



**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΖΩΟΛΟΓΙΑΣ & ΕΝΤΟΜΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΦΥΤΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ
& ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Ευφυής φυτοπροστασία με χρήση τηλεπισκόπησης έναντι της ψύλλας
της ελιάς, *Eurphyllura* spp. (Hemiptera: Psyllidae)

Μαριάνθη Σωτηρία Γ. Αναγνώστου

Επιβλέπων Καθηγητής:
Γεώργιος Παπαδούλης, Καθηγητής Γ.Π.Α.

**ΑΘΗΝΑ
2024**

**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΖΩΟΛΟΓΙΑΣ & ΕΝΤΟΜΟΛΟΓΙΑΣ**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Ευφυής φυτοπροστασία με χρήση τηλεπισκόπησης έναντι της ψύλλας
της ελιάς, *Eurphyllura* spp. (Hemiptera: Psyllidae)

Plant protection using remote sensing against olive psyllid,
Eurphyllura spp. (Hemiptera: Psyllidae)

Μαριάνθη Σωτηρία Γ. Αναγνώστου

Εξεταστική επιτροπή:

Γεώργιος Παπαδούλης, Καθηγητής Γ.Π.Α. (επιβλέπων)

Διονύσιος Περδίκης, Αναπληρωτής Καθηγητής Γ.Π.Α.

Γεώργιος Κολιόπουλος, Επίκουρος Καθηγητής Γ.Π.Α.

Ευφυής φυτοπροστασία με χρήση τηλεπισκόπησης έναντι της ψύλλας της ελιάς, *Eurhyllura* spp. (Hemiptera: Psyllidae)

ΠΜΣ Ολοκληρωμένα Συστήματα Φυτοπροστασίας & Διαχείρισης του Περιβάλλοντος
Τμήμα Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής
Εργαστήριο Γεωργικής Ζωολογίας & Εντομολογίας

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ελιά (*Olea europaea* L.) αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές καλλιέργειες παγκοσμίως, ειδικά για την περιοχή της Μεσογείου και φυσικά και για την Ελλάδα, με τις καλλιεργούμενες εκτάσεις ολοένα να αυξάνονται λόγω της σημαντικότητας του ελαιολάδου, κατατάσσοντάς τη στις πιο οικονομικά σημαντικές καλλιέργειες δέντρων. Όσον αφορά τους εντομολογικούς εχθρούς, το 25% απώλειας της παραγωγής προέρχεται από αυτούς. Η ψύλλα της ελιάς, παρότι ένας δευτερευόντως σημαντικότητας εχθρός, όταν παρουσιάζει πυκνό πληθυσμό μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές απώλειες για την παραγωγή, κρίνοντας σε ανάλογες περιπτώσεις σημαντική την παρακολούθηση του πληθυσμού.

Για την ευκολότερη και πιο αποτελεσματική παρακολούθηση των καλλιεργειών, ώστε να ληφθούν οι κατάλληλες αποφάσεις από τους γεωργούς για τις ενέργειες που πρέπει να ακολουθήσουν στις καλλιέργειες, τις τελευταίες δεκαετίες ο Γεωπόνος ως σύμβουλος έχει στα χέρια του το χρήσιμο εργαλείο της τηλεπισκόπησης (remote sensing), στα πλαίσια της «Ευφυούς Γεωργίας».

Η τηλεπισκόπηση έχει αλλάξει τον τρόπο προβολής και διαχείρισης των χερσαίων πόρων. Μια από τις βασικές προϋποθέσεις για την εφαρμογή της είναι η κατανόηση της αλληλεπίδρασης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με τη χλωροφύλλη των φυτών. Σε περίπτωση καταπόνησης ενός φυτού, από βιοτικούς ή και αβιοτικούς παράγοντες, συμβαίνουν βιοχημικές αλλαγές, πριν ακόμα από την εμφάνιση ορατών συμπτωμάτων. Αξιοποιώντας τις τηλεπισκοπικές μεθόδους με προσαρτημένους αισθητήρες διαφόρων ειδών (οπτικούς, θερμικούς, πολυφασματικούς, υπερφασματικούς) στα Μη Επανδρωμένα Αεροσκάφη (ΣμηΕΑ) αλλά και σε Δορυφόρους επιτυγχάνεται απεικόνιση του αγρού σε υψηλή ανάλυση μέσω χαρτογράφησης, και ανίχνευση τυχόν καταπόνησης της βλάστησης με τη χρήση δεικτών βλάστησης. Ο πιο δημοφιλής δείκτης φυτοϋγείας είναι ο δείκτης NDVI, από τα πρώτα αναλυτικά εργαλεία της τηλεπισκόπησης για τη μελέτη των πολυφασματικών εικόνων, που συσχετίζεται με την κατάσταση της βλάστησης.

Στόχος της μεταπτυχιακής εργασίας ήταν η συσχέτιση του δείκτη φυτοϋγείας NDVI, με τον αριθμό ατόμων ψύλλας της ελιάς, *Eurhyllura* spp., που καταμετρήθηκαν σε ελαιώνα, στο Κιάτο Κορινθίας. Για το σκοπό αυτό, έγινε λήψη δεδομένων με πολυφασματικό και οπτικό αισθητήρα προσαρτημένο επί ΣμηΕΑ, αλλά και λήψη δορυφορικών εικόνων από το δορυφόρο PlanetScope. Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία χαρτών για την περιοχή ενδιαφέροντος, και για τον υπολογισμό του δείκτη NDVI, και τελικά της μέσης τιμής του, για κάθε ημερομηνία δειγματοληψίας, μέσω προγραμμάτων φωτογραμμετρίας και GIS. Σκοπός ήταν η διάγνωση της προσβολής των ελαιόδεντρων από την ψύλλα της ελιάς. Η στατιστική μελέτη έδειξε στατιστικώς σημαντικά αποτελέσματα, με συσχέτιση της μέσης τιμής NDVI με τον αριθμό των ατόμων ψύλλας της ελιάς, και συγκεκριμένα αρνητική συσχέτιση, όπου για περισσότερα άτομα ψύλλας ο δείκτης NDVI κατέγραψε μικρότερες τιμές, και αντίστροφα.

Ανεπιφύλακτα η εφαρμογή της τηλεπισκόπησης στον τομέα της Γεωργίας, είναι πολύτιμο εργαλείο. Συνδυαστικά με την έρευνα του Γεωπόνου είναι δυνατή η ανίχνευση της καταπόνησης που έχουν υποστεί τα φυτά και το αίτιο που την προκάλεσε, όπως και η πρόβλεψη μελλοντικών σημείων προσβολής για μια στοχευμένη διαχείριση, μειώνοντας τις περισσότερες φορές το κόστος αλλά και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις στα πλαίσια της φυτοπροστασίας, επιτυγχάνοντας μεγαλύτερη ακρίβεια, και ταχύτητα στη διάγνωση.

Επιστημονική περιοχή: Φυτοπροστασία

Λέξεις κλειδιά: ανίχνευση βιοτικής καταπόνησης, εντομολογική προσβολή, πολυφασματική κάμερα, ΣμηΕΑ, τηλεπισκόπηση

Plant protection using remote sensing against olive psyllid, Euphyllura spp. (Hemiptera: Psyllidae)

*MSc Integrated Plant Protection & Environmental Management Systems
Department of Crop Science
Laboratory of Agricultural Zoology & Entomology*

ABSTRACT

The olive tree (*Olea europaea* L.) belongs to the family of Oleaceae and is one of the most important crops globally, especially in the Mediterranean, and of course for Greece, with the cultivated land increasing more and more, because of the importance of olive oil, placing it in the most economically important crops. Regarding the pests of olive trees, 25% of production loss is caused by the most common ones. Though, the olive psyllid's (*Euphyllura* spp.) is a secondary pest, when its population density is high, it can lead to major loss for the production, making crucial the population's observation. For the easiest and effective observation of the crops as well as making the right decision, on which steps the farmers must follow in agriculture, the last decade, the agronomist, as a consultant, has in his hands the useful tool of remote sensing, in the scope of "Smart Farming".

Remote sensing has changed the way of screening and handling the terrestrial resources. One of the main conditions for its application is the understanding of the interaction between electromagnetic radiation and the plant's chlorophyll. In case of plant stress from biotic or abiotic factors there can be biochemical changes, even before the appearance of visible symptoms. By utilizing the remote sensing methods with different types of attached sensors (optical, thermal, multispectral, hyperspectral) in the Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) and on satellites, the generation of high-resolution maps and the detection of possible vegetation stress through the vegetation index are achieved. The NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) is the most popular plant health indicator and one of the first analytic tools of remote sensing for the study of multispectral images, which is correlated with the condition of the vegetation.

The objective of this thesis was the correlation of the vegetation index NDVI with the number of adults of the insect that was accounted in an olive grove, in Kiato, Corinth. For this purpose, the data acquisition was achieved through a multispectral and optical sensor attached to a UAS, but also through satellite images from the satellite PlanetScope. The data was used for the mapping of the area of interest and the calculation of the NDVI index and finally to calculate the mean NDVI, for every date of sampling, through photogrammetry and GIS (Geographic Information System) programs. The purpose was the diagnosis of the olive tree's infestation from olive psyllid or even its prediction. In this study, there were statistically significant differences, which showed the correlation of mean NDVI and the number of adults of *Euphyllura* spp., and specifically a negative correlation, where for more olive psyllid individuals the NDVI index recorded lower values, and vice versa.

Without reservation, in the field of agriculture the application of remote sensing is a valuable tool. Combined with the agronomist, the detection of plant stress and its cause are possible, as well as the prediction of future infestation lowering the cost, but also reducing the environmental impact in the scope of plant protection, increasing the precision and speed of the diagnosis.

Scientific area: Phytopathology

Key words: aerial data, detection of biotic stress, GIS, multispectral imagery, pest, remote sensing, UAV

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της παρούσας μελέτης αισθάνομαι την ανάγκη και την υποχρέωση να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου στους ανθρώπους, χωρίς τη βοήθεια των οποίων, θα ήταν αδύνατο να καταφέρω το στόχο μου. Έτσι λοιπόν ευχαριστώ θερμά όλους τους καθηγητές και μέλη της συντονιστικής επιτροπής του Μεταπτυχιακού Προγράμματος για την καλή συνεργασία και την προθυμία τους.

Πρώτα απ' όλα, ευχαριστώ τον επιβλέποντα Καθηγητή κ. Γεώργιο Παπαδούλη για την αποδοχή μου στην ερευνητική του ομάδα στο Εργαστήριο Γεωργικής Ζωολογίας και Εντομολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών καθώς και για την καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος. Επιπλέον, ευχαριστώ τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Διονύσιο Πεردίκη και τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Γεώργιο Κολιόπουλο για την αποδοχή τους να συμμετάσχουν στην εξεταστική επιτροπή.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες εκφράζω στον Δρ. Αντώνιο Τσαγκαράκη, Επίκουρο Καθηγητή του Εργαστηρίου Σηροτροφίας και Μελισσοκομίας, για τη συμπαράσταση, την καλή συνεργασία και την υποστήριξη του κατά τη διάρκεια εκπόνησης της μεταπτυχιακής μου μελέτης.

Επιπρόσθετα, ευχαριστώ θερμά όλα τα μέλη του Εργαστηρίου Γεωργικής Ζωολογίας και Εντομολογίας που στάθηκαν αρωγοί κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας. Δε θα ήθελα να παραλείψω τον μεταπτυχιακό φοιτητή Κάρελλα Κωνσταντίνο για τη συμμετοχή και στήριξή του στην πραγματοποίηση των απαιτούμενων για το πείραμα πτήσεων με ΣμηΕΑ, και κυρίως την υποψήφια διδάκτωρ Αραποστάθη Ευαγγελία για τις πολύτιμες συμβουλές της, την προσοχή και την αμέριστη βοήθεια της μέχρι τέλους.

Τέλος ευχαριστώ την οικογένεια και τους φίλους μου για τη στήριξη και υπομονή τους καθ' όλη την διάρκεια της μεταπτυχιακής αυτής μελέτης.

Με την άδειά μου, η παρούσα εργασία ελέγχθηκε από την Εξεταστική Επιτροπή μέσα από λογισμικό ανίχνευσης λογοκλοπής που διαθέτει το ΓΠΑ και διασταυρώθηκε η εγκυρότητα και η πρωτοτυπία της.

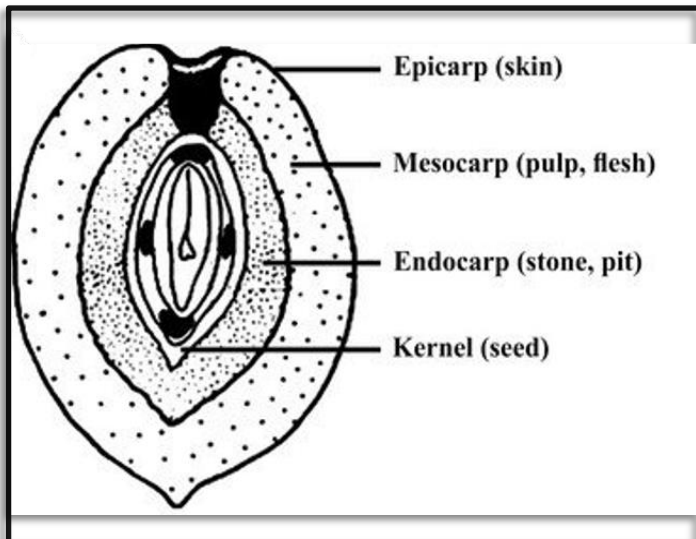
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1. Olea europaea	1
2. Η καλλιέργεια της ελιάς παγκοσμίως	2
2.1. Εξαγωγές και εισαγωγές σε παγκόσμιο επίπεδο	4
3. Η καλλιέργεια της ελιάς στην Ελλάδα	5
3.1. Εξαγωγές και εισαγωγές στην Ελλάδα	6
4. Οι σημαντικότεροι εχθροί της ελιάς	7
5. Οικολογία	15
6. Συμπτώματα	16
7. Αντιμετώπιση	17
8. Ευφυής φυτοπροστασία - Γεωργία ακριβείας	18
9. Τηλεπισκόπηση	21
9.1 Ακτινοβολία	22
9.2 Φωτοσύνθεση	23
9.3 Καταπόνηση φυτικών οργανισμών	24
9.4 Δείκτες Βλάστησης	24
Σκοπός Μελέτης	26
Υλικά και Μέθοδοι	27
10. Χειρισμοί στον Ελαιώνα	27
10.1. Πτήση ΣμηΕΑ	27
10.2. Τοποθέτηση παγίδων και δειγματοληψίες	29
10.3. Στερεοσκοπική παρατήρηση	30
11. Προγράμματα φωτογραμμετρίας	32
11.1 Πρόγραμμα Agisoft Metashape	32
11.2 Πρόγραμμα QGIS	34
11.3 Δορυφορικά Δεδομένα	36
Αποτελέσματα	42
Συζήτηση	48
Βιβλιογραφία	51

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. *Olea europaea*

Η ελιά (*Olea europaea* L.) ανήκει στην οικογένεια των Ελαιοειδών (Oleaceae) και πρωτοεμφανίστηκε πριν από περίπου 7.000 χρόνια. Από τότε μέχρι σήμερα καταλαμβάνει τεράστιες καλλιεργήσιμες εκτάσεις σε όλο τον πλανήτη. Βασικό χαρακτηριστικό του γένους *Olea* sp. είναι η μεγάλη διάρκεια ζωής και η διατήρηση της παραγωγικότητας του για χρόνια. Η ελιά μπορεί να ζήσει πάνω από 1000 χρόνια και έχει καλλιεργηθεί για χιλιετίες σε όλη τη λεκάνη της Μεσογείου. Είναι ένα αειθαλές, καρποφόρο δέντρο της μεσογειακής βλάστησης, ύψους 8-10 μέτρων, καλά προσαρμοσμένο στην ξηρασία και τα φτωχά εδάφη, καθώς και ανθεκτικό στην αλατότητα (Guerrero Maldonado, 2016). Σήμερα, η ελιά καλλιεργείται σχεδόν σε όλα τα γεωγραφικά διαμερίσματα της χώρας, σε περιοχές με υψόμετρο από 600 έως και 1000 μέτρα. Ευδοκίμει σε άφθονο ηλιακό φως, σε εδάφη βαθιά, αμμοπηλώδη, τα οποία συγκρατούν την υγρασία, ενώ παράλληλα παρουσιάζουν καλή στράγγιση, με ετήσιο ύψος βροχόπτωσης 400-600 mm και θερμοκρασία μεταξύ 18-20 °C, σε περιοχές απαλλαγμένες από χειμωνιάτικους παγετούς. Για μια επιτυχημένη καρπώδεση και μετέπειτα ωρίμανση του καρπού το καλοκαίρι χρειάζεται υψηλές θερμοκρασίες. Τα φύλλα της παρουσιάζουν σχήμα λογχοειδές, χρώμα ανοιχτό πράσινο στην πάνω επιφάνεια, δερματώδη με παχιά εφυμενίδα και αργυρόχρωμη απόχρωση στην κάτω επιφάνεια καλυμμένα από ένα στρώμα τριχών. Λόγω αυτών των μορφολογικών χαρακτηριστικών μειώνονται και οι απώλειες νερού από τα φύλλα. Τα άνθη έχουν μικρό μέγεθος και χρώμα λευκό-κίτρινο σε βοτρυώδεις ταξιανθίες (Εικόνα 2). Ο καρπός της ελιάς είναι δρύπη, 2-2,5 εκατοστών. Αποτελείται από το εξωκάρπιο, το σαρκώδες μεσοκάρπιο και το ενδοκάρπιο ή αλλιώς τον πυρήνα (Εικόνα 1). Η διάρκεια από την καρπώδεση έως την ωρίμανση του καρπού είναι 6-7 μήνες, όπου η έναρξη της ωρίμανσης σηματοδοτείται με την έναρξη της αλλαγής του πράσινου χρώματος (περκασμός) και τελειώνει με την ολοκλήρωση της. Σε μη αρδευόμενες



Εικόνα 1. Τα μέρη του καρπού της ελιάς (Braadbaart, et al., 2016)

όμως καλλιέργειες, η αλλαγή του χρώματος σαν κριτήριο για τη συγκομιδή δεν αρκεί. Η έναρξη της συγκομιδής καθορίζεται από το χρόνο ωρίμανσης και τον τρόπο επεξεργασίας του ελαιοκάρπου και η εποχή συγκομιδής επιδρά και στην παραγωγή του επόμενου έτους. Μια πρώιμη συγκομιδή, πριν την πλήρη αλλαγή του χρώματος του καρπού είναι προτιμότερη,

καθώς υπάρχει μικρότερος κίνδυνος προσβολής των καρπών από τα έντομα, μειώνεται η απώλεια της παραγωγής από καρπόπτωση και δίνει υψηλότερης ποιότητας ελαιόλαδο και μεγαλύτερη παραγωγή το επόμενο έτος. Με βάση την περιεκτικότητα του καρπού σε ελαιόλαδο και σε σάκχαρα, το μέγεθος του και τη σχέση σάρκας προς πυρήνα, οι ποικιλίες της ελιάς διακρίνονται στις ελαιοποιήσιμες, τις επιτραπέζιες και τις ποικιλίες διπλής χρήσης (και βρώσιμη και για ελαιόλαδο). Οι ελαιοποιήσιμες ποικιλίες καλλιεργούνται ως ξηρικές ενώ για την καλλιέργεια επιτραπέζιων ποικιλιών, η άρδευση θεωρείται απαραίτητη. Συμβάλει στην αύξηση της βλάστησης, στην καλύτερη ανθοφορία και άρα σε υψηλότερο ποσοστό καρπώδεσης, στην αύξηση του μεγέθους του καρπού και της ποιότητά του, καθώς και στην υψηλότερη παραγωγή ελαιόλαδου ανά δένδρο (Ποντίκης, 2000).



