Barbero, M. (2019) Exploring the adoption of precision agricultural technologies: A cross regional study of EU farmers, *Land Use Policy*, 80, 163–174.
- Besnard, G., Terral, J. and Cornille, A. (2018) On the origins and domestication of the olive: a review and perspectives, *Annals of Botany*, 121, 385–403.
- Bianco, R., Proietti, P., Regni, L. and Caruso, T. (2021) Planting Systems for Modern Olive Growing: Strengths and Weaknesses, *Agriculture*, 11, 494.
- Bongiovanni, R., & Lowenberg-DeBoer, J. (2004). Precision agriculture and sustainability. *Precision agriculture*, 5, 359-387.
- Brady, N. and Weil, R. (2011) *The Nature and Properties of Soils*, Embryo Publications.
- Brito, T. and Fernandes-Silva, A. (2022) Life Cycle Assessment for Olive Production: A Case Study for the Region of Trás-os-Montes, Portugal, *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences*, 76 (4), 526-530.
- Calderón, R., Navas-Cortés, J.A., Lucena, C. & Zarco-Tejada, P.J. (2013). High-resolution airborne hyperspectral and thermal imagery for early detection of Verticillium wilt of olive using fluorescence, temperature and narrow-band spectral indices. *Remote Sensing of Environment*, 139, pp.231–245.
- Espadas-Aldana, G., Vialle, C., Belaud, J., Vaca-Garcia, C. and Sablayrolles, C. (2019) Analysis and trends for Life Cycle Assessment of olive oil production, *Sustainable Production and Consumption*, 19, pp.216-230.
- European Commission. Directorate-General for Health and Food Safety. (2017). Overview report on the implementation of member states' measures to achieve the sustainable use of pesticides under Directive 2009/128/EC (Publication No. 2017-6291). Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2875/846869>

Fatih, C., Charfeddine, L. and Mishra, P. (2020) Modeling and Forecasting Olive Oil Price Using Fuzzy Time Series and a Fractional Integrated Stochastic Process, *Middle-East Journal of Scientific Research*, 28(4), 322-336.

FAO

Fernandez-Lobato, L., Ruiz-Carrasco, B., Tostado-Veliz, M., Jurado, F. and Vera, D. (2024) Environmental impact of the most representative Spanish olive oil farming systems: A life cycle assessment study, *Journal of Cleaner Production*, 442, 141169.

Garg, S., Rumjit, N. and Roy, S. (2023) Smart agriculture and nanotechnology: Technology, challenges, and new perspective, *Advanced Agrochem*, 2773-2371.

Gavioli, A., Godoy de Souza, E., Leones Bazzi, C., Schenatto, K. and Miguel Betzek, N. (2019) Identification of management zones in precision agriculture: An evaluation of alternative cluster analysis methods, *biosystems engineering*, 181, 86-102.

Giacomo, G. and Romano, P. (2022) Evolution of the Olive Oil Industry along the Entire Production Chain and Related Waste Management, *Energies*, 15, 465.

Gołasa, P., Wysokinski, M., Bienkowska-Gołasa, W., Gradziuk, P., Golonko, M., Gradziuk, B., Siedlecka, A. and Gromada, A. (2021) Sources of Greenhouse Gas Emissions in Agriculture, with Particular Emphasis on Emissions from Energy Used, *Energies*, 14, 3784.

Gonzalez-Dugo, V., Durand, J. and Gastal, F. (2010) Water deficit and nitrogen nutrition of crops. A review, *Agronomy for Sustainable Development*, 30, 529-544.

Jouffroy-Bapicot, I., Pedrotta, T., Debret, M., Field, S., Sulpizio, R., Zanchetta, G., Sabatier, P., Roberts, N., Tinner, W., Walsh, K. and Vanniere, B. (2021) Olive groves around the lake. A ten-thousand-year history of a Cretan landscape (Greece) reveals the dominant role of humans in making this Mediterranean ecosystem, *Quaternary Science Reviews*, 267, 107072.