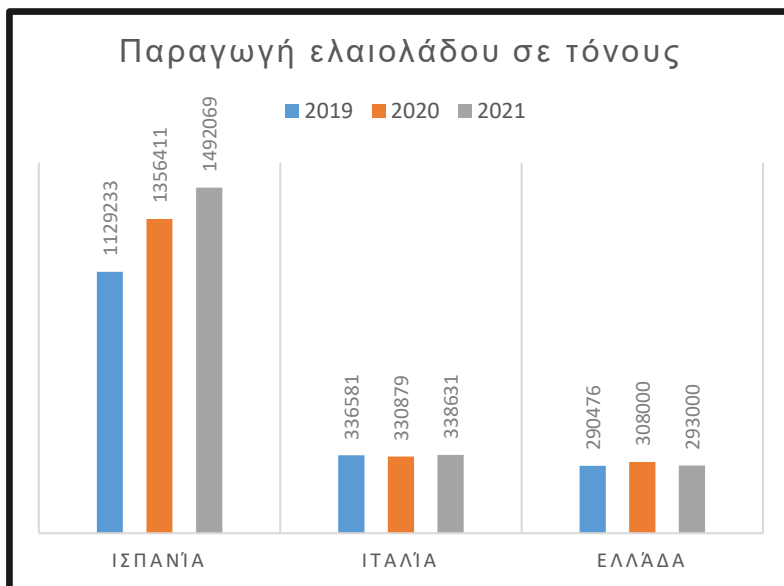
Εικόνα 2. Απεικόνιση των μορφολογικών χαρακτηριστικών της ελιάς (Chamberet, et al., 1833).

2. Η καλλιέργεια της ελιάς παγκοσμίως

Η ελιά καλλιεργείται στην εύκρατη ζώνη του βορείου και νότιου ημισφαιρίου, με τις καλλιέργειες στο βόρειο ημισφαίριο να αφορούν κατά κύριο λόγο στις μεσογειακές χώρες, με ποσοστό καλλιέργειας πάνω από 90% του συνόλου των ελαιόδεντρων παγκοσμίως. Όπως απεικονίζεται και στο ακόλουθο γράφημα (*Γράφημα 1*) για το 2021 η Ευρώπη είναι πρώτη σε παραγωγή ελαιολάδου με ποσοστό 71% (FAOSTAT, 2023). Οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις αυξάνονται καθότι όλο και περισσότερο τονίζεται η σημαντική αξία του ελαιολάδου και των προϊόντων της ελιάς. Αποτελεί από τις πιο εμβληματικές και οικονομικά σημαντικές καλλιέργειες δέντρων των περιοχών της Μεσογείου. Οι τρεις σπουδαιότερες ελαιοπαραγωγικές χώρες παγκοσμίως με σειρά σπουδαιότητας είναι η Ισπανία, η Ιταλία και η Ελλάδα, με την Ισπανία να έρχεται πρώτη σε παραγωγή ελαιολάδου. (*Γράφημα 2*). Το είδος αυτό είναι ένα από τα σημαντικότερα δέντρα για την αγροτική οικονομία της περιοχής της Μεσογείου καθώς οι μεσογειακές χώρες παράγουν περισσότερο από το 70% της συνολικής παγκόσμιας προσφοράς ελαιολάδου και περίπου το 95% της ευρωπαϊκής παραγωγής. (Guerrero Maldonado, 2016).



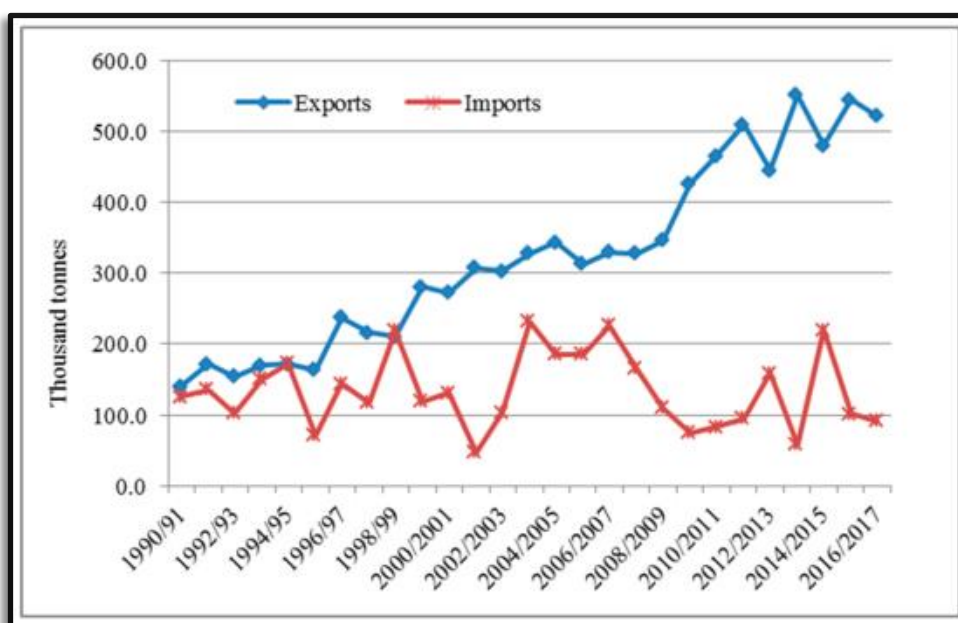
Γράφημα 1. Παραγωγή ελαιολάδου σε τόνους για την Ισπανία, την Ιταλία και την Ελλάδα (FAOSTAT, 2023).



Γράφημα 2. Ποσοστιαία κατανομή για την παραγωγής ελαιολάδου σε τόνους για κάθε μια Ήπειρο για το 2021 (FAOSTAT, 2023).

2. 1. Εξαγωγές και εισαγωγές σε παγκόσμιο επίπεδο

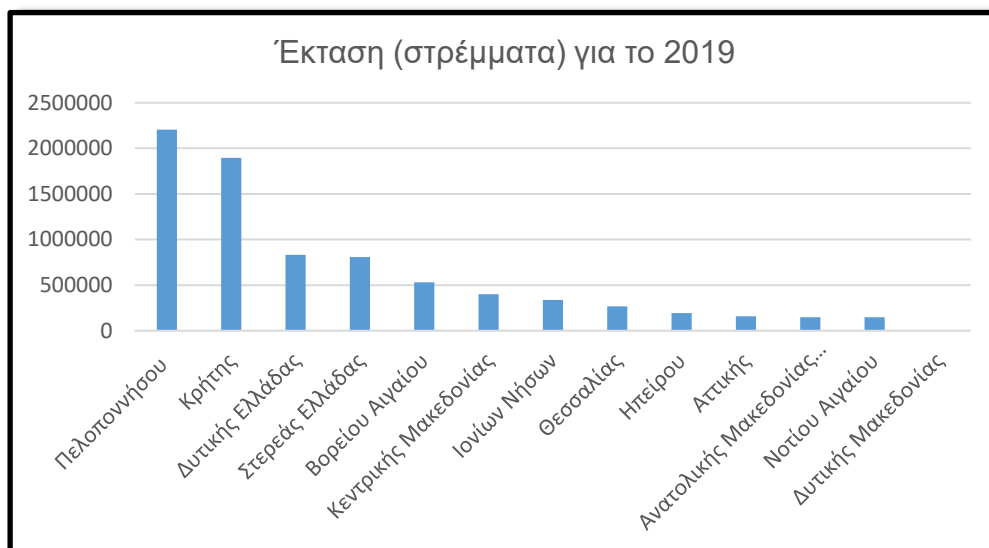
Σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία του Διεθνούς Συμβουλίου Ελαιολάδου η ετήσια παγκόσμια εξαγωγή ελαιολάδου αυξήθηκε από 337 σε 778 χιλιάδες τόνους από το 1991 έως το 2017. Από το 2018 η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) κυριαρχεί στην εξαγωγική αγορά, εξάγοντας το 66.4% του συνόλου του ελαιολάδου παγκοσμίως και εισάγοντας το 15% του παγκόσμιου μεριδίου. Οι μεσογειακές αυτές χώρες παράγουν πλεόνασμα ελαιολάδου, αλλά αντιμετωπίζουν μείωση της κατανάλωσης (Εικόνα 3). Έτσι με την ταυτόχρονη αύξηση των εξαγωγών ελαιολάδου παράλληλα καταγράφεται σημαντικός όγκος εισαγωγών το οποίο αποδίδεται στο φαινόμενο ενδοβιομηχανικού εμπορίου των μεσογειακών χωρών. Αυτό παρατηρείται συνήθως σε παραδοσιακούς παραγωγούς ελαιολάδου όπως η Ιταλία, η Ισπανία και η Γαλλία (Kashiwagi, et al., 2020).



Εικόνα 3. Εξαγωγές και εισαγωγές ελαιολάδου για την Ισπανία, την Ιταλία, τη Γαλλία, το Μαρόκο και την Ελλάδα (Kashiwagi, et al., 2020).

3. Η καλλιέργεια της ελιάς στην Ελλάδα

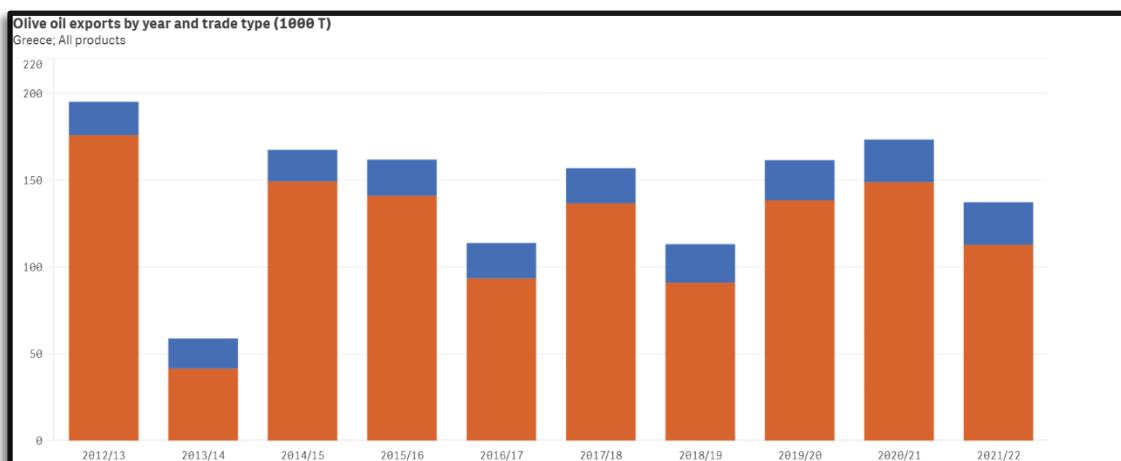
Όσον αφορά την Ελλάδα, αποτελεί μια από τις σημαντικότερες χώρες παραγωγής ελαιόλαδου με τα ελαιόδεντρα να είναι τα πιο διαδεδομένα καλλιεργούμενα δέντρα στην Ελλάδα, καλύπτοντας έκταση 7.000.000 στρέμματα. Τα ελαιόδεντρα μεμονωμένα ή σε ελαιώνες βρίσκονται σε όλα τα μέρη της χώρας που έχουν ήπιο μεσογειακό κλίμα (Mantzanas, et al., 2021). Το κλίμα στις περιοχές με καλλιεργούμενες εκτάσεις ελαιόδεντρων χαρακτηρίζονται θερμό και ξηρό με την κύρια παραγωγή ελαιόλαδου να προέρχεται από τις περιφέρειες Κρήτης και Πελοποννήσου, ενώ η παραγωγή βρώσιμων ποικιλιών δίνεται από τις Περιφερειακές Ενότητες Λάρισας, Εύβοιας, Αιτωλοακαρνανίας, Μαγνησίας, Μεσσηνίας, Φθιώτιδας, Χαλκιδικής, Λακωνίας, Άρτας (Γράφημα 3). Για το γένος *Olea*, τα κυριότερα είδη που απαντώνται στην Ελλάδα είναι η αγριελιά (*Olea europaea* var. *sylvestris*), και η ελιά η ευρωπαϊκή (*Olea europaea* var. *europaea*), το πιο κοινό καλλιεργούμενο είδος παγκοσμίως. Από τις 139 ποικιλίες ελαιόδεντρων που υπάρχουν παγκοσμίως, στην Ελλάδα αριθμούνται περίπου 38 ποικιλίες ελιάς. Χωρίζονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες, τις μικρόκαρπες για παραγωγή ελαιόλαδου (π.χ. Κορωνέικη), τις μεσόκαρπες που χρησιμοποιούνται για κατανάλωση αλλά και στην παραγωγή ελαιόλαδου (π.χ. Μεγαρείτικη) και στις αδρόκαρπες που είναι βρώσιμες (π.χ. Καλαμών) (Ποντίκης, 2000). Σύμφωνα με το ΥΠΑΑΤ (Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων), η Κορωνέικη ποικιλία φαίνεται να είναι η κυρίαρχη με ποσοστό 45% και ακολουθεί η Καλαμών με ποσοστό 20% (Μπακάλης & Παπαγεωργίου, 2021).



Γράφημα 3. Καλλιεργούμενες εκτάσεις σε στρέμματα με ελαιόδεντρα ανά περιφέρεια για το 2019 με πρώτη την περιφέρεια Πελοποννήσου με 220.038 στρέμματα (ΕΛΣΤΑΤ, 2019).

3. 1. Εξαγωγές και εισαγωγές στην Ελλάδα

Η Ελλάδα ως μία ελαιοπαραγωγική χώρα έχει μικρό ποσοστό εισαγωγής ελαιολάδου με εξαίρεση το 2014, λόγω των δυσμενών συνθηκών που επικρατούσαν με αποτέλεσμα πολλά δέντρα να ξεραθούν (λειψυδρία, υψηλές θερμοκρασίες) και αντίστοιχα να υπάρξει πτώση της εγχώριας παραγωγής. Στην ακόλουθη εικόνα φαίνονται οι εξαγωγές ελαιολάδου εντός και εκτός της Ε.Ε., με πτώση για το έτος 2014, αλλά και για το 2019 όπου η παραγωγή ελαιολάδου είχε αύξηση δεν παρατηρείται το ίδιο και στις εξαγωγές (*Εικόνα 4*) (Commission, 2023).



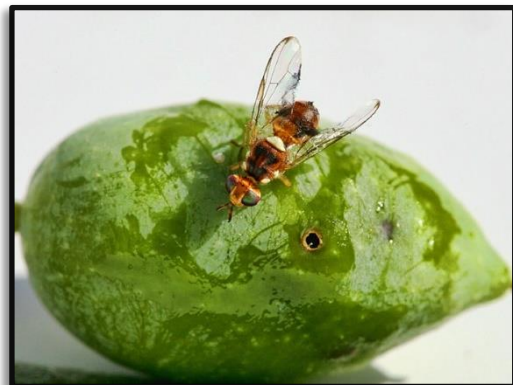
Εικόνα 4. Εξαγωγές ελαιολάδου από την Ελλάδα για την τελευταία δεκαετία εντός της Ε.Ε (πορτοκαλί) και εκτός της Ε.Ε. (μπλε) (Commission, 2023)

4. Οι σημαντικότεροι εχθροί της ελιάς

Σχεδόν όλη η καλλιέργεια ελαιόδεντρων βρίσκεται στη Μεσόγειο, αφού εκεί εντοπίζεται το 97.9% των καλλιεργούμενων εκτάσεων. Περισσότερα από 255 είδη θεωρούνται επιβλαβή για την ελιά, με το 25% από τις απώλειες της παραγωγής να προέρχεται από εντομολογικές προσβολές. Μεταξύ αυτών, τα πιο κοινά επιβλαβή είδη είναι ο δάκος της ελιάς *Bactrocera oleae* (Rossi, 1790) (Diptera: Tephritidae), ο πυρηνοτρύτης, *Prays oleae* (Bernard, 1788) (Lepidoptera: Praydidae), και το Λεκάνιο, *Saissetia oleae* (Olivier, 1791) (Hemiptera: Coccidae) (Alissandrakis, et al., 2018). Τα παραπάνω τρία έντομα είναι οι πιο επιζήμιοι εντομολογικοί εχθροί της καλλιέργειας της ελιάς όχι μόνο για τη χώρα μας αλλά και σε παγκόσμιο επίπεδο με γνώμονα την οικονομική ζημιά προερχόμενη από τη μείωση της παραγωγής ή και την υποβάθμιση της ποιότητας του ελαιολάδου ή της επιτραπέζιας ελιάς. Στην Ελλάδα προσεκτική θα πρέπει να είναι και η παρακολούθηση για τον ρυγχίτη *Rhynchites cribripennis* (Desbrochers, 1869) (Coleoptera: Attelabidae), την ψύλλα της ελιάς *Euphyllura phillyreae* Foerster (Homoptera: Aphalaridae) και την κηκιδόμηγα των φύλλων της ελιάς *Dasyneura oleae* (Angelini, 1831) (Diptera: Cecidomyiidae) στα οποία ο πληθυσμός τους αυξάνεται τα τελευταία χρόνια (Ψυχογιός, 2021).

Bactrocera oleae Rossi (Diptera: Tephritidae) - Δάκος

Ο κυριότερος εντομολογικός εχθρός της ελιάς στην χώρα μας έχει κυρίως 3 με 4 γενεές, είναι ημιμετάβολο, και διαχειμάζει συνήθως ως νύμφη στο έδαφος ή σαν ενήλικο σε προφυλαγμένες θέσεις, με τα πρώτα τέλεια άτομα να εξέρχονται την άνοιξη (Εικόνα 5). Πετούν σε μεγάλες αποστάσεις και τρέφονται από μελιτώδεις εκκρίσεις κοκκοειδών και από χυμούς φρούτων. Η ωτοκία ξεκινά τον Ιούλιο, όπου ο καρπός είναι αρκετά ώριμος ώστε το θηλυκό να τον διατρυπήσει με τον ωσθέτη του



Εικόνα 5 *Bactrocera oleae* - Ενήλικο άτομο. (biochemtech, 2024)



Εικόνα 6 Προσβεβλημένοι καρποί από ενήλικο άτομα, με τις χαρακτηριστικές οπές ωτοκίας. (Varikou, 2014) (www.cabidigitallibrary.org)

σχηματίζοντας μικρή τριγωνική οπή (Εικόνα 6). Οι νεαρές προνύμφες εκκολάπτονται μετά από 3-7 ημέρες, τρέφονται από τη σάρκα του καρπού σχηματίζοντας ελικοειδή στοά και νυμφώνονται μέσα στον καρπό. Αφού συμπληρώσουν την ανάπτυξη τους μετά από δύο εβδομάδες, τρώγοντας τη σάρκα κάτω από την επιφάνεια του καρπού, ανοίγουν τη χαρακτηριστική κυκλική οπή εξόδου και πέφτουν στο έδαφος για να νυμφωθούν σε βάθος

1-6 εκατοστών (Τζανακάκης, Β.Ι. & Κατσόγιαννος, Μ.Ε., 2003).

Prays oleae Bernard (Lepidoptera: Praydidae) – Πυρηνοτρήτης

Έχει 3 γενεές το χρόνο συγχρονισμένες με την ανάπτυξη των οργάνων της ελιάς από τα οποία και τρέφεται. Η προνύμφη προσβάλλει τα άνθη κατά την πρώτη γενεά (ανθόβια), τους καρπούς κατά τη δεύτερη γενεά (καρπόβια) και τα φύλλα της ελιάς κατά τη τρίτη γενεά (φυλλόβια) με σημαντικότερη τη ζημιά στους καρπούς (Παρασκευόπουλος & Μπέσσα, 1998). Η ανθόβια και η καρπόβια γενεά κρίνονται σημαντικότερες λόγω της σοβαρής καρπόπτωσης που μπορεί να προκαλέσει κατά το καλοκαίρι στα καρπίδια και κατά το φθινόπωρο στους ανεπτυγμένους καρπούς με την πρώτη να προκαλεί απώλειες απόδοσης έως 581 kg φρούτων ανά εκτάριο και η δεύτερη απώλειες απόδοσης έως 846 kg ανά εκτάριο



Εικόνα 7. Καρπόβια γενεά. Προνύμφες μέσα στον πυρήνα της ελιάς τρεφόμενες από το ενδοσπέρμιο. (biochemtech, n.d.)



Εικόνα 8. *Prays oleae* - Ενήλικο άτομο (biochemtech, n.d.)

(Alissandrakis, et al., 2018). Στην καρπόβια οι προνύμφες αναπτύσσονται για 3-4 εβδομάδες μέσα στους προσβεβλημένους καρπούς που παραμένουν στο δέντρο. Τρέφονται από τη σάρκα των καρπών και πριν σκληρύνει ο πυρήνας, εισέρχονται σε αυτούς ολοκληρώνοντας την ανάπτυξή τους τρώγοντας το ενδοσπέρμιο μέχρι τα μέσα Σεπτεμβρίου (Εικόνα 7). Στη συνέχεια ανοίγει χαρακτηριστική οπή εξόδου στη βάση του καρπού, κοντά στον ποδίσκο από όπου και εξέρχονται, πέφτουν στο έδαφος όπου και νυμφώνονται μέχρι τα μέσα Οκτώβρη, με τα ενήλικα λεπιδόπτερα να ωτοκοούν πάνω στα φύλλα από όπου θα προκύψει η φυλλόβια γενεά (Εικόνα 8) (Παρασκευόπουλος & Μπέσσα, 1998).

Saissetia oleae Olivier (Hemiptera: Coccidae) – Λεκάνιο

Αποτελεί τον τρίτο σε σπουδαιότητα εχθρό της ελιάς στη χώρα μας και προκαλεί κυρίως ζημιές στην ελιά και στα εσπεριδοειδή. Επίσης προσβάλλει πλήθος άλλων φυτών όπως είναι η φιστικιά, ο σχίνος, η μυρτιά, η άμπελος, κ.α.. καθώς είναι πολυφάγο με πάνω από 150 ξενιστές. Πολλαπλασιάζεται παρθογενετικά, διότι το αρσενικό δεν έχει παρατηρηθεί, με όλα τα τέλεια άτομα να είναι θηλυκά. Έχει μια γενεά το χρόνο και διαχειμάζει σε φύλλα, βλαστούς ή και κλάδους ως ανώριμη νύμφη ή ως νύμφη 2ου ή 3ου σταδίου. Αφού προκύψουν τα τέλεια θηλυκά τα οποία ωοτοκούν κατά τα τέλη της άνοιξης ακολουθεί η εμφάνιση των κινητών νυμφών 1^{ης}



Εικόνα 9. Αυγά και προνύμφες κάτω από το σώμα (χελώνιο) του θηλυκού. (Troya, 2022).



Εικόνα 10. Τέλειο θηλυκό άτομο, με το χαρακτηριστικό σχηματισμό ανάγλυφου "H" στη ραχιαία επιφάνειά του, σε δέντρο λεμονιάς (*Citrus medica*). (Lamont, 2023)

ηλικίας μέχρι τον Αύγουστο και των νυμφών 2ης και 3ης ηλικίας το φθινόπωρο, οι οποίες και διαχειμάζουν (Εικόνα 9,10). Προκαλεί άμεση ζημιά λόγω της μύζησης των χυμών αλλά και έμμεση ζημιά με τις μελιτώδεις εκκρίσεις σε φύλλα και βλαστούς, στα οποία και αναπτύσσονται διάφοροι μύκητες όπως ο μύκητας της καπνιάς (*Carponidium oleae*), με συνέπεια την περαιτέρω εξασθένηση του δέντρου (Van Emden, 2014).

Rhynchites cribripennis Desbrochers (Coleoptera: Attelabidae) – Ρυγχίτης

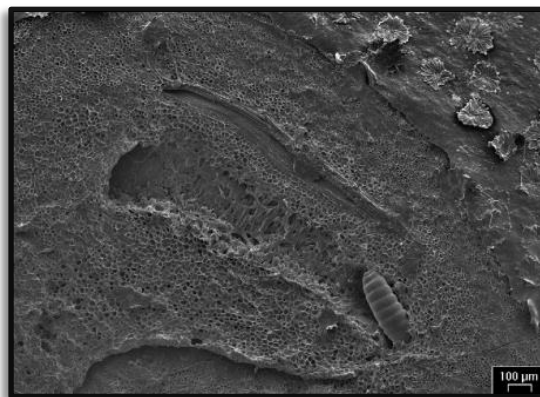
Ευρύτατα διαδεδομένο στη χώρα μας, συμπληρώνει μία γενεά ανά δύο έτη και διαχειμάζει ως ανεπτυγμένη προνύμφη στο έδαφος τον πρώτο χειμώνα και σαν ακμαίο στο έδαφος τον επόμενο. Την άνοιξη εξέρχεται και τρέφεται αρχικά από τα τρυφερά φύλλα και έπειτα από κλειστά άνθη και από το γαλακτώδες ενδοσπέρμιο των καρπών, τρυπώντας τον μη ξυλοποιημένο ακόμα πυρήνα τους. Τα θηλυκά άτομα ξεκινούν να ωτοκοούν τον Ιούλιο εντός του καρπού, κοντά στον πυρήνα, μέσω μιας οπής που έχουν δημιουργήσει με το ρύγχος τους. Εκεί εκκολάπτονται οι νεαρές προνύμφες οι οποίες τρυπούν και τρέφονται από το εσωτερικό του πυρήνα. Το φθινόπωρο ορύσσοντας στοά θα πέσουν στο έδαφος για να νυμφωθούν, και αφού εξελιχθούν σε τέλεια άτομα διαχειμάζουν στο έδαφος (Εικόνα 11). Η οπή ωτοκίας παίρνει το χαρακτηριστικό σχήμα ενός κρατήρα όπου γύρω του δημιουργείται μόλυνση, η οποία και επεκτείνεται με αποτέλεσμα της δευτερογενούς αυτής προσβολής το σάπισμα του καρπού, την πρόωρη πτώση και καταστροφή του (Van Emden, 2014).



Εικόνα 11. Ενήλικο άτομο *Rhynchites cribripennis* (Bahr, n.d.).

Dasyneura oleae Angelini (Diptera: Cecidomyiidae) - Κηκιδόμηγα των φύλλων της ελιάς

Απαντάται σε όλη τη μεσογειακή λεκάνη ενώ είναι ευρέως διαδεδομένο και στον ελλαδικό χώρο, με αποκλειστικό ξενιστή την ελιά. Ο πληθυσμός του διατηρείται συνήθως σε χαμηλά επίπεδα. Το 2010 καταγράφηκε ξέσπασμα του πληθυσμού, που αποδίδεται κατά κύριο λόγο στην αλόγιστη χρήση εντομοκτόνων, προκαλώντας σοβαρές ζημιές, που υπολογίζονται κατά μέσο όρο 51,46%, στα έντονα προσβεβλημένα δέντρα. Έχει 1 ή 2 γενεές το έτος, στις ορεινές και παράκτιες περιοχές αντίστοιχα. Τα ενήλικα άτομα εμφανίζονται τον Μάρτη εάν έχει 1 γενεά, ή τον Οκτώβρη και τον Μάρτη αντίστοιχα αν έχει 2 γενεές. Τα ενήλικα θηλυκά άτομα εναποθέτουν τα αυγά τους στην πάνω επιφάνεια των κορυφαίων φύλλων. Μετά από 7 ημέρες παρατηρούνται οπές εισόδου των προνυμφών πρώτου σταδίου στην πάνω επιφάνεια του φύλλου όπου αρχίζουν να τρέφονται σχηματίζοντας μικρές στοές στο ανώτερο



Εικόνα 12. Η αρχική ανάπτυξη στοάς από προνύμφη πρώτου σταδίου στην πάνω επιφάνεια φύλλου ελιάς. Απεικόνιση από ηλεκτρονική μικροσκοπία -Cryo-scanning (Caselli, et al., 2020).



Εικόνα 13. Υγιές φύλλο (αριστερά) και προσβεβλημένο φύλλο από *D.oleae* (δεξιά) (Caselli, et al., 2020).

στρώμα του παρεγχυματικού ιστού (Εικόνα 12). Σε κάθε στοά αναπτύσσεται μία προνύμφη. Οι προνύμφες δεύτερου σταδίου κινούνται σε μεγαλύτερο βάθος και άρα δημιουργούν μεγαλύτερες στοές σε διάμετρο. Προκαλούν κηκίδες και άλλες παραμορφώσεις με αποτέλεσμα τη μείωση της φωτοσύνθεσης και της στοματικής αγωγιμότητας με τις πρώτες κηκίδες να παρατηρούνται 20 ημέρες μετά την προσβολή (Εικόνα 13) (Caselli, et al., 2020).

Euphyllura spp. (Hemiptera: Psyllidae) – Ψύλλα της ελιάς

Στη Μεσόγειο και στη Μέση Ανατολή έχουν παρατηρηθεί τρία είδη ψύλλας στην ελιά. Αυτά είναι τα *Euphyllura olivina* (Costa, 1839), *Euphyllura phillyreae* (Foerster, 1848), και *Euphyllura straminea* (Loginova, 1973) (Tzanakakis & Minos, E., 2008). Είναι ημιμετάβολα έντομα, δηλαδή δεν υφίστανται πλήρη μεταμόρφωση και κατά συνέπεια δεν περιλαμβάνουν το στάδιο της προνύμφης (*larva*), με 3 διακριτά στάδια. Αυτά είναι το ωό, η νύμφη και το ενήλικο, με τις νύμφες να ομοιάζουν με τα ενήλικα και το μέγεθός τους να αυξάνεται μετά από κάθε ηλικία (Slater, 1978). Τα ενήλικα μπορεί να είναι ωοτόκα, ζωοτόκα ή ωζωοτόκα και μπορούν να αναπαράγονται είτε σεξουαλικά (σύζευξη αρσενικού και θηλυκού ατόμου) είτε παρθενογενετικά (χωρίς γονιμοποίηση του θηλυκού ατόμου από το αρσενικό) (Britton, 2015) (Εικόνα 14). Στην Ελλάδα με βάση το



Εικόνα 14. Ενήλικο άτομο της ψύλλας της ελιάς σε κίτρινη κολλητική παγίδα (Επεξεργασία από Αναγνώστου Μαριάνθη).

κλίμα εμφανίζει μία μόνο γενιά ετησίως η οποία αναπτύσσεται την άνοιξη, με το *E. phillyreae* να είναι το πιο κοινό είδος που προσβάλλει τους ελαιώνες στον ελλαδικό χώρο. (Lauterer, et al., 1986). Το σώμα του ενήλικου έχει μήκους 2.0-2.5mm με σχήμα αμβλύ χρώματος πράσινο - γκρι, με πλατύ κεφάλι και στοματικά μόρια νύσσοντως μυζητικού τύπου. Για να καλύψουν τις διατροφικές τους ανάγκες, απομυζούν τα θρεπτικά στοιχεία, από τα εκπτυσσόμενα άνθη, φύλλα και βλαστούς, αλλά και από τους αναπτυσσόμενους καρπούς με τη χρήση σιλέτου (τροποποιημένες άνω και κάτω γνάθοι) που είναι ικανό να διατρύπησει τους φυτικούς ιστούς (Slater, 1978). Τρέφονται με τον ηθμό (*phloem*) και εκκρίνουν μια σακχαρώδη, πλούσια σε ενέργεια ουσία γνωστή ως μελίτωμα με το οποίο και τρέφονται τα μυρμήγκια, εμφανίζοντας μαζί τους συμβιωτικές σχέσεις (Dooling, 1991). Η διάρκεια ζωής των αρσενικών ατόμων



Εικόνα 15. Προσβεβλημένες ταξιανθίες ελαιόδεντρου από ψύλλες της ελιάς στο στάδιο της νύμφης, καλυμμένες από το χαρακτηριστικό λευκό κηρώδες έκκριμα (Επεξεργασία από Αναγνώστου Μαριάνθη).

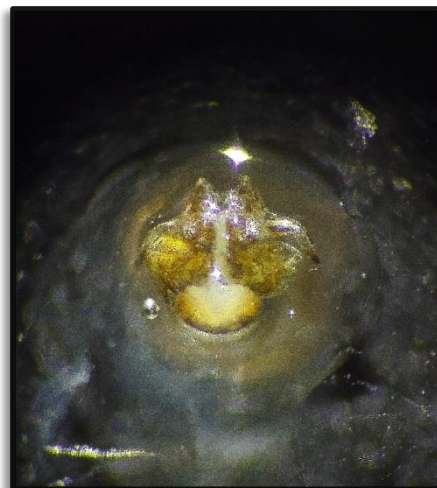
κυμαίνεται στις 24 με 44 ημέρες με τα θηλυκά να ζουν περισσότερο, από 26 με 50 ημέρες. Για την επιβίωση των ενηλίκων, η διατροφή τους πρέπει να είναι συχνή. Στις αρχές της άνοιξης με την έναρξη της άνθησης αρχίζει και η σύζευξη. Η ωτοκία σχετίζεται με τη φαινολογία του ξενιστή και ιδιαίτερα με την έναρξη της ανάπτυξης των ανθέων, τα οποία και αποτελούν την κύρια τοποθεσία σίτισης της νύμφης (Prophetou-Athanasiadou, 1996). Έτσι λοιπόν τα θηλυκά ακμαία ωτοκοούν τέλη Μαρτίου με αρχές Απριλίου, συνήθως δηλαδή στις αρχές της άνοιξης, μόνο στα βλαστικά και στα αναπαραγωγικά όργανα κλάδων ηλικίας μέχρι δύο ετών. Τα ωά εισάγονται με το κοντό μίσχο τους κυρίως στην εσωτερική επιφάνεια των νεαρών μικρών φύλλων καθώς και των κορυφαίων οφθαλμών (Tzanakakis & Minos, E., 2008) μεμονωμένα ή σε ομάδες με 2 έως 15 αυγά, στα νεαρά κορυφαία φύλλα ή στα εκπτυσσόμενα άνθη (Prophetou-Athanasiadou, D. A., & Tzanakakis, M. E., 1986). Η εξέλιξη των νυμφών γίνεται από τέλη

Απρίλη έως μέσα Μαΐου και συγκεκριμένα οι νύμφες 2^{ης}, 3^{ης} και 4^{ης} ηλικίας παρατηρούνται από τα μέσα με τέλη Απριλίου έως τα τέλη Μαΐου και της 5^{ης} ηλικίας από αρχές με μέσα Μαΐου. Η κοινή ονομασία της ψύλλας ως Βαμβακάδα της Ελιάς οφείλεται στο γεγονός ότι οι νύμφες παράγουν λευκό κηρώδες έκκριμα από αδένες που βρίσκονται στο πίσω μέρος της κοιλίας τους, καλύπτοντας το σώμα τους, τους προσβεβλημένους οφθαλμούς και τις ταξιανθίες. Η κηρώδης αυτή έκκριση είναι άφθονη κυρίως κατά την 5^η νυμφική ηλικία. (Εικόνα 15). Η εμφάνιση των ακμαίων αρχίζει μετά τα μέσα Μαΐου με τα θηλυκά να παραμένουν αναπαραγωγικά ανώριμα καθ'όλη τη διάρκεια του καλοκαιριού, το φθινόπωρο και στις αρχές του χειμώνα. Διαχειμάζουν ως ενήλικα, σε προφυλαγμένο μέρος στην κάτω πλευρά των κλάδων της ελιάς και ιδιαίτερα στη βάση των φύλλων και των μπουμπουκιών (Prophetou-Athanasiadou, 1996).

3.6.1 Γεωγραφική Εξάπλωση *Euphyllura* spp.

Σχετικά με την παγκόσμια διασπορά των *Euphyllura* spp., το έντομο προς μελέτη, εμφανίζεται σε όλη τη λεκάνη της Μεσογείου. Σχετικά με τα τρία είδη που προσβάλλουν την ελιά αναφέρεται ότι στη Γαλλία και την Ιταλία εμφανίζονται τα είδη *E. olivina* και *E. phillyreae*, στα Βαλκάνια και το Ισραήλ τα *E. phillyreae* και *E. straminea*, στη Μαύρη Θάλασσα και στον Καύκασο το *E. phillyreae*, και στο Ιράκ και Ιράν τα *E. olivina* όσο και *E. straminea* (Tzanakakis & Minos, E., 2008). Το *E. olivina* είναι ιθαγενές της νότιας Ευρώπης με ευρεία εξάπλωση όπως επίσης εισήχθη στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής και συγκεκριμένα στην Καλιφόρνια (Guessab, A., et al., 2021) όπου αναφέρθηκε πρώτη φορά το 2007. Το *E. phillyreae* φαίνεται να είναι πιο διαδεδομένο στα Βαλκάνια, την Κριμαία, την ακτή της Μαύρης Θάλασσας, στον Καύκασο, και στο Ισραήλ (Lauterer, et al., 1986).

Ανήκουν στην τάξη των Ημιπτέρων (Hemiptera), τη μεγαλύτερη τάξη των ημιμετάβολων εντόμων, στην υπόταξη Στερνόρρυγγα (Sternorrhyncha). Βρίσκονται σε όλο τον κόσμο σε πλήθος ενδαιτημάτων, με σημασία για τον κλάδο της γεωργίας, καθώς προκαλούν άμεση βλάβη στα φυτά μέσω της διατροφής τους αλλά και έμμεσα μεταφέροντας ασθένειες (Dooling, 1991). Κατατάσσονται στην οικογένεια Psyllidae όπου τα ενήλικα άτομων, πηδούν όταν ενοχλούνται και διασκορπίζονται σε μικρές αποστάσεις, αλλά και σε μεγάλες αποστάσεις κινούμενα με ρεύματα αέρα, και έτσι δύναται να βρεθούν σε άλλο φυτικό είδος από αυτό του ξενιστή τους. Συνήθως έχουν πτέρυγες καλά ανεπτυγμένες κάνοντας όμως σπάνιες πτήσεις, με ορισμένα από τα άτομα να είναι άπτερα (Horton, D. R., et al., 2021). Τα ανώριμα άτομα ψύλλας φαίνονται αρκετά διαφορετικά από τα ενήλικα. Το μήκος αυξάνεται από 0.4mm έως 1.5mm, το σώμα τους εμφανίζεται πεπλατυσμένα νωτοκοιλιακά με ρόδινο-ιώδεις οφθαλμούς και είναι κινητικά, με τις νύμφες 3^{ης}, 4^{ης} και 5^{ης} ηλικίας να έχουν διακριτές καταβολές πτερυγών (πτεροθήκες) (Εικόνα 16). Τα ενήλικα επικοινωνούν με δονήσεις, κάτι που αποτελεί τον πρωταρχικό μηχανισμό τους για την αναγνώριση συντρόφου αλλά και τη θέση σύζευξης (Den Bieman, K., et al., 2019).



Εικόνα 16. Νύμφη *Euphyllura* spp. Στερεοσκοπική παρατήρηση, με ορατές τις καταβολές πτερυγών (Επεξεργασία από Αναγνώστου Μαριάνθη).

3.6.2 Διάκριση ειδών *Euphyllura* spp.

Ο Αναγνωστόπουλος (1939) παρατήρησε ως εχθρό της ελιάς στην Ελλάδα το *E. olivina*. Οι Προφήτου και Τζανακάκης (1977) μελέτησαν στη βόρεια Ελλάδα ένα είδος που θεώρησαν λανθασμένα πως ήταν το *E. olivina* λόγω εσφαλμένης αναγνώρισης, αφού το συγκεκριμένο είδος που μελετούσαν είχε μόνο μία γενιά ετησίως, σε αντίθεση με τις 2-6 γενεές που αναφέρεται στη βιβλιογραφία πως έχει το *E. olivina*. Επιπλέον, βάση Σταυράκη (1980) διαπιστώθηκε για έντομα του γένους *Euphyllura* σε ελαιόδεντρα στην κεντρική Ελλάδα πως επίσης είχαν μια γενιά το χρόνο, αλλά ούτε αυτά επρόκειτο για το *E. olivina*. Σύμφωνα με τον I. M. Kerzhner ήταν το *E. phillyrae*. Ως αποτέλεσμα, η ταυτοποίηση των ειδών του γένους *Euphyllura* που προσβάλλουν καλλιέργειες ελιάς στην Ελλάδα χρειαζόταν περαιτέρω διερεύνηση. Από το 1981 έως και το 1983, πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες στις οποίες συλλέχθηκαν ενήλικα άτομα από περισσότερους από έναν ελαιώνα ανά περιοχή, το ελάχιστο από επτά δέντρα ανά ελαιώνα με συχνότητα δειγματοληψίας μια με δύο φορές το μήνα, στις τοποθεσίες που φαίνονται στον χάρτη της Εικόνας 17, όπου A= Αττική, Ae = Αιτωλοακαρνανία, Ah = Αχαΐα, Η = Χαλκιδική,



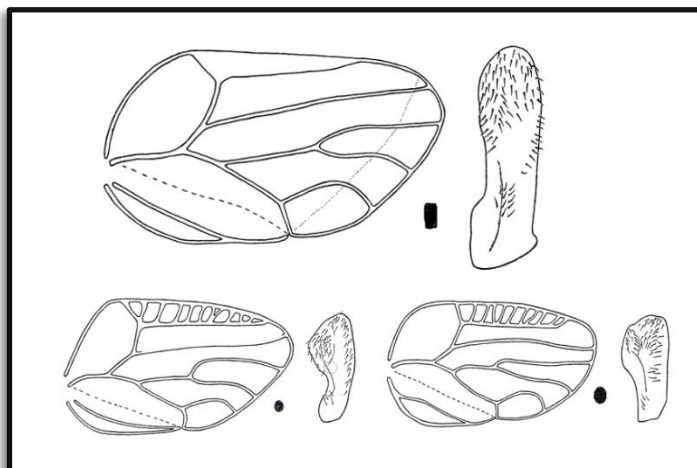
Εικόνα 17. Τοποθεσίες στην Ελλάδα, δειγματοληψιών για την αναγνώριση του *E. phillyrae* σε ελαιόδεντρα (Lauterer, et al., 1986).

Ha = Χανιά, K = Κόρινθος, M = Μαγνησία, Me = Μεσσηνία, P = Φωκίδα, Ph = Φθιώτιδα, Τα = Θεσσαλονίκη, Tr = Τριφυλία (Lauterer, et al., 1986)

Για την ταυτοποίηση του είδους, έγινε διάκριση ανάμεσα στα τρία είδη ψύλλας, *E. olivina*, *E. phillyreae*, και *E. straminea* με τη βοήθεια κλειδας από τους Lauterer et al.. Με βάση την κλειδα, οι πρόσθιες πτέρυγες του *E. phillyreae* έχουν σχετικά κοντό πτερόστιγμα χωρίς ορατές εγκάρσιες νευρώσεις, ενώ αυτές των *E. olivina* και *E. straminea* έχουν μακρύ πτερόστιγμα με νευρώσεις που διασταυρώνονται.

Τα παραμερή του *E. straminea* εμφανίζονται ευθεία έως ελαφρώς λυγισμένα προς τα κάτω. Το σώμα του *E. olivina*

έχει ανοιχτό πράσινο χρώμα, οι πρόσθιες πτέρυγες είναι διαφανείς με νευρώσεις, υπόλευκες σε απόχρωση, και εμφανίζουν πολύ μικρά σκοτεινά σημεία χωρίς καφέ κηλίδες. Τα παραμερή είναι στενά, μακριά σε μήκος, συγκλίνοντα ελαφρώς στην κορυφή στα 2/3 του μήκους του στην πίσω όψη. Το σώμα του *E. phillyreae* έχει χρώμα ωχρό, με την τυπική μορφή να έχει λευκού χρώματος πρόσθιες πτέρυγες έως ανοιχτό ωχρό με μικρές πυκνές σκούρες κηλίδες. Τα παραμερή είναι στενά με μήκος μακρύ, συγκλίνοντα ελαφρώς στην κορυφή στα 2/3 του μήκους του στην πίσω όψη. Έτσι, το *E. phillyreae* ήταν το κύριο είδος ψύλλας που προσβάλλει τις ελιές στη βόρεια Ελλάδα, και το πιο συχνά εμφανιζόμενο είδος, την άνοιξη, στην κεντρική και νότια ηπειρωτική Ελλάδα (Εικόνα 18) (Lauterer, et al., 1986).



Εικόνα 18. Πρόσθιες πτέρυγες αρσενικού ατόμου (αριστερά) και παραμερή από την εσωτερική δεξιά όψη τους (δεξιά) για το *E. phillyreae* (πάνω) για το *E. olivina* (κάτω αριστερά) και το *E. straminea* (κάτω δεξιά) (Lauterer, et al., 1986).

5. Οικολογία

Οι παράγοντες επίδρασης στην ωοτοκία και άρα στην αναπαραγωγική ικανότητα του εντόμου, στην ανάπτυξη του αλλά και την πυκνότητα του πληθυσμού είναι οι κλιματολογικές συνθήκες όπως η θερμοκρασία και η υγρασία, η εποχή, και όσον αφορά το φυτό ξενιστή η θρεπτική αξία του, ο προσανατολισμός αλλά και η ποικιλία του.

Η θερμοκρασία επιδρά στο αναπαραγωγικό δυναμικό του εντόμου γεγονός που εξηγεί ορισμένες βιολογικές συμπεριφορές του. Σε πείραμα των Ksantini, *et al.* (2002) η βέλτιστη γονιμότητα ήταν περίπου στους 20-22 °C με την αναστολή γονιμότητας να εμφανίζεται σε υψηλές θερμοκρασίες (27-30°C). Επίσης η δραστηριότητα ωοτοκίας μειώθηκε με χαμηλότερες θερμοκρασίες (12-15 °C) ενώ υψηλές θερμοκρασίες σε συνδυασμό με χαμηλή σχετική υγρασία προκάλεσε υψηλή θνησιμότητα αυγών και νυμφών, καθώς και παύση ωοτοκίας (Ksantini, 2002). Συγκεκριμένα τα ποσοστά θνησιμότητας, αυξάνονται όταν η θερμοκρασία ξεπεράσει τους 32,2 °C (Johnson, M. W., *et al.*, 2010). Το *E. olivina* είναι ένα είδος που προσαρμόζεται σε διάφορες θερμοκρασίες. Έχει υψηλό αναπαραγωγικό δυναμικό μεταξύ 12 και 30 °C, στους 32 °C η δραστηριότητα των ωοθηκών αναστέλλεται και σε θερμοκρασία 34-35° C η ωοτοκία σταματά. Μια σύντομη έκθεση σε αυτές τις θερμοκρασίες επηρεάζει αρνητικά τη γονιμότητα των νεαρών θηλυκών ακόμα και αν η θερμοκρασία επανέλθει στους 25 °C. Έτσι οι υψηλές θερμοκρασίες τους καλοκαιρινούς μήνες επηρεάζουν αρνητικά την εξέλιξη της ψύλλας. Ως εκ τούτου οι κλιματολογικές συνθήκες αποτελούν σημαντικό ρυθμιστικό παράγοντα της προσβολής. Όσον αφορά τη σχέση θερμοκρασίας και της ζημιάς που προκαλεί το έντομο της ψύλλας, ήπιες θερμοκρασίες το χειμώνα, νωρίς την άνοιξη αλλά και το φθινόπωρο, που συνοδεύονται από άφθονες βροχοπτώσεις ειδικά κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου, ευνοούν την ανάπτυξη των φυτών και ως αποτέλεσμα τη δραστηριότητα των εντόμων. Σχετικά με την άρδευση, το ποσοστό προσβολής φαίνεται να είναι υψηλότερο σε αρδευόμενες καλλιέργειες ελιάς παρά σε αγρό χωρίς άρδευση, ή και με λίγες βροχοπτώσεις (Guessab, A., *et al.*, 2021). Η εποχή επίσης θα επηρεάσει την ανάπτυξη της ψύλλας της ελιάς με την άνοιξη να είναι η πιο ευνοϊκή εποχή. Τέλος οι ποικιλίες ελιάς των οποίων τα εκπυσσόμενα άνθη και οι νεαροί βλαστοί έχουν υψηλότερη περιεκτικότητα σε φαινόλες προσβλήθηκαν μόνο από το ήμισυ του αριθμού των ατόμων ψύλλας πράγμα το οποίο φανερώνει κατά μια έννοια την προτίμησή τους στις ποικιλίες με χαμηλότερα ποσοστά σε φαινόλες (Kaplan, M. & Alaserhat, I., 2019). Ο προσανατολισμός παίζει επίσης ρόλο στην ανάπτυξη του εντόμου, όπου ο Belhamdounia (1993) σημείωσε την προτίμηση του νότιου προσανατολισμού για τις νύμφες την άνοιξη και νοτιοδυτικού προσανατολισμού για τα ακμάρια. Όσον αφορά τη σχέση του εντόμου με την πρόσληψη θρεπτικών συστατικών, από τις αρχές καλοκαιριού έως και τον χειμώνα τα ενήλικα του *E. phillyreae* τρέφονταν ελάχιστα ή και καθόλου, όπως φάνηκε σε ανάλογο πείραμα υπό συνθήκες εργαστηρίου με βάση την εβδομαδιαία ποσότητα κοπράνων που παράγονται. Συγκεκριμένα αναφέρεται πως η εβδομαδιαία ποσότητα κοπράνων ήταν μικρότερη όταν οι θερμοκρασίες ήταν υψηλότερες, ανεξάρτητα από τη φωτοπερίοδο αλλά και πως όταν τα ακμάρια άτομα είχαν πρόσβαση μόνο σε νερό, και καθόλου σε κλαδιά ελιάς, πέθαιναν εντός 24 ωρών. Ως εκ τούτου για την επιβίωση τους, η συχνή διατροφή από δέντρο ελιάς είναι απαραίτητη (Prophetou-Athanasiadou, D. A., & Tzanakakis, M. E., 1986). Υπάρχουν επιπρόσθετα ενδείξεις ότι η ανάπτυξη της διάπαυσης επηρεάζεται από τη φωτοπερίοδο. Η διάπαυση του *Euphyllura* spp. τερματίζεται από τα μέσα Δεκεμβρίου έως τις αρχές Ιανουαρίου, και έπειτα βρίσκονται σε ηρεμία μέχρι τον Φεβρουάριο ή και αρχές Μαρτίου. Όσον αφορά το *E. phillyreae* ανάλογα με το έτος, η διάπαυση στο μεγαλύτερο μέρος ή στο σύνολο του πληθυσμού πραγματοποιείται από αρχές Ιανουαρίου ενώ σε μικρότερο μέρος του πληθυσμού μπορεί να τερματιστεί και νωρίτερα, από τέλη Οκτωβρίου έως μέσα Νοεμβρίου. Η ανάκτηση της δραστηριότητας του εντόμου συμπίπτει με την έναρξη της βλάστησης

της ελιάς και εξαρτάται από τις κλιματολογικές συνθήκες (Prophetou-Athanasiadou, 1996).

6. Συμπτώματα

Τα φυτά ξενιστές αριθμούν εξακόσια ή και περισσότερα φυτικά γένη σε περισσότερες από εκατό οικογένειες και περιλαμβάνουν μια σειρά από φυλλοβόλα και αειθαλή δέντρα καθώς επίσης θάμνους και ποώδη μονοετή φυτά (Ounrard, 2015). Προσβάλλει γένη και είδη φυτών της οικογένειας Oleaceae όπως το γένος *Osmanthus*, *Phillyrea* καθώς και το είδος *O. europaea*, αλλά και το είδος *Elaeagnus angustifolia* της οικογένειας Elaeagnaceae. Μπορεί επίσης, να ζήσει σε άλλα συγγενικά με την ελιά είδη, όπως η *Phillyrea angustifolia* και *Phillyrea latifolia* (Guessab, A., et al., 2021). Τα άτομα τείνουν να επιλέγουν υγιείς ξενιστές αντί για ασθενή, εξασθενημένα φυτά (Johnson, M. W., et al., 2010). Για το είδος *E. phillyreae* έχουν καταγραφεί τα ακόλουθα φυτά ξενιστές: *Phillyrea latifolia* L., *O. europaea* L., *P. media*, *P. angustifolia* L., *Osmanthus fragrans* L. και *O. ilidfolius* H. Αποτελεί το πιο κοινό είδος ψύλλας που προσβάλλει ελαιόδεντρα στην κεντρική και νότια ηπειρωτική Ελλάδα (Lauterer, et al., 1986).

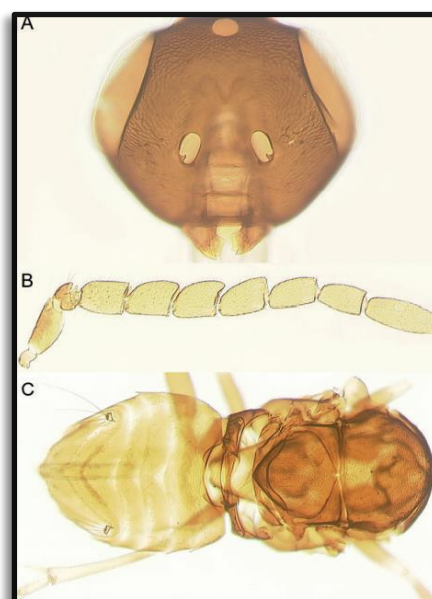
Οι προκαλούμενες ζημιές από τη προσβολή του εντόμου της ψύλλας στις καλλιέργειες της ελιάς θεωρούνται δευτερευούσης σημασίας, εκτός εάν κατά τη διάρκεια της άνοιξης σημειωθούν μεγάλοι πληθυσμοί που προσβάλουν τις ανθοταξίες. Σε αυτήν την περίπτωση είναι πιθανό να παρατηρηθεί πτώση των ανθοταξιών, και συνεπώς μείωση της παραγωγής. Οι νύμφες και τα ενήλικα του *Euphyllura* spp. προκαλούν άμεση και έμμεση ζημιά, αντίστοιχα, στα ελαιόδεντρα. Η μύζηση των φυτικών χυμών στο στάδιο της νύμφης αφορά την άμεση ζημιά και τα μελιτώδη εκκρίματα αφορούν την έμμεση ζημιά. Λόγω των συνθηκών της αυξημένης υγρασίας και θερμοκρασίας που προκαλούνται από τις εκκρίσεις αυτές, ευνοείται και η ανάπτυξη ενός εκτοπαρασιτικού μύκητα, του *Capnodium oleaginum*, που επηρεάζει τη φωτοσυνθετική ικανότητα του δέντρου. Ως αποτέλεσμα μειώνεται η παραγωγικότητα του δέντρου και άρα και η εμπορική αξία των παραγόμενων προϊόντων του. Επίσης, η κηρώδης ουσία που καλύπτει τις ανθοταξίες κατά το νυμφικό στάδιο εμποδίζει την άνθιση, την γονιμοποίηση και την ανάπτυξη των νεαρών καρπών (Kaplan, M. & Alaserhat, I., 2019).

7. Αντιμετώπιση

Όταν η προσβολή ξεπεράσει το 30% στο σύνολο των ανθέων, σε ελαιώνες μειωμένης ανθοφορίας, τότε αποτελεί και το κατώτερο όριο επέμβασης και χρίζει φυτοπροστασίας. Όσον αφορά τη διαχείριση με χημικά φυτοπροστατευτικά, ενάντια στα αυγά και τις νύμφες, συνιστάται χρήση εγκεκριμένων σκευασμάτων μόνο εάν εμφανιστούν μεγάλοι πληθυσμοί, σε συνδυασμό με την καταπολέμηση της ανθόβιας γενεάς του πυρηνοτρήτη . Θα πρέπει να προστεθεί ειδικό διαβρεκτικό στο εντομοκτόνο, ώστε το διάλυμα να διαπερνά τα κηρώδη νημάτια και να φτάνει στις νύμφες του εντόμου, για την αποτελεσματική αντιμετώπιση τους (ΥΠ.Α.Α.Τ., 2012).

Η απελευθέρωση φυσικών εχθρών, όπως του *Anthocoris nemoralis* (Hemiptera: Anthocoridae) , είναι μια αποτελεσματική μέθοδος με σκοπό τον έλεγχο του πληθυσμού του *E. olivina* κατά την εαρινή περίοδο καθώς και τη διατήρησή του σε αποδεκτά επίπεδα. Σε έρευνα του Gharbi N. (2021) αξιολογήθηκε η επίδραση της απελευθέρωσης των ανήλικων σταδίων του *A. nemoralis*. Χρησιμοποιήθηκε μείγμα νυμφών 2ης έως 4ης ηλικίας για να μειωθεί ο κίνδυνος μετανάστευσης της ψύλλας, καθώς σε αυτό το στάδιο τα ανήλικα άτομα δεν μπορούν ακόμα να πετάξουν. Η απελευθέρωση του φυσικού αυτού εχθρού αύξησε τη συνολική επίδραση των φυσικών εχθρών στην κρίσιμη περίοδο της άνθισης, η οποία είναι απαραίτητη προϋπόθεση για έναν επιτυχή βιολογικό έλεγχο σε ελαιώνες (GHARBI, 2021).

Όσον αφορά τα παρασιτοειδή, το μόνο γνωστό πρωτεύον παρασιτοειδές ενάντια της ψύλλας της ελιάς στη λεκάνη της Μεσογείου, είναι το *Psyllaephagus euphyllurae* (Masi) (Hymenoptera: Encyrtidae). Το *P. euphyllurae* είναι ένα υποχρεωτικά θηλυτόκο ενδοπαρασιτοειδές. Με την έννοια υποχρεωτικά θηλυτόκο, αναφερόμαστε στην περίπτωση όπου το άρρεν εκλείπει και τα άτομα που γεννιούνται είναι θηλυκά. Το έντομο αυτό σταματά να αναπαράγεται τον Ιούλιο και παραμένει ως ενήλικο μέσα στον μουμιοποιημένο ξενιστή του μέχρι την επόμενη άνοιξη. Όσον αφορά την εξωτερική μορφολογία του, το σώμα του ενήλικου ατόμου έχει μήκος 1,2-1,8 mm, χρώματος σκούρου καφέ, χρώμα κεφαλής έντονο μπλε-ιώδες με μεταλλική όψη, και ο πρώτος κοιλιακός τεργίτης έχει έντονη πράσινη μεταλλική απόχρωση. Στις κεραίες, ο σκάπος και ο μίσχος είναι χρώματος σκούρο καστανό, και το μαστίγιο είναι καστανό. Στα πόδια, το ισχίο εμφανίζεται να έχει χρώμα σκούρο καστανό, η κνήμη και ο μηρός είναι χρώματος ανοιχτό καστανό και τέλος, ο ταρσός καστανός. Όσον αφορά τα μέρη του θώρακα, πρόνωτο, μεσόνωτο και μικρό θυρεό, εμφανίζουν κοντά μικροτριχίδια. Η κεφαλή όπως φαίνεται και στην (Εικόνα 19), έχει πλάτος μεγαλύτερο του ύψους του, με τους απλούς οφθαλμούς τοποθετημένους σε ένα τρίγωνο. (Triapitsyn, et al., 2014)



Εικόνα 19. *Psyllaephagus euphyllurae*. Άρσενικό άτομο, Α) κεφαλή Β) κεραία C) mesosoma και metasoma (Triapitsyn, et al., 2014).

8. Ευφυής φυτοπροστασία - Γεωργία ακριβείας

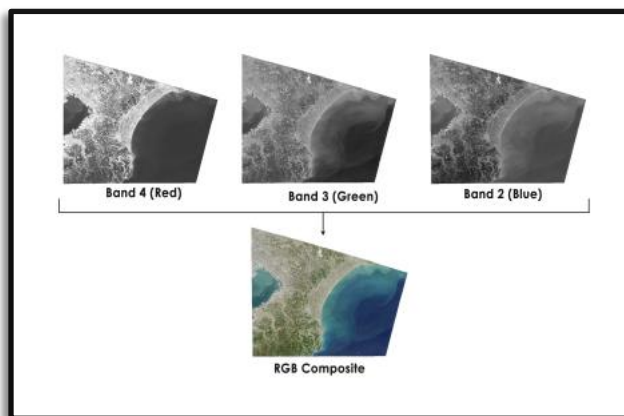
Η γεωργία ακριβείας (Precision Agriculture) είναι μία νέα μέθοδος γεωργικής πρακτικής με σκοπό τον προσανατολισμό σε ένα βιώσιμο σύστημα διαχείρισης των καλλιεργειών. Στις παραδοσιακές γεωργικές πρακτικές τα αγροτεμάχια διαχειρίζονται σαν να είναι ομοιόμορφα, χωρίς να υπολογίζεται η παραλλακτικότητα τους ως προς το χώρο και το χρόνο. Σε αντίθεση με αυτό, με τη γεωργία ακριβείας δίνεται η δυνατότητα για αποτελεσματική διαχείριση της τοπικής παραλλακτικότητας ενός αγρού, με τη χρήση χαρτών όπως με χάρτες παραγωγής, εδαφικούς χάρτες ή και τοπογραφικούς. Η παραλλακτικότητα διακρίνεται σε χωρική και χρονική, όπου τα χαρακτηριστικά και οι ιδιότητες των καλλιεργειών μεταβάλλονται με την αλλαγή θέσης εντός του αγρού και με την πάροδο του χρόνου αντίστοιχα. Τέλος η τρίτη μορφή παραλλακτικότητας είναι η προβλεπτική που αφορά το πώς μεταβάλλεται στον χώρο η διαφορά μεταξύ προβλεπόμενων και πραγματικών τιμών απόδοσης των καλλιεργειών (Blackmore, 1994). Η Γεωργία Ακριβείας μεσώ της διαχείρισης αυτής στοχεύει στην αύξηση της απόδοσης των καλλιεργούμενων φυτών και της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων. Παράλληλα, επιτυγχάνεται ορθολογική χρήση των διαθέσιμων πόρων, μείωση του κόστους παραγωγής και προστασία του περιβάλλοντος. Η εφαρμογή της στηρίζεται σε ένα σύνολο τεχνολογικών μέσων από τα οποία κρίνουμε σημαντικό να ξεχωρίσουμε την χρήση των δορυφόρων και των Συστημάτων μη Επανδρωμένων Αεροχημάτων (ΣμηΕΑ) καθώς και τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (G.I.S). Επιτυγχάνεται έτσι η διευκόλυνση του παραγωγού προκειμένου να πάρει τις κατάλληλες αποφάσεις για τη διαχείριση των αγρών του αλλά και την οικονομική διαχείριση, είτε λόγω αυξημένων αποδόσεων των καλλιεργειών, είτε λόγω μείωσης των εισροών (Καρυδάς & Συλλαίος, 2000).

8.1 Δορυφόροι και Αισθητήρες

Ο δορυφόρος ορίζεται ως ένα σώμα που περιστρέφεται γύρω από ένα άλλο σώμα στο διάστημα. Διακρίνονται σε φυσικούς και ανθρωπογενείς με τη Γη περιστρεφόμενη γύρω από τον Ήλιο, και τη Σελήνη γύρω από τη Γη να αποτελούν παραδείγματα φυσικών δορυφόρων. Ως τεχνητός δορυφόρος ορίζεται ένα μηχάνημα που εκτοξεύεται στο διάστημα και περιστρέφεται γύρω από ένα άλλο σώμα. (Manning, 2018). Τα δορυφορικά συστήματα ταξινομούνται σε ενεργητικά και παθητικά, ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας τους. Τα ενεργητικά λειτουργούν στην περιοχή των μικροκυμάτων του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος όπως για παράδειγμα είναι τα ραντάρ καιρού. Παραδείγματα παθητικών δορυφορικών συστημάτων είναι οι μετεωρολογικοί δορυφόροι (meteorological) που συλλέγουν πληροφορίες σχετικά με την παρακολούθηση των καιρικών συστημάτων, οι περιβαλλοντικοί (environmental) δορυφόροι που χρησιμοποιούνται κυρίως στην ταξινόμηση των χρήσεων της γης, με παραδείγματα δορυφόρων τους LANDSAT, TERRA, IKONOS, WorldView, QuickBird, Pleiades, SPOT, RapidEye, GeoEye-1, και υπερφασματικών δορυφόρων τους Earth Observing-1 και Sentinel 1-6, με τους τελευταίους να αποτελούν μια νέα γενιά δορυφόρων. Στην τηλεπισκόπηση οι δορυφόροι και η λήψη εικόνων από αεροσκάφη αποτελούν βασικά συστήματα συλλογής δεδομένων (Ünsalan & Boyer, 2011.).

Ως αισθητήρας ορίζεται ένα ή περισσότερα όργανα που βρίσκονται σε δορυφόρο, συλλέγοντας πληροφορίες σχετικά με ένα αντικείμενο ή ένα φαινόμενο στην επιφάνεια της Γης χωρίς άμεση φυσική επαφή. Βασικά χαρακτηριστικά ενός δορυφορικού αισθητήρα είναι η φασματική, η χρονική, η ραδιομετρική και η χωρική ανάλυση. Η φασματική ανάλυση είναι ο αριθμός και το πλάτος των φασματικών ζωνών στη συσκευή ανίχνευσης. Η απλούστερη μορφή φασματικής ανάλυσης είναι ένας αισθητήρας ο οποίος ανιχνεύει το ορατό φως. Η χρονική ανάλυση αφορά το πόσο

συχνά επισκέπτεται ο αισθητήρας την ίδια περιοχή. Περιγράφεται από μια σειρά εικόνων που καταγράφονται από τον ίδιο αισθητήρα με την πάροδο του χρόνου (Shunlin & Jindi, 2020). Οι αισθητήρες αλληλοεπιδρούν με την επιφάνεια της Γης είτε ενεργητικά είτε παθητικά. Οι παθητικοί χρησιμοποιούνται για να καταγράψουν φυσικά χαρακτηριστικά της Γης όπως τη σύνθεση και την τραχύτητα της επιφάνειας αλλά και τη θερμοκρασία. Χρησιμοποιούν την ηλιακή ακτινοβολία και ανιχνεύουν



Εικόνα 20. Φασματική ανάλυση αισθητήρων στην περιοχή του ορατού RGB (GISgeography, 2024).

την ανάκλαση από την επιφάνεια της Γης καταγράφοντας ηλεκτρομαγνητικά κύματα (Εικόνα 20). Οι ενεργητικοί αισθητήρες φωτίζουν τα αντικείμενα στην επιφάνεια της Γης με δική τους πηγή ενέργειας εκπέμποντας ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Η ραδιομετρική ανάλυση θεωρείται ως η ικανότητα του αισθητήρα να κάνει «λεπτές» διακρίσεις μεταξύ των τιμών ανάκλασης, καθώς είναι ένα μέτρο της ικανότητας ενός αισθητήρα να διακρίνει δύο αντικείμενα παρόμοιας ανάκλασης. Η χωρική ανάλυση, γνωστή και ως ανάλυση εδάφους, είναι η περιοχή του εδάφους που απεικονίζεται για το στιγμιαίο οπτικό πεδίο ή αλλιώς, η μικρότερη περιοχή του εδάφους που λαμβάνεται ως δείγμα (Instantaneous Field Of View - IFOV). Αναπαριστάται συχνά ως προς την απόσταση (m) και περιγράφει το πλάτος του ενός εικονοστοιχείου (pixel) (NASA, 2023).

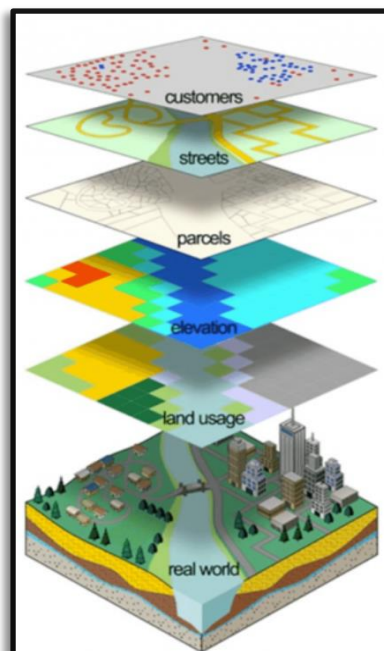
Για τον εντοπισμό της καταπόνησης των φυτών, η τηλεπισκόπηση κάνει χρήση οπτικών, θερμικών, πολυφασματικών και υπερφασματικών αισθητήρων. Οι οπτικοί συλλέγουν πληροφορίες στο ορατό φάσμα της ακτινοβολίας και είναι χαμηλού κόστους, με υψηλή διακριτική ικανότητα, παρέχοντας τη δυνατότητα οπτικής αναγνώρισης προσβολών από εχθρούς, με χαμηλής ποιότητας όμως φασματική ανάλυση. Από τους θερμικούς μπορεί να υπολογιστεί η τιμή της θερμοκρασίας της φυλλικής επιφάνειας, παρέχοντας πολύ χαμηλής ανάλυσης εικόνες. Οι πολυφασματικοί, αποτελούνται από ένα σύνολο αισθητήρων και φακών, από 3 έως 12, με κάθε αισθητήρα να είναι ευαίσθητος σε μία μόνο φασματική περιοχή. Διαθέτουν καλύτερη φασματική ανάλυση από τους οπτικούς αισθητήρες επομένως είναι σε θέση να δώσουν περισσότερες φασματικές πληροφορίες. Ως αποτέλεσμα η χρήση τους αφορά την ανίχνευση προσβολών από εχθρούς και παθογόνα ακόμα και σε αρχικά στάδια. Οι υπερφασματικοί αισθητήρες καλύπτουν μία αρκετά μεγάλη φασματική ζώνη (400-1000 nm) παρέχοντας ακόμα πιο λεπτομερείς και καλύτερης ανάλυσης πληροφορίες. Με τη χρήση τους είναι δυνατή η απεικόνιση ανεπαίσθητων διαφορών στην ανάκλαση του φωτός επιτυγχάνοντας πρόωρη ανίχνευση της καταπόνησης στα φυτά, ακόμα και πριν τα ορατά συμπτώματα. Τα βασικά μειονεκτήματά τους είναι το υψηλό κόστος και ο μεγάλος όγκος πληροφοριών που παράγουν προς επεξεργασία (Maes & Steppe, 2019).

8. 2 Συστήματα μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών

Τα τελευταία χρόνια τα Συστήματα μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (ΣμηΕΑ, unmaned aerial vehicles, UAVs ή drones) εμφανίστηκαν στον τομέα της τηλεπισκόπησης και της γεωργίας ακριβείας και χρησιμοποιούνται με επιτυχία στους τομείς αυτούς λόγω της ευελιξίας τους, του σχετικά χαμηλού κόστους χρήσης τους και του ότι θεωρούνται πολύ καλά μέσα για τη συλλογή δεδομένων από απόσταση. Ο χειριστής ελέγχει από απόσταση το όχημα, χωρίς να βρίσκεται μέσα σε αυτό, κινούνται μέσω ενός υπέργειου σταθμού ελέγχου και διαχειρίζεται τους αισθητήρες συλλογής δεδομένων και το λογισμικό για την επεξεργασία των δεδομένων. Σε ένα Σύστημα Μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (Unmanned Aerial System, UAS) περιλαμβάνονται ένας σταθμός χειρισμού, ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής, ένα σύστημα τροφοδοσίας και διανομής ενέργειας, αισθητήρες και επιπλέον ένας αυτόματος πιλότος εφοδιασμένος με αισθητήρες διαφορικής ατμοσφαιρικής πίεσης, μετρητές ταχύτητας και δέκτη σήματος GPS (Shafi, et al., 2019). Υπάρχει δυνατότητα προσάρτησης σε αυτά αισθητήρων για τη συλλογή εικόνων υψηλής ανάλυσης. Έπειτα από επεξεργασία αυτών των εικόνων ο ερευνητής είναι σε θέση να υπολογίσει δείκτες φυτοπροστασίας όπως είναι ο Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Βλάστησης (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI) αλλά και ο δείκτης φιλικής επιφάνειας (Leaf Area Index - LAI) και ως εκ τούτου να μελετηθούν αλλαγές στις καλλιέργειες πριν αυτές είναι ορατές στο ανθρώπινο μάτι. Η χρήση μη επανδρωμένων αεροσκαφών, λοιπόν, μας επιτρέπει να ανιχνεύσουμε πρόωρες ανεπαίσθητες αλλαγές που δεν θα μπορούσαμε διαφορετικά να εντοπίσουμε με την ίδια ευκολία σε επίπεδο εδάφους (Sylvester, 2018).

8. 3 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών

Για την ανάλυση και την επεξεργασία των δεδομένων χρησιμοποιούνται ευρέως τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Geographical Information Systems- G.I.S.). Τα συστήματα αυτά έχουν βρει αρκετές πρακτικές εφαρμογές την τελευταία δεκαετία, πρώτα στην αμερικάνικη ήπειρο, έπειτα στην Ευρώπη και φυσικά πλέον στη χώρα μας, με την εξέλιξη τους να είναι ταχεία. Η συσχέτιση των συστημάτων GIS με τα συστήματα παρακολούθησης αντικειμένων πάνω στη γη, μέσω της τεχνολογίας των δορυφόρων, συνέβαλαν στην ευρεία διάδοσή τους. Γίνεται εισαγωγή της πληροφορία η οποία μπορεί να είναι σε μορφή εικόνας από δορυφόρο. Για τη μοντελοποίηση, το GIS βασίζεται σε μια αρχή λειτουργίας όπου συνδυάζονται και αποθηκεύονται δεδομένα όπως πόλεις, δρόμοι, γεωγραφικό ανάγλυφο σαν βαθμίδες ονομαζόμενες "layers" οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους μέσω γεωγραφικών συντεταγμένων, σε δύο ή και τρεις διαστάσεις (γεωγραφικό μήκος, πλάτος, ύψος) (Εικόνα 21). Στο GIS μπορεί να παραχθεί ένας ψηφιοποιημένος χάρτης, ο οποίος αποτελεί το μοντέλο του χώρου, αλλά και μία βάση περιγραφικών δεδομένων, τα οποία συνδέονται με τα δεδομένα του χώρου. Έπειτα της μοντελοποίησης των δεδομένων αυτών, γίνεται συσχέτιση μεταβλητών αλλά και σταθερών παραγόντων παραλλακτικότητας, μέσω

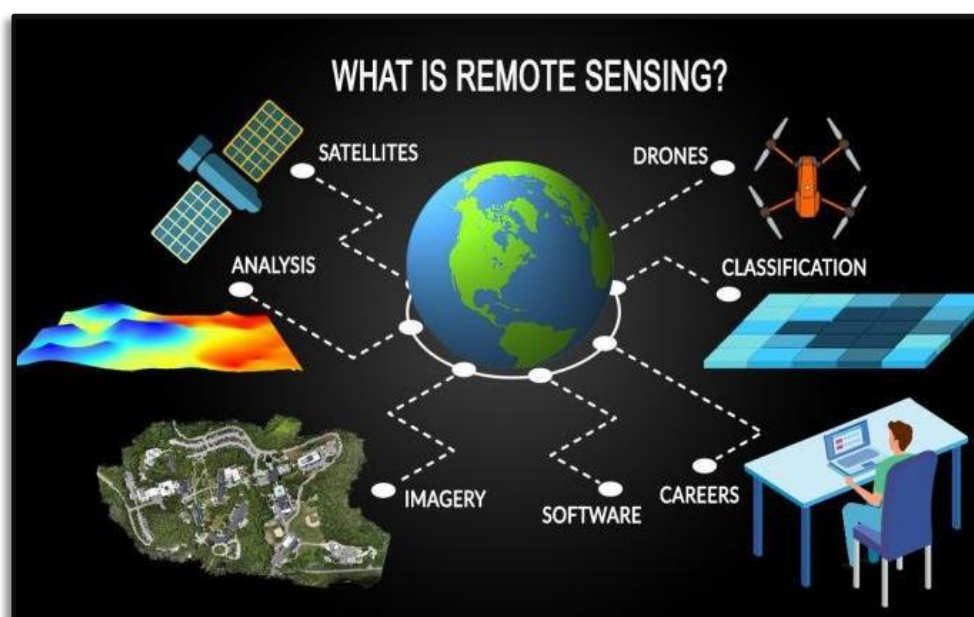


Εικόνα 21. Παράδειγμα χαρτογράφησης με Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS) (zimgeo, 2021).

στατιστικών τεχνικών ώστε τελικά να καταλήξουμε στα αίτια αυτής. Τέλος αποδίδονται τα αποτελέσματα με τη μορφή χαρτών, γραφημάτων ή και πινάκων. Έτσι λοιπόν μέσω των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, η γεωγραφική πληροφορία είναι διαχειρίσιμη με μεγάλη επιτυχία (Ευελπίδου & Αντωνίου, 2015).

9. Τηλεπισκόπηση

Για την κατανόηση της αιτίας της παραλλακτικότητας ενός αγρού σημαντικό εργαλείο αποτελεί η τηλεπισκόπηση. Σύμφωνα με τον Αργιαλά (1999), «Η τηλεπισκόπηση είναι η επιστήμη της απόκτησης ποιοτικής και μετρητικής πληροφορίας ενός φαινομένου ή ενός αντικείμενου από απόσταση, χωρίς δηλαδή φυσική επαφή με το υπό μελέτη φαινόμενο ή αντικείμενο.». Το εύρος εφαρμογής της είναι μεγάλο και έτσι πολλοί επιστημονικοί κλάδοι την αξιοποιούν. Στην επιστήμη της γεωπονίας η τηλεπισκόπηση παίζει σημαντικό ρόλο στην ταξινόμηση των καλλιεργειών και την αξιολόγηση της απόδοσης τους και αποτελεί χρήσιμο εργαλείο για την παρακολούθηση της βλάστησης στο έδαφος (Lum, et al., 2016). Με τη χρήση αισθητήρων, προσαρτημένοι είτε σε δορυφόρο ή σε ΣμηΕΑ, δίνεται η δυνατότητα καταγραφής της ανάκλασης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που δέχονται τα αντικείμενα στο έδαφος, και σε δεύτερο χρόνο ανίχνευσης πιθανής καταπόνησης των φυτικών οργανισμών, ακόμα και πριν την εμφάνιση ορατών συμπτωμάτων (Εικόνα 22) (USGS, 2023).

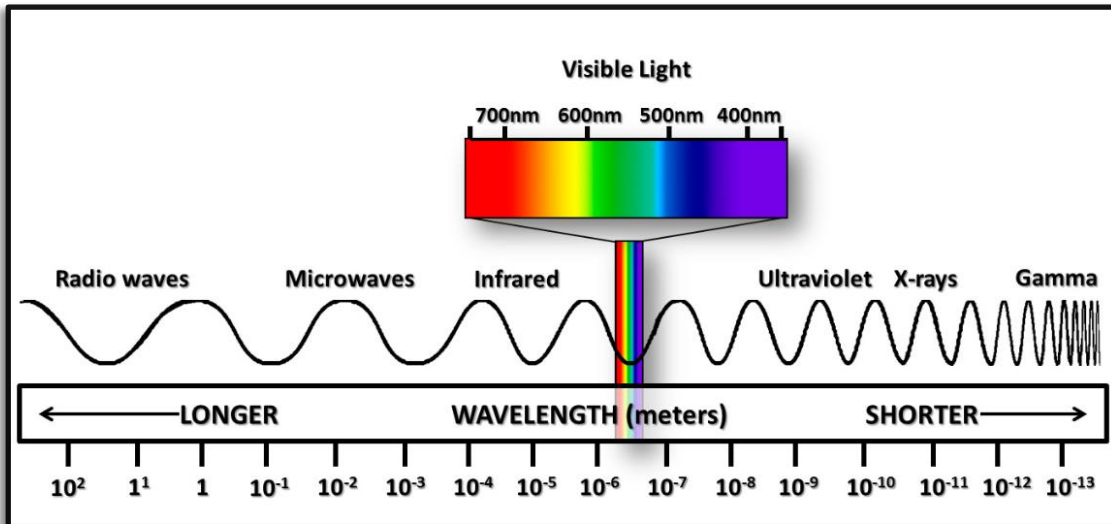


Εικόνα 22. Η έννοια της τηλεπισκόπησης σε μια εικόνα. Λαμβάνοντας δεδομένα από δορυφόρους ή και ΣμηΕΑ, είναι δυνατή η οπτικοποίηση και ανάλυση τους για την αξιολόγηση των καλλιεργούμενων εκτάσεων της Γης (GISgeography, 2024).

9. 1 Ακτινοβολία

Με τον όρο ακτινοβολία περιγράφεται η διάδοση ενέργειας στο χώρο είτε με τη μορφή σωματιδίων (π.χ. ηλεκτρόνια) είτε με τη μορφή κυμάτων (π.χ. ραδιοκύματα). Φυσικές πηγές ακτινοβολίας είναι τα φυσικά ραδιοϊσότοπα τα οποία βρίσκονται στο έδαφος και στο υπέδαφος, στον αέρα και στο νερό. Φυσική πηγή ακτινοβολίας είναι και ο ήλιος, αλλά και η κοσμική ακτινοβολία που εκπέμπουν τα ουράνια σώματα. Η τηλεπισκόπηση μελετά τις αλληλεπιδράσεις της ακτινοβολίας με τα αντικείμενα στη Γη, κατά τη διέλευση της από τα διάφορα ατμοσφαιρικά στρώματα και μέχρι να φτάσει στην επιφάνεια της. Οι αλληλεπιδράσεις αυτές πραγματοποιούνται με τρεις μορφές, την ανάκλαση (reflection), την απορρόφηση (absorption) και τη σκέδαση (transmission) (D, Lu; Q, Weng, 2007). Η τηλεπισκόπηση βασίζεται στην ανάλυση της ενέργειας που φεύγει από ένα στόχο, με απαραίτητη μια πρώτη πηγή ενέργειας όπως ο ήλιος. Η ενέργεια μεταφέρεται με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (Electromagnetic Radiation, EMR). Αποτελείται από δύο αδιαχώριστα κύματα που ταλαντώνουν κάθετα μεταξύ τους με κατεύθυνση που δε συμπίπτει με το επίπεδο ταλάντωσης που ορίζουν τα δύο κύματα, το ηλεκτρικό (E) και το μαγνητικό (M). Η διεύθυνση διάδοσης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στο κενό είναι κατά βάση ευθύγραμμη ταξιδεύοντας στον χώρο μέσω αερίων, υγρών, στερεών αλλά και μέσω του κενού με σχεδόν 300.000 χιλιόμετρα το δευτερόλεπτο (η ταχύτητα του φωτός). Δύο ιδιαίτερα σημαντικά χαρακτηριστικά της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας απαραίτητα για την κατανόηση της Τηλεπισκόπησης αποτελούν το μήκος κύματος - (λ) - (wavelength) και η συχνότητα - (ν) - (frequency). Η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια λοιπόν διέπεται από τη σχέση $c = \nu \times \lambda$. όπου λ , (μήκος κύματος) η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών κορυφών, και ν (συχνότητα) ο αριθμός των διαδοχικών κορυφών που διέρχονται από ένα δεδομένο σημείο στον χώρο, στην μονάδα του χρόνου. Η συχνότητα εκφράζεται σε hertz (Hz) και αναφέρεται στον αριθμό των μηκών κύματος που περνούν ένα σταθερό σημείο σε 1 δευτερόλεπτο. Το μήκος κύματος και η συχνότητα είναι αντιστρόφως ανάλογα, πράγμα που σημαίνει ότι όσο υψηλότερη είναι η συχνότητα τόσο μικρότερο είναι το μήκος κύματος και αντίστροφα (Kitchin, 2013). Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα (electromagnetic spectrum) αποτελείται από όλες τις συχνότητες ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που διαδίδουν ενέργεια και ταξιδεύουν στο διάστημα με τη μορφή κυμάτων. Αποτελείται από τις ακόλουθες επτά περιοχές : τις ακτίνες γάμμα, τις ακτίνες Χ, το υπεριώδες, το ορατό φως, το υπέρυθρο φως, τα μικροκύματα και τα ραδιοκύματα (Εικόνα 23). Μεγαλύτερα μήκη κύματος με χαμηλότερες συχνότητες αποτελούν τα ραδιοκύματα. Μικρότερα μήκη κύματος με υψηλότερες συχνότητες αποτελούν το οπτικό φάσμα. Το τμήμα του φάσματος που μπορούν να δουν οι άνθρωποι ονομάζεται ορατό φάσμα. Η ενέργεια που φτάνει στη Γη είναι γνωστή ως ηλιακή ακτινοβολία. Αν και ο ήλιος εκπέμπει ακτινοβολία σε όλα τα μήκη κύματος, περίπου το 44% εμπίπτει στα μήκη κύματος ορατού φωτός και αποτελείται από μικρά μήκη κύματος στην περιοχή 400 νανόμετρα (nm) ή 0,4 μικρόμετρα (μm), έως 700 nm ή 0,7 μm (Krapivin, et al., 2015).

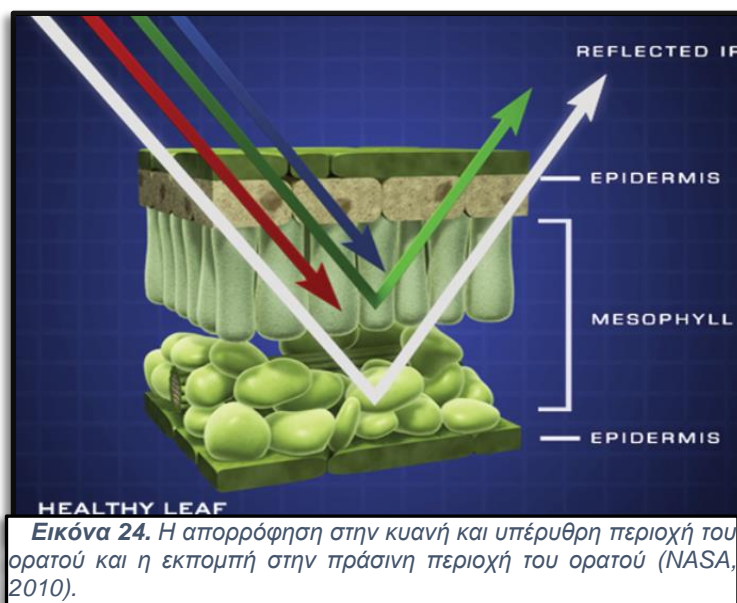
Κάθε αντικείμενο έχει έναν μοναδικό τρόπο αλληλεπίδρασης με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Το ποσοστό αλληλεπίδρασης της ΗΑ με κάθε αντικείμενο επηρεάζεται από το είδος του αντικειμένου και το μήκος κύματος και ονομάζεται φασματική υπογραφή (spectral signature) με αποτέλεσμα τη διάκριση μέσω της τηλεπισκόπησης των αντικειμένων μεταξύ τους. Το έδαφος, το νερό και η βλάστηση αντανακλούν και απορροφούν σε διαφορετικά μήκη κύματος, γεγονός που συμβάλει στη διάκριση του τύπου κάλυψης της Γης (Heege & Thiessen, 2013).



Εικόνα 23. Το ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα με τις διαφορετικές φασματικές περιοχές (CSI, 2023).

9.2 Φωτοσύνθεση

Το φως είναι πρωταρχικής σημασίας για να πραγματοποιηθεί η διαδικασία της φωτοσύνθεσης. Η φωτοσύνθεση αποτελεί από τις βασικές λειτουργίες των φυτικών οργανισμών. Πραγματοποιείται στους χλωροπλάστες στο μεσόφυλλο του φύλλου, όπου δεσμεύεται η ηλιακή ενέργεια για τη σύνθεση υδατανθράκων και την παράγωγή οξυγόνου. Για τη δέσμευση αυτή, κάθε φωτοσυνθετικός οργανισμός διαθέτει χρωστικές ενώσεις. Η χλωροφύλλη είναι η κυριότερη φωτοσυνθετική χρωστική που ευθύνεται για την απορρόφηση του φωτός κατά τη φωτοσύνθεση και χωρίζεται σε χλωροφύλλη a και χλωροφύλλη b. Απορροφά συγκεκριμένα μήκη κύματος εντός του ορατού φάσματος φωτός και αντανακλάει άλλα, μεταβάλλοντας την ηλεκτρονιακή τους κατάσταση. Η αιτία που ο ανθρώπινος οφθαλμός βλέπει τα υγιή φυτά με πράσινο χρώμα αποδίδεται στο ότι τα υγιή φύλλα απορροφούν στην κυανή (475 nm) και ερυθρή (670 nm) περιοχή



Εικόνα 24. Η απορρόφηση στην κυανή και υπέρυθη περιοχή του ορατού και η εκπομπή στην πράσινη περιοχή του ορατού (NASA, 2010).

του ορατού φάσματος και εκπέμπουν στην πράσινη περιοχή (550 nm) (Εικόνα 24) (Αραποστάθη, 2022).

9.3 Καταπόνηση φυτικών οργανισμών

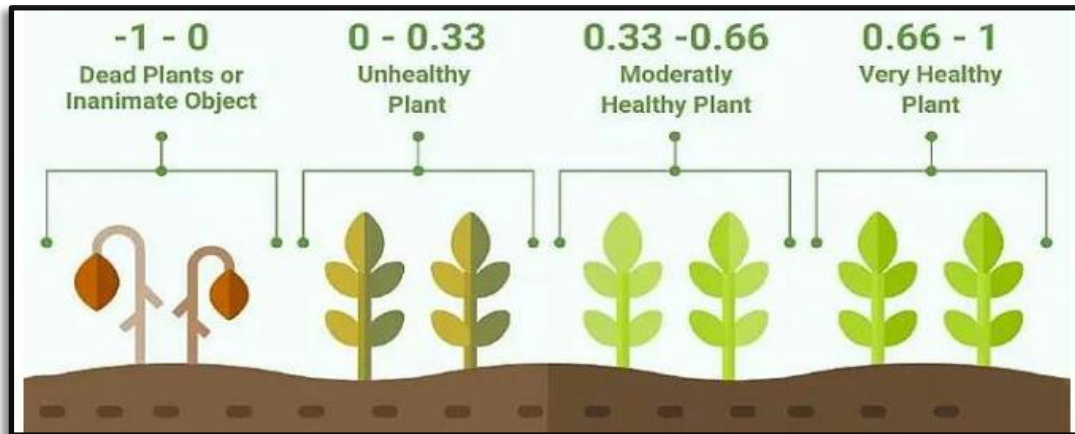
Ως καταπόνηση ορίζεται οποιαδήποτε δυσμενής επίδραση παράγοντα που τείνει να επηρεάσει ή να παρεμποδίσει την εύρυθμη λειτουργία φυσιολογικών μηχανισμών σε έναν οργανισμό. Οι παράγοντες αυτοί μπορεί να είναι είτε βιοτικοί ή αβιοτικοί. Οι βιοτικοί προσδιορίζονται ως οι ζωντανοί οργανισμοί για παράδειγμα, τα φυτοπαθογόνα βακτήρια, οι μύκητες, τα έντομα, τα ακάρεα και άλλα, ενώ οι αβιοτικοί αναφέρονται στις ακραίες συνθήκες περιβάλλοντος, όπως την ξηρασία, την υψηλή αλατότητα, τις ακραίες θερμοκρασίες και άλλα. Η προσβολή από εχθρούς και παθογόνα έχει άμεσες επιπτώσεις σε ζωτικές φυσιολογικές λειτουργίες μεταξύ φυτού και ξενιστή (Καραμπουρνιώτης, et al., 2012).

9.4 Δείκτες Βλάστησης

Στη Γεωργία Ακριβείας χρησιμοποιείται η ανακλώμενη ακτινοβολία από τα φυτά για να υπολογιστούν οι δείκτες βλάστησης, οι οποίοι διαμορφώνονται από την αλληλεπίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας με τη χλωροφύλλη των φυτών. Με αυτόν τον τρόπο μπορούν να βγουν συμπεράσματα σχετικά με την υγεία των φυτών. Από τους 150 δείκτες βλάστησης που υπάρχουν, ένας από τους πιο δημοφιλείς είναι ο δείκτης κανονικοποιημένης διαφοράς (NDVI) όπου περιγράφει την ευρωστία των φυτών, σχετίζεται με την απόδοση των καλλιεργειών και κάποιες φορές με την ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων (Ferguson & Rundquist, 2018).

Ο δείκτης κανονικοποιημένης διαφοράς βλάστησης είναι ο πιο σημαντικός δείκτης βλάστησης (NDVI, Normalized Difference Vegetation Index). Είναι ένας δείκτης ευρωστίας των φυτών μέσω της μελέτης και της αντίδρασης των χρωστικών των φύλλων στο φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας. Συγκεκριμένα δίνεται από τον τύπο $NDVI = (R_{NIR} - R_{RED}) / (R_{NIR} + R_{RED})$, όπου R_{NIR} είναι η ανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας στο μήκος κύματος του εγγύς υπέρυθρου, ενώ R_{RED} είναι η ανάκλαση στο μήκος κύματος του ερυθρού. Οι πολυφασματικές και υπερφασματικές εικόνες είναι δυνατόν να συλλέγονται από δορυφόρους αλλά και αέρια συστήματα παρατήρησης (επανδρωμένα ή μη επανδρωμένα αεροχήματα). Αυτό το κομμάτι αποτελεί και το βασικό στοιχείο για τη δημιουργία των NDVI χαρτών. Με την κατασκευή αυτών των χαρτών είναι δυνατόν να διαχωριστεί η βλάστηση από το γυμνό έδαφος, να γίνει ανίχνευση των μη εύρωστων ή και καταπονημένων φυτών, αλλά και να διακρίνονται οι καλλιέργειες μεταξύ τους και να εκτιμάται το στάδιο ανάπτυξης των φυτών. Ο NDVI παίρνει τιμές από -1 έως +1. Όταν η τιμή του βρίσκεται κοντά στο 0 συνεπάγεται μη ύπαρξη βλάστησης (γυμνό έδαφος), τιμή κοντά στο +1 (0,8-0,9) υποδεικνύει τη

μεγαλύτερη δυνατή πυκνότητα βλάστησης, ενώ τιμή κάτω του 0 ορίζει την ύπαρξη νερού, χιονιού, πάγου και νεφών (Εικόνα 25).



Εικόνα 25. Οι τιμές που λαμβάνει ο δείκτης βλάστησης NDVI ανάλογα με το αν ένα φυτό είναι νεκρό, καταπονημένο, σχετικά υγιές και πολύ υγιές. (Cropin, 2021).

Σκοπός Μελέτης

Ο σκοπός της μελέτης αυτής είναι η χρήση του Δείκτη Κανονικοποιημένης Διαφοράς Βλάστησης – NDVI για τον εντοπισμό πιθανής καταπόνησης στα σημεία προσβολής από εντομολογικούς εχθρούς, και συγκεκριμένα για την εργασία αυτή, για την ψύλλα της ελιάς, *Euphyllura* spp., στον υπό μελέτη ελαιώνα, στην περιοχή Πάσιο, στο Κιάτο Κορινθίας.

Με τη χρήση των αισθητήρων που είναι προσαρτημένοι στους δορυφόρους, είναι δυνατόν να αποτυπωθούν δορυφορικές εικόνες υψηλής ανάλυσης της περιοχής ενδιαφέροντος μας, και να ανιχνευθεί τυχόν καταπόνηση στα ελαιόδεντρα, χρησιμοποιώντας ως εργαλείο την ανάκλαση του φωτός. Συγκεκριμένα, η καταπόνηση ενός φυτού από βιοτικούς ή και αβιοτικούς παράγοντες, οδηγεί σε αλλαγές σε κυτταρικό επίπεδο. Οι αλλαγές αυτές αποτυπώνονται αριθμητικά, με την ανάκλαση του φωτός στα διάφορα μήκη κύματος, που θα ανιχνευτεί εν τέλει από τους αισθητήρες των δορυφόρων. Έπειτα από κατάλληλη επεξεργασία αυτών των εικόνων, κατασκευάζεται χάρτης της περιοχής, υπολογίζεται ο δείκτης NDVI με βάση τις τιμές ανάκλασης, και έτσι συλλέγονται πληροφορίες για την εκτίμηση της φυτοϋγείας των ελαιόδεντρων. Τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης, θα καταδείξουν εάν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του δείκτη NDVI και του αριθμού των εντόμων που καταμετρήθηκαν έπειτα από τους δειγματοληπτικούς ελέγχους, ώστε να μπορεί ο δείκτης φυτοϋγείας να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό της καταπόνησης από εντομολογικούς εχθρούς.

Η χρήση των αισθητήρων στη τηλεπισκόπηση αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για τον Γεωπόνο, εξυπηρετώντας τον να ολοκληρώσει την ερευνά του με μεγαλύτερη ταχύτητα και αποτελεσματικότητα ως προς το να εντοπίσει τον παράγοντα που προκαλεί την καταπόνηση στα φυτά, κάτι που δε θα μπορούσε να επιτευχθεί στηριζόμενοι μόνο στα αποτελέσματα της τηλεπισκόπησης, καθώς απαιτείται η τεχνογνωσία των ειδικών για την αξιολόγηση τους.

Η τηλεπισκόπηση έχει χρησιμοποιηθεί τις τελευταίες δεκαετίες για τη μελέτη της επίδρασης αβιοτικών και βιοτικών παραγόντων καταπόνησης στις γεωργικές καλλιέργειες, ωστόσο είναι δύσκολο να προσδιοριστεί η αιτία που προκαλεί την καταπόνηση χωρίς τη χρήση των φασματικών υπογραφών. Η χρήση της τηλεπισκόπησης στον αγρό σε πραγματικό χρόνο παρέχει χωρικές και χρονικές πληροφορίες καταπόνησης, όμως για τη διαπίστωση της αιτίας, απαιτείται περαιτέρω έρευνα για τον εντοπισμό και τη διάκριση της φασματικής υπογραφής, και συγκεκριμένα για την παρούσα μελέτη, στα υγιή στα και προσβεβλημένα ελαιόδεντρα από την ψύλλα της ελιάς. Με τους υπερφασματικούς αισθητήρες θα ήταν δυνατή η συλλογή αρκετών εκατοντάδων φασματικών ζωνών, με αποτέλεσμα να συλλάβουν τη «φασματική υπογραφή» ενός οργανισμού, για την αναγνώριση του, και κατά συνέπεια, την εξακρίβωση της αιτίας καταπόνησης, αλλά και τη διάκριση του από άλλους οργανισμούς που πιθανόν να συνυπάρχουν με παρόμοια συμπτωματολογία.

Υλικά και Μέθοδοι

10. Χειρισμοί στον Ελαιώνα

10.1. Πτήση ΣμηΕΑ

Όσον αφορά το πειραματικό μέρος στον αγρό, σε ελαιώνα στο Κιάτο Κορινθίας, στην περιοχή Πάσιο του Σικυώνα, πραγματοποιήθηκε στις 13 Σεπτεμβρίου του 2021 πτήση με ΣμηΕΑ (μοντέλο MERA, έτος κατασκευής 2021, εταιρεία κατασκευής UcanDrone) (Εικόνα 26). Κατασκευασμένο από ανθρακόνημα, αλουμίνιο και πλαστικό, το ΣμηΕΑ Mera διαθέτει τέσσερα στροφέα, είναι τετρακόπτερο, κατηγορίας EASA C3, με μέγιστη εμβέλεια τηλεχειρισμού τα 12 km και μέγιστο βάρος κατά την απογείωση τα 5 κιλά, και φέρει πολυφασματικούς και οπτικούς αισθητήρες, για τη λήψη εικόνων σε κάτοψη του αγρού. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε η RedEdge MX (έτος κατασκευής 2018 με εταιρεία κατασκευής τη MicaSense), μια προηγμένη πολυφασματική κάμερα που έχει σχεδιαστεί ειδικά για συστήματα μικρών μη επανδρωμένων αεροσκαφών (Εικόνα 27). Παρέχει ακριβή δεδομένα πολλαπλών ζωνών με σκοπό την τηλεπισκόπηση στον τομέα της γεωργίας. Με βάρος μόλις 231,9



Εικόνα 26. Το ΣμηΕΑ Mera της εταιρείας Ucadrone με το οποίο πραγματοποιήθηκε η πτήση για τη λήψη εικόνων μέσω της προσαρτημένης πολυφασματικής κάμερας (Επεξεργασία από Αναγνώστου Μαριάνθη).

γραμμάρια διαθέτει πέντε ζώνες φάσματος και συγκεκριμένα τις ακόλουθες : BLUE - μπλε φάσμα , GREEN - πράσινο φάσμα, RED - κόκκινο φάσμα, RED EDGE μήκος κύματος και NIR - Εγγύς υπέρυθρο φάσμα (Εικόνα 28). Παρέχει στον χειριστή εξαιρετικά δεδομένα για τις καλλιέργειες ώστε να λάβει τεκμηριωμένες αποφάσεις σχετικά με τις ακόλουθες δράσεις φυτοπροστασίας αλλά και τη συγκομιδή. Διαθέτει global shutter για τις RGB φωτογραφίες οπότε κάθε pixel της φωτογραφίας λαμβάνεται κατά την ίδια χρονική στιγμή και έτσι πραγματοποιείται λήψη μίας φωτογραφίας ανά δευτερόλεπτο για όλες τις ζώνες του φάσματος που διαθέτει. Η πλευρά του κάθε pixel που αιχμαλωτίζει ο φακός αντιστοιχεί σε 8 cm εδάφους (ground, sample distance, GSD) σε ύψος 120



Εικόνα 27. Η κάμερα Red Edge – MX της εταιρείας Micasense που χρησιμοποιήθηκε επί ΣμηΕΑ για τη λήψη φωτογραφιών στην περιοχή ενδιαφέροντος, στον ελαιώνα (GeoSense, 2023).

μέτρων. Επίσης, διαθέτει ενσωματωμένο GPS. Η πτήση πραγματοποιήθηκε από τον

διπλωματούχο χειριστή ΣμηΕΑ κατηγορίας A2 και μεταπτυχιακό φοιτητή του εργαστηρίου Γεωργικής Ζωολογίας και Εντομολογίας Κάρελλα Κωνσταντίνο, σύμφωνα με ό, τι ορίζεται από την ισχύουσα νομοθεσία, στις 13 Σεπτεμβρίου και ώρα 12 μετά μεσημβρίας ώστε ο ήλιος να βρίσκεται σε κατακόρυφη θέση. Με αυτό τον τρόπο αποτράπηκε η δημιουργία σκιών οι οποίες και θα αλλοίωναν το αποτέλεσμα της ανάκλασης της ηλιακής ακτινοβολίας. Η αποστολή της πτήσης σχεδιάστηκε στο πρόγραμμα Mission Planner, της εταιρείας ArduPilot, όπου μέσω αυτού το ΣμηΕΑ επικοινωνεί με τον υπολογιστή. Έγινε χρήση της τηλεμετρίας για τη σύνδεση αυτή. Συγκεκριμένα το καλώδιο τηλεμετρίας συνδέθηκε με τον υπολογιστή, με σκοπό την επικοινωνία του με το ΣμηΕΑ, ενώ ο πιλότος του συστήματος δέχεται και στέλνει τα δεδομένα στον υπολογιστή. Οι παράμετροι της πτήσης για την ταχύτητα ήταν στα 5 μέτρα ανά δευτερόλεπτο και για το ύψος πτήσης τα 70 μέτρα για το χρονικό διάστημα όπου η πολυφασματική κάμερα θα πραγματοποιούσε λήψεις (1 λήψη ανά 2 δευτερόλεπτα), όπως επίσης ορίστηκε, και η αλληλοεπικάλυψη που θα υπήρχε στις λήψεις ώστε να υπάρχει η μικρότερη δυνατή απώλεια πληροφοριών αλλά και ο τρόπος κάλυψης της περιοχής (cross grid). Τέλος οι αποστολές φορτώθηκαν στον αυτόματο πιλότο του ΣμηΕΑ.

Ζώνη Φάσματος	Κέντρο (nm)	Πλάτος Ζώνης (nm)
Blue	475 nm	32 nm
Green	560 nm	27 nm
Red	668 nm	16 nm
Red edge	717 nm	12 nm
Near infrared	842 nm	57 nm

Εικόνα 28. Στον παραπάνω πίνακα αναφέρονται οι πέντε ζώνες φάσματος για τις RGB, Red Edge και NIR, με το αντίστοιχο κέντρο και πλάτος της κάθε ζώνης (GeoSense, 2023).

10. 2. Τοποθέτηση παγίδων και δειγματοληψίες

Στις 28 Σεπτεμβρίου 2021 τοποθετήθηκαν, 27 στο σύνολο, κίτρινες κολλητικές παγίδες, χωρίς προσελκυστική ουσία, (Εικόνα 29) ανά 5 με 10 ελαιόδεντρα, για την παρακολούθηση της πληθυσμιακής πυκνότητας. Κατασκευάστηκε ένα νοητό παραλληλόγραμμο που περιλάμβανε 50 με 60 δέντρα ώστε να αποτυπωθεί η ποικιλομορφία που εμφανίζει ο ελαιώνας. Τα δέντρα όπου τοποθετήθηκαν οι παγίδες, συνολικά 27 σε αριθμό, έχουν καταγραφεί ως σημεία, με συντεταγμένες μέσω συστήματος GPS, από την εφαρμογή ΕΓΣΑ (Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς).

Πραγματοποιήθηκαν στη συνέχεια επισκέψεις στον αγρό, με σκοπό τη συλλογή των γεμάτων παγίδων με πληθυσμό ψύλλας και λοιπών εντόμων και την αντικατάστασή τους με



Εικόνα 29. Τοποθέτηση κίτρινης κολλητικής παγίδας σε ελαιόδεντρο για τη συλλογή ενηλίκων του γένους *Eurhyllura* spp. (Επεξεργασία από Αναγνώστου Μαριάνθη).



Εικόνα 30. Συλλογή κίτρινων κολλητικών παγίδων στις οποίες είναι προσκολλημένο πλήθος εντόμων (Επεξεργασία από Αναγνώστου Μαριάνθη).

ψύλλας της ελιάς του γένους *Eurhyllura* spp. με τη χρήση στερεοσκοπίου, στο εργαστήριο Γεωργικής Ζωολογίας και Εντομολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών (Εικόνα 30). Στις 18 Μαΐου, για το έτος 2022, έπειτα από επίσκεψη στον ελαιώνα, έγινε εκτίμηση του ποσοστού προσβολής των ελαιόδεντρων από τις νύμφες του εντόμου (Εικόνα 31), λαμβάνοντας υπόψη τον αριθμό των προσβεβλημένων ταξιανθιών, με τις μελιτώδεις, λευκές, κηρώδεις εκκρίσεις του εντόμου, στα τέσσερα σημεία του ορίζοντα, Βορρά, Νότο, Ανατολή και

νέες παγίδες. Οι επισκέψεις στον ελαιώνα για την αντικατάσταση των παγίδων λάμβανε χώρα ανά 15 με 20 ημέρες, και συγκεκριμένα οι ημερομηνίες αλλαγής παγίδων ήταν στις 19/10, 01/11, 12/11 και 03/12 για το 2021. Στις 3 Δεκεμβρίου τερματίστηκε ο κύκλος δειγματοληψιών και η τοποθέτηση παγίδων για το έτος 2021, καθώς δεν υπήρχε πλέον πληθυσμός προς καταμέτρηση πιθανότατα λόγω διαχείμανσης. Για κάθε παγίδα που αφαιρέθηκε, έγινε καταμέτρηση των ακμαίων ατόμων της



Εικόνα 31. Προσβολή ταξιανθιών από την ψύλλα της ελιάς *Eurhyllura* sp., και το χαρακτηριστικό σύμπτωμα με τις λευκές κηρώδεις εκκρίσεις (Επεξεργασία από Αναγνώστου Μαριάνθη).

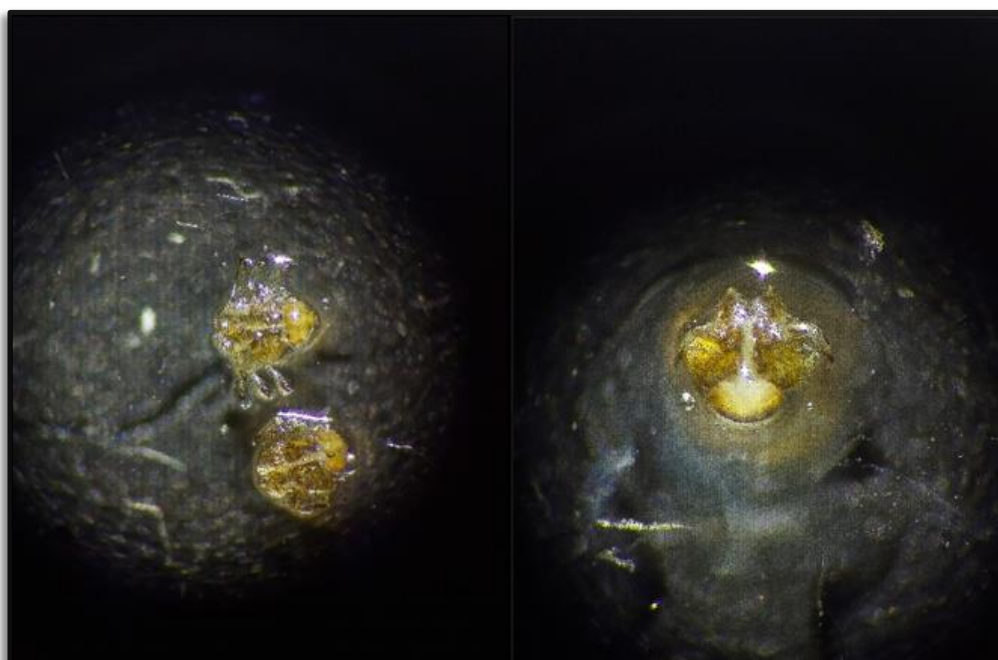
Δύση ανά δέντρο. Αντίστοιχα για το έτος 2022, στις 9 Αυγούστου ξεκίνησε νέος κύκλος δειγματοληψιών, όπου τοποθετήθηκαν ξανά ίδιου τύπου παγίδες στα ίδια σημεία που είχαν τοποθετηθεί το 2021 με βάση τις συντεταγμένες από την ΕΓΣΑ. Ακολούθησαν επισκέψεις στον αγρό για αλλαγή παγίδων και έλεγχο της πληθυσμιακής πυκνότητας της ψύλλας της ελιάς στις ακόλουθες ημερομηνίες : 27/08, 12/09, 29/09, 14/10, 25/10, 10/11 και τέλος στις 25/11 όπου τερμάτισε ο κύκλος δειγματοληψιών για το 2022 λόγω διαχείμανσης του πληθυσμού. Έπειτα δεν τοποθετήθηκαν εκ νέου παγίδες.

10. 3. Στερεοσκοπική παρατήρηση

Για κάθε μια από τις παραπάνω ημερομηνίες έγινε καταμέτρηση ακμαίων ανά παγίδα, με γυμνό οφθαλμό. Εκτός από την καταγραφή του αριθμού των ενήλικων ατόμων, έγινε και συλλογή ενδεικτικού αριθμού ατόμων με χρήση αναρροφητήρα, και παρατήρηση τους στο εργαστήριο Ζωολογίας και Εντομολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, με τη χρήση στερεοσκοπίου (Zeiss Stemi 305), σε αντικειμενοφόρο πλάκα έπειτα από χειρισμό του εντόμου με γλυκερίνη, . Μέσω της κλείδας από τους *Lauterer et al. (1986)* επιβεβαιώθηκε ότι τα ακμαία άτομα που ελήφθησαν από τις δειγματοληψίες ανήκουν στο είδος *E. phillyreae* (*Εικόνες 32a,32b.*), με δεδομένο ότι οι πρόσθιες πτέρυγες του ατόμου έχουν σχετικά κοντό πτερόστιγμα χωρίς ορατές εγκάρσιες νευρώσεις σε αντίθεση με τις πτέρυγες των *E. olivina* και *E. straminea* που έχουν μακρύ πτερόστιγμα με νευρώσεις που διασταυρώνονται. Εκτός από τα ενήλικα άτομα του εντόμου προς μελέτη, πάρθηκαν δείγματα και από νύμφες μετά την επίσκεψη στον αγρό τον μήνα Μάιο, για παρατήρηση τους στο στερεοσκόπιο του εργαστηρίου, και πάλι μετά από χειρισμό τους με γλυκερίνη. Ήταν ορατές οι καταβολές πτερύγων τους, οπότε και θα μπορούσαμε να θεωρήσουμε ότι είναι μεταξύ 3ης και 5ης ηλικίας με βάση τη βιβλιογραφία (*Εικόνες 33a,33b.*).



Εικόνα 33. a/b Εικόνα κατά την παρατήρηση σε στερεοσκόπιο (Zeiss Stemi 305) για τη νύμφη του *E. phillyreae* (Επεξεργασία από Αναγνώστου Μαριάνθη).



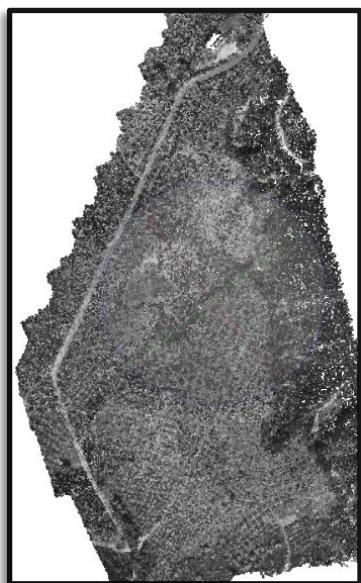
Εικόνα 32. a/b. Εικόνα κατά την παρατήρηση σε στερεοσκόπιο (Zeiss Stemi 305) για το ενήλικο άτομο *E. phillyreae* με πτέρυγα όπου το πτερόστιγμα είναι σχετικά κοντό χωρίς ορατές εγκάρσιες νευρώσεις (Επεξεργασία από Αναγνώστου Μαριάνθη).

11. Προγράμματα φωτογραμμετρίας

Για την επεξεργασία των φωτογραφιών από την προσαρτημένη κάμερα στο ΣμηΕΑ, χρησιμοποιήθηκαν το πρόγραμμα φωτογραμμετρίας Metashape της εταιρείας Agisoft και έπειτα το γεωπληροφοριακό πρόγραμμα QGIS. Πάνω στις ήδη υπάρχουσες τεχνικές χαρτογράφησης, μετατρέπονται τα δυσδιάστατα αρχεία σε τρισδιάστατη μορφή, χρησιμοποιώντας τις συντεταγμένες αλλά και την γεωμορφολογία του εδάφους και των αντικειμένων που βρίσκονται σε αυτό.

11. 1 Πρόγραμμα Agisoft Metashape

Το λογισμικό Agisoft Metashape αποτελεί εργαλείο επεξεργασίας ψηφιακών εικόνων από ΣμηΕΑ και δημιουργίας τρισδιάστατων χωρικών δεδομένων. Δίνεται η δυνατότητα στους χρήστες να επεξεργαστούν έναν τεράστιο αριθμό αεροφωτογραφιών παράγοντας φωτομετρικά δεδομένα επαγγελματικού επιπέδου υψηλής ανάλυσης και ακρίβειας και επιτρέπει την παραγωγή ορθοφωτοχάρτων αλλά και του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους. (Agisoft, 2018). Από τον πολυφασματικό αισθητήρα RedEdge MX, με το ενσωματωμένο GPS (κάθε φωτογραφία που λαμβάνει διαθέτει γεωαναφορά) γίνεται μεταφόρτωση των φωτογραφιών στο πρόγραμμα Agisoft Metashape όπου το πρόγραμμα τοποθετεί τις φωτογραφίες αυτόματα με βάση τις συντεταγμένες της κάθε φωτογραφίας. Η ευθυγράμμιση των φωτογραφιών (alignment), είναι το πρώτο βασικό στάδιο επεξεργασίας κατά το οποίο ταυτοποιούνται τα κοινά σημεία μεταξύ των φωτογραφιών βρίσκοντας ακριβώς την σωστή θέση για την κάθε φωτογραφία βελτιώνοντας τις παραμέτρους βαθμονόμησης της κάμερας.



Εικόνα 34. Το αραιό νέφος σημείων (sparse point cloud), αντιπροσωπεύει το αποτέλεσμα της ευθυγράμμισης (alignment) φωτογραφιών στο περιβάλλον του προγράμματος Agisoft Metashape. (Φωτογραφία από Αναγνώστου Μαριάνθη).

Αποτέλεσμα αυτής της επεξεργασίας είναι ο σχηματισμός ενός νέφους αραιών σημείων (sparse point cloud) (Εικόνα 34). Έπειτα, στο επόμενο βήμα επεξεργασίας δεδομένων, το πρόγραμμα χτίζει το πυκνό νέφος σημείων (dense point cloud) το οποίο κατασκευάζεται με βάση τις συντεταγμένες των φωτογραφιών και το περιεχόμενό τους. (Εικόνα 35). Το επόμενο στάδιο είναι η δημιουργία ενός τρισδιάστατου (3D) μοντέλου πολυγωνικού πλέγματος (Mesh ή / και DEM) που αντιπροσωπεύει την επιφάνεια του αντικειμένου με βάση το πυκνό ή αραιό νέφος σημείων. Έτσι κατασκευάστηκαν στη συνέχεια τα 3D μοντέλα DTM (digital terrain model). Αφορούν την επιφάνεια του γυμνού εδάφους χωρίς άλλα αντικείμενα, αφού θα προκύψει συνδέοντας μόνο τα σημεία του πυκνού νέφους που αντιπροσωπεύουν έδαφος. Έτσι προκύπτει αναπαράσταση με τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά της προς εξέταση περιοχής (κλίση, προσανατολισμός, οριζόντια και κάθετη καμπυλότητα της επιφάνειας του εδάφους.). Στη δημιουργία του μοντέλου DSM (digital surface model), το πρόγραμμα συνδέει όλα τα σημεία του πυκνού νέφους και έτσι απεικονίζεται το έδαφος και ό,τι υπάρχει στην επιφάνεια του, δηλαδή το ύψος των ανακλαστικών επιφανειών, όπως κτίρια, βλάστηση, δρόμους. Με βάση τον χάρτη

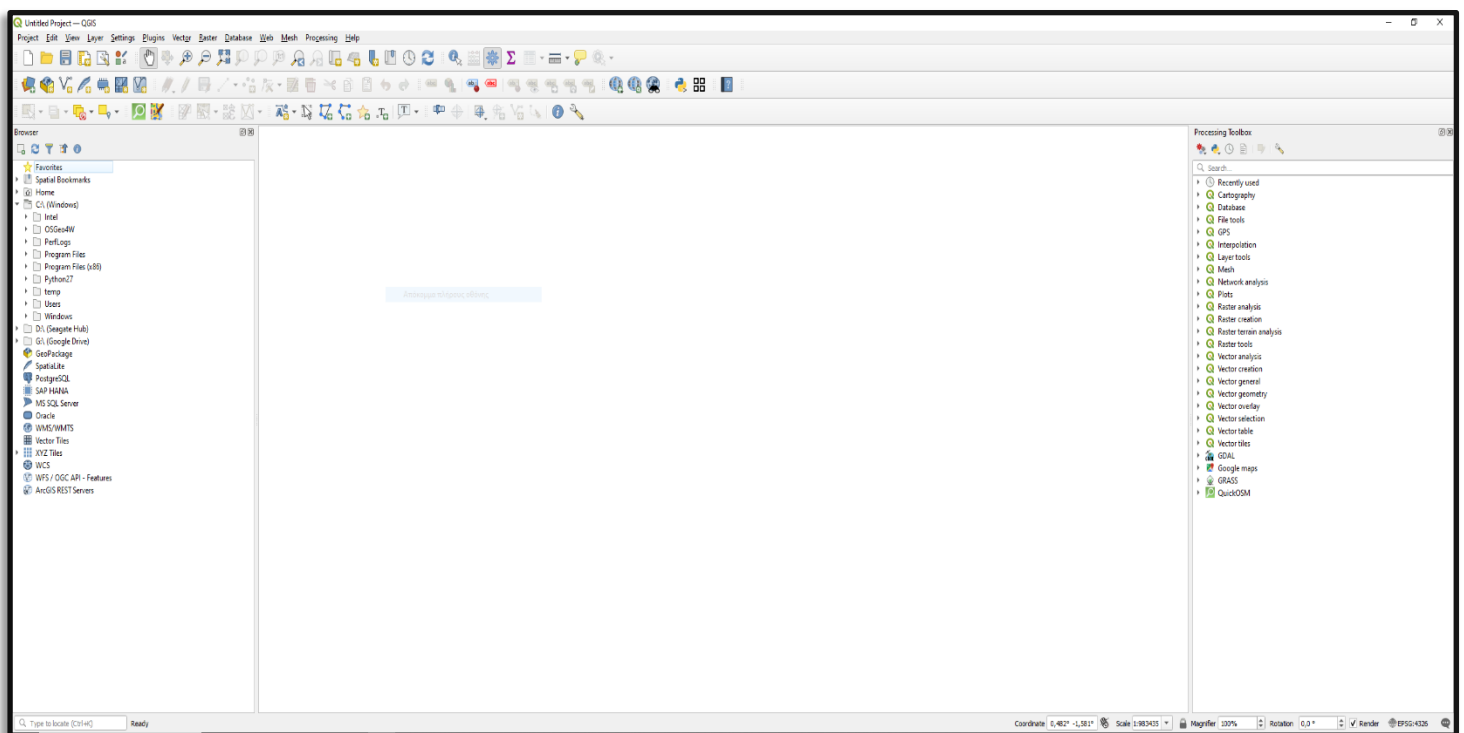
του ανάγλυφου του εδάφους (DTM) ή της επιφάνειας (DSM) στο τέταρτο και τελευταίο στάδιο της επεξεργασίας των φωτογραφιών στο πρόγραμμα Metashape δημιουργείται ένας RGB χάρτης (Red – Green – Blue), ο λεγόμενος ορθομωσαϊκός, που σημαίνει πως περιλαμβάνει τις ζώνες φωτός του ορατού φάσματος. Αφορά την υφή της επιφάνειας και είναι μια ακριβής και λεπτομερής φωτογραφική αναπαράσταση μιας περιοχής. Παρέχει πληροφορίες σχετικά με την τοπογραφία της μαζί με τα κτίρια, τους δρόμους και οποιαδήποτε άλλη ανθρώπινη κατασκευή. Τέλος έγινε εξαγωγή σε αρχείο της μορφής “.tiff” αντίστοιχα για όλους τους χάρτες που προαναφέρθηκαν (του ανάγλυφου του εδάφους -DTM, της επιφάνειας του ελαιώνα- DSM, και το ορθομωσαϊκό του ελαιώνα) ώστε να γίνει περαιτέρω ανάλυση τους στο πρόγραμμα γεωπληροφοριακού συστήματος QGIS.



Εικόνα 35. Το πυκνό νέφος σημείων (dense point cloud) που δημιουργήθηκε στο πρόγραμμα Agisoft Metashape. Με βάση το πυκνό νέφος θα κατασκευαστεί έπειτα το 3D μοντέλο DEM (Φωτογραφία του προγράμματος Metashape από Αναγνώστου Μαριάνθη).

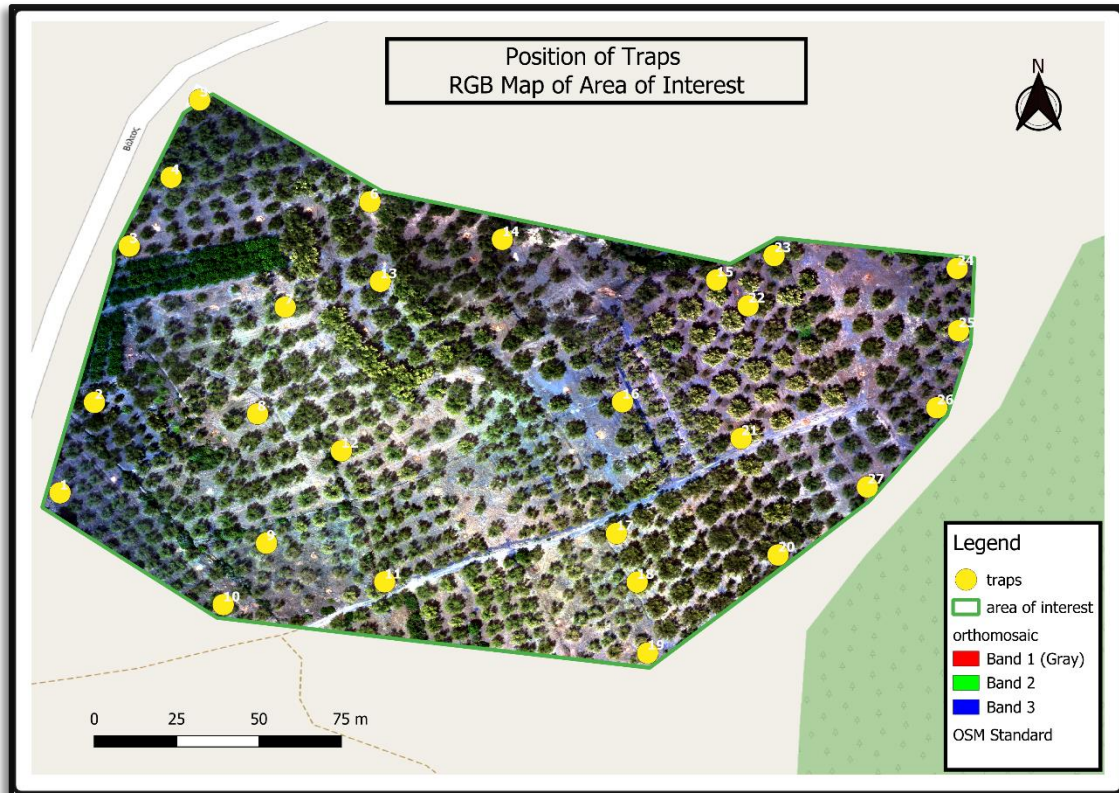
11.2 Πρόγραμμα QGIS

Τα αρχεία των χαρτών που δημιουργήθηκαν μέσω του προγράμματος Metashape μεταφορτώθηκαν στο πρόγραμμα QGIS για περαιτέρω επεξεργασία (Εικόνα 36). Μέσω αυτού του προγράμματος, ολοκληρώθηκε η δημιουργία του χάρτη για το ανάγλυφο του εδάφους (DTM και DSM) της περιοχής ενδιαφέροντος μας στον ελαιώνα. Στον ορθοφωτοχάρτη προστέθηκαν επίσης οι συντεταγμένες για κάθε ένα δέντρο στο οποίο είχε τοποθετηθεί κίτρινη κολλητική παγίδα. Οι συντεταγμένες ελήφθησαν, έπειτα της επίσκεψης στον αγρό, με επιτόπια αποτύπωση της θέσης μέσω της εφαρμογής ΕΓΣΑ με τη χρήση GPS, και ακολούθησε εξαγωγή των δεδομένων σε αρχείο με κατάληξη “.csv.”. Έπειτα από μεταφόρτωση του συγκεκριμένου αρχείου στον ορθοφωτοχάρτη μέσω του προγράμματος QGIS οπτικοποιήθηκε η σηματοδότηση για κάθε δέντρο με παγίδα στον ελαιώνα.



Εικόνα 36. Το περιβάλλον του προγράμματος QGIS (Φωτογραφία από Αναγνώστου Μαριάνθη)

Οι παγίδες που τοποθετήθηκαν στα δέντρα ελιάς σηματοδοτούνται με κίτρινο χρώμα πάνω στον παρακάτω χάρτη, από την παγίδα νούμερο 1, τοποθετημένη νοτιοδυτικά, έως και την παγίδα νούμερο 27, τοποθετημένη στα ανατολικά (Χάρτης 1).



Χάρτης 1. Ο ορθοφωτοχάρτης RGB που κατασκευάστηκε στο πρόγραμμα Metashape και οπτικοποιήθηκε στο πρόγραμμα QGIS για την περιοχή ενδιαφέροντος. Με κίτρινη σήμανση, καταγράφονται οι 27 κίτρινες κολλητικές παγίδες τοποθετημένες στα ελαιόδεντρα για την παρακολούθηση του *E.phillyreae*.

11.3 Δορυφορικά Δεδομένα

Για τη λήψη δορυφορικών εικόνων του ελαιώνα, οι οποίες έπειτα από κατάλληλη επεξεργασία θα χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή τιμών του μέσου Δείκτη Κανονικοποιημένης Διαφοράς Βλάστησης ή αλλιώς mean Normalized Difference Vegetation Index (mean NDVI), έγινε χρήση δεδομένων από τον δορυφόρο Planet Scope Scene μέσω της προηγμένης πλατφόρμας δορυφορικής παρατήρησης της Γης “Planet”. Ο συγκεκριμένος δορυφόρος παρέχει εικόνες ανάλυσης σε 3, 4 ή και 8 φασματικές ζώνες. Για την λήψη των εικόνων του ελαιώνα επιλέχθηκε η φασματική ανάλυση του αισθητήρα με τις 4 φασματικές ζώνες, καταγράφοντας ηλεκτρομαγνητικά κύματα στην περιοχή του ορατού, και του εγγύς υπέρυθρου με ανάλυση εικονοστοιχείων (pixels) στα 3 μέτρα. Συγκεκριμένα οι φασματικές ζώνες που αντιστοιχούν στο φάσμα του ορατού (RGB) είναι η Band 1 για το μπλε (450 - 500 nm), η Band 2 για το πράσινο (500 - 570 nm) η Band 3 για το κόκκινο (610 - 700 nm) και για το εγγύς υπέρυθρο η Band 4 (800- 1000 nm) (Εικόνα 37).

4-Band asset band order ¶

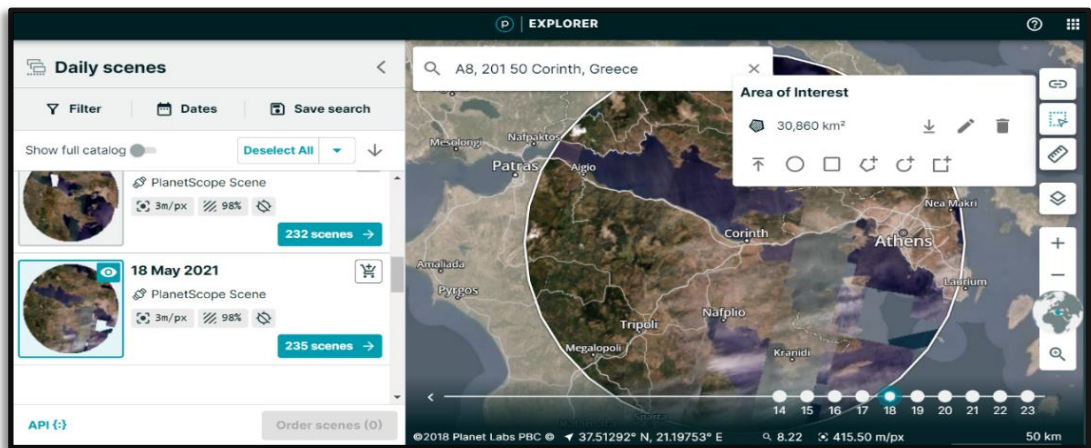
The 4-band multispectral band order is:

- Band 1 = Blue
- Band 2 = Green
- Band 3 = Red
- Band 4 = Near-infrared

Εικόνα 37. Οι 4 φασματικές ζώνες του αισθητήρα του δορυφόρου Planet Scope Scene, για το φάσμα του ορατού (RGB) και για το εγγύς υπέρυθρο (NIR) (Planet, 2024).

Επιλέγοντας τα κριτήρια (Filters) για τον δορυφόρο που χρησιμοποιήθηκε (Planet Scope Scene, medium resolution 3-7m), για κάθε μια ημερομηνία που πραγματοποιήθηκε δειγματοληπτικός έλεγχος έγινε λήψη και της αντίστοιχης εικόνας.