Kakkavou, K., Gemtou, M. and Fountas, S. (2024) Drivers and barriers to the adoption of precision irrigation technologies in olive and cotton farming—Lessons from Messenia and Thessaly regions in Greece, *Smart Agricultural Technology*, 100401.

Kour, D., Bakshi, P., Wali, V.K., Sharma, N., Sharma, A. and Iqbal, M. (2018) Alternate Bearing in Olive - A Review, *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(9), 2281-2297.

Kyriazis, N. (2024) Food Inflation Examination through the Dynamic Nexus between Olive Oil and Substitutes, *Economies*, 12, 57.

- Lanucara, S., Pratico, S., Pioggia, G. and Di Fazio, S. (2024) Web-based spatial decision support system for precision agriculture: A tool for delineating dynamic management unit zones (MUZs), *Smart Agricultural Technology*, 8, 100444.
- Lindsey, R. (2024). Climate Change: Atmospheric Carbon Dioxide. Accessed May 15, 2024.
- López-Granados, F., Jurado-Expósito, M., Romero, S. & García-Torres, L. (2004). Leaf nutrient spatial variability and site-specific fertilization maps within olive (*Olea europaea* L.) orchards. *European Journal of Agronomy*.21(2). pp.209-222.
- Marino, G., Macaluso, L., Paolo Marra, F., Ferguson, L., Marchese, A., Campisi, G., Volo, P., Laudicina, V. and Caruso, T. (2017) Horticultural performance of 23 Sicilian olive genotypes in hedgerow systems: Vegetative growth, productive potential and oil quality, *Scientia Horticulturae*, 217, 217-225.
- Massoud, A., Ammar, E., Fakhry, S., Abu-Amer, M., Sabry, O., Mabrouk, K. and Moneam, M (2023) Role of Flaxseed Oil and Olive Oil in Management of Fatty Liver Diseases with Dyslipidemia, *European Chemical Bulletin*, 12, 8.
- Monge, M. (2024) Trends and persistence in global olive oil prices after COVID-19, *Journal of Revenue and Pricing Management*, doi : 10.1057/s41272-024-00481-x
- Nteve, G., Kostas, S., Polidoros, A., Madesis, P. and Nianiou-Obeidat, I. (2024) Adaptation Mechanisms of Olive Tree under Drought Stress: The Potential of Modern Omics Approaches, *Agriculture*, 14, 579.
- Paraskevopoulos, A. and Bouloulis, K., 2007. Precision agricultural practices in olive trees in Greece. *Proceedings of the 6th European Conference on Precision Agriculture*, Skiathos, Greece. Poster Abstracts in CD
- Rallatou, D. and Tzouvelekas, V. (2016) An Analysis of the Trade Patterns of Olive-Oil in the European Union, *Agricultural Economics Review*, 17, 2.
- Rodrigues, M., Coelho, V., Arrobas, M., Gouveia, E., Raimundo, S., Correia, C. and Bento, A. (2019) The effect of nitrogen fertilization on the incidence of olive fruit fly, olive leaf spot and olive anthracnose in two olive cultivars grown in rainfed conditions, *Scientia Horticulturae*, 256, 108658.
- Rodriguez-Lizana, A., Pereira, M., Ribeiro, C., & Soares, A. (2021). Spatially variable pesticide application in olive groves: Evaluation of potential pesticide-savings through stochastic spatial simulation algorithms. *Science of the Total Environment*, 778:146111.
- Roma, E. and Catania, P. (2022) Precision Oliviculture: Research Topics, Challenges, and Opportunities—A Review, *Remote Sensing*, 14, 1668.

- Roma, E., Laudicina, V. Vallone, M. & Catania, P. (2023). Application of Precision Agriculture for the Sustainable Management of Fertilization in Olive Groves. *Agronomy*, 13, pp. 324.
- Román, C., Llorens, J., Uribeetxebarria, A. et al., 2020. Spatially variable pesticide application in vineyards: part II, field comparison of uniform and map-based variable dose treatments. *Biosyst. Eng.* 1
- Romero-Gamez, M., Castro-Rodríguez, J. and Suarez-Rey, E. (2017) Optimization of olive growing practices in Spain from a life cycle assessment perspective, *Journal of Cleaner Production*, 149, 25-37.
- Romo, A., Fraile, S., Sanz, J. and Casanova, J-L., (2007). Management support for an olive-tree plantation through remote sensing. *6th European European Conference on Precision Agriculture*, 3-6 June, Skiathos Greece, Poster Papers Proceedings in CD.
- Rufat, J., Villar, J., Pascual, M., Falguera, V. and Arbones, A. (2014) Productive and vegetative response to different irrigation and fertilization strategies of an Arbequina olive orchard grown under super-intensive conditions, *Agricultural Water Management*, 144, 33-41.
- Saadati, S., Moallemi, N., Mortazavi, S. and Seyyednejad, S. (2013) Effects of zinc and boron foliar application on soluble carbohydrate and oil contents of three olive cultivars during fruit ripening, *Scientia Horticulturae*, 164, 30-34.
- Salomone, R. and Ioppolo, G. (2012) Environmental impacts of olive oil production: a Life Cycle Assessment case study in the province of Messina (Sicily), *Journal of Cleaner Production*, 28, 88-100.
- Sánchez-Martínez, J.D., Garrido-Almonacid, A. (2018) Olive cultivation in the era of globalization, *Science & Technology Development Journal - Social Sciences & Humanities*, 1, 1.
- Schrijver, R (2016). Precision agriculture and the future of farming in Europe. Scientific Foresight Study. European Parliament, pp. 38.
- Scott, F., Cowley, C. and Kreitman, T. (2023) Tight Labor Markets Have Been a Key Contributor to High Food Inflation, *Economic Bulletin (Federal Reserve Bank of Kansas City)*, 1-4.
- Shaukat, H., Flower, K. and Leopold, M. (2022) Quasi-3D mapping of soil moisture in agricultural fields using electrical conductivity sensing, *Agricultural Water Management*, 259, 107246

- Solanelles, F., Escola, A., Planas, S., Rosell, J.R., Camp, F. and Gracia., F., (2006). An Electronic Control System for Pesticide Application Proportional to the Canopy Width of Tree Crops. *Biosystems Engineering*, 95(4): 473-481.
- Spyropoulos, N., Dalezios, N., Kaltsis, I., & Faraslis, I. (2020). Very highresolution satellite-based monitoring of crop (olive trees) evapotranspiration in precision agriculture. *Int. J. Sustainable Agricultural Management and Informatics*, 6(1), pp. 22-42.
- Taseer, A. and Han, X. (2024) Advancements in variable rate spraying for precise spray requirements in precision agriculture using Unmanned aerial spraying Systems: A review, *Computers and Electronics in Agriculture*, 219, 108841.
- Tsarouhas, P. & Papachristos, I. (2021). Environmental impact of tsipouro production by life cycle assessment. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 899, 012004.
- Tsarouhas, P., Achillas, Ch., Aidonis, D., Folinas, D. and Maslis V. (2015) Life Cycle Assessment of olive oil production in Greece, *Journal of Cleaner Production*, 1-9.
- Van Evert, F. K., Gaitán-Cremaschi, D., Fountas, S. & Kempenaar, C. (2017). Can Precision agriculture increase the profitability and sustainability of the production of potatoes and olives. *Sustainability*, 9, pp.1863.
- Vidican, R., Mălinas, A., Ranta, O., Moldovan, C., Marian, O., Ghete, A., Ghise, C., Popovici, F. and Cătușescu, G. (2023) Using Remote Sensing Vegetation Indices for the Discrimination and Monitoring of Agricultural Crops: A Critical Review, *Agronomy*, 13, 30-40.
- Vilar, J., Pereira, E. (2018) *International olive Growing worldwide analysis and Summary*. Fundación Caja Rural de Jaén.
- Villalobos, F., Lopez-Bernal, A., García-Tejera, O. and Testi, L. (2023) Is olive crop modelling ready to assess the impacts of global change? *Frontiers in Plant Science*, 14:1249793.
- Wisser, D., Frolking, S., Douglas, E. M., Fekete, B. M., Vörösmarty, C. J., Schumann, A. H., (2008). Global irrigation water demand: Variability and uncertainties arising from agricultural and climate data sets, *Geophysical Research Letters*, 35, pp. 24408.
- Yin, N., Liu, R., Zeng, B. and Liu, N. (2019) A review: UAV-based Remote Sensing, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 490 062014
- Zipori, I., Erel, R., Yermiyahu, U., Ben-Gal, A. and Dag, A. (2020) Sustainable Management of Olive Orchard Nutrition: A Review, *Agriculture*, 10, 11.

Ελληνικές

- Βασιλακάκης, Μ. (2016). *Γενική και Ειδική Δενδροκομία*, Εκδόσεις Άγις-Σάββας Δ. Γαρταγάνης.
- Γέμτος, Θ., Φουντάς Σ., Μαρκινός Α., Αγγελοπούλου και Α., Χατζηνίκος Α. (2018)
- Γράβαλος, Ι. & Μακρής, Α. (2024) *Γεωργικά Ρομπότ και Μη Επανδρωμένα Εναέρια Οχήματα*, Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις.
- Δαμαλίδης, Κ. & Μάσλης, Β. (2008). *Ανάλυση Κύκλου Ζωής του Εμφιαλωμένου Τσίπουρου και Ελαιόλαδου*. Διπλωματική Διατριβή. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα
- Δεναζά, Ν. και Κωστελένος, Γ. (2019). Εγκατάσταση και φύτευση της ελιάς, *Ελιά & Ελαιόλαδο*, 89, 01-2117.
- Εφαρμογές και Προοπτική Γεωργίας Ακριβείας στην Ελλάδα*. Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Τμήμα Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωτεχνικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Θερίος, Ι. (2015). *Ελαιοκομία Γ' Επανεκδοση*, Εκδόσεις Άγις-Σάββας Δ. Γαρταγάνης.
- Καρακίκε, Δ. (2021). *Ο κύκλος ζωής του ελαιόλαδου υψηλής ποιότητας και η επίδραση στο περιβάλλον*. Διπλωματική Διατριβή. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Αθήνα
- Καρατασίου, Ε. & Κάλφας, Η. (2018). *Ελιά*, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Μακεδονίας.
- Κωστελένος, Γ. & Βλασάκη, Ε. (2011). *Υπέρπυκνες Γραμμικές Καλλιέργειες*.
- Κωστελένος, Γ. (2011). *Στοιχεία Ελαιοκομίας: Ιστορία, περιγραφή και γεωγραφική κατανομή των ποικιλιών ελιάς στην Ελλάδα*, Ιδιωτική Έκδοση.
- Λιάκος, Β. (2013). *Εφαρμογή νέων τεχνολογιών στη διαχείριση οπωρώνων μηλιάς*. Διδακτορική Διατριβή. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος
- Παύλου, Κ. (2010). Χωροχρονική παραλλακτικότητα σε ελαιώνα της περιοχής Τριφυλλιάς. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος
- Φουντάς, Σ. & Γέμτος, Θ. (2015). *Γεωργία Ακριβείας*. Εκδόσεις Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις.

Ηλεκτρονικές Πηγές

<http://www.climate.gov>

https://agriculture.ec.europa.eu/farming/crop-productions-and-plant-based-products/olive-oil_el

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

<https://www.fao.org/statistics/en>

<https://www.internationaloliveoil.org>

[https://www.moi.gov.cy/moa/da/da.nsf/All/B9B43BD726856F98C22588640039CBCF/\\$file/%CE%97%20%CE%BA%CE%B1%CE%BB%CE%BB%CE%B9%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1%20%CF%84%CE%B7%CF%82%20%CE%95%CE%B%CE%B9%CE%AC%CF%82.pdf?OpenElement](https://www.moi.gov.cy/moa/da/da.nsf/All/B9B43BD726856F98C22588640039CBCF/$file/%CE%97%20%CE%BA%CE%B1%CE%BB%CE%BB%CE%B9%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1%20%CF%84%CE%B7%CF%82%20%CE%95%CE%B%CE%B9%CE%AC%CF%82.pdf?OpenElement)

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα: Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν.1599/1986, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης.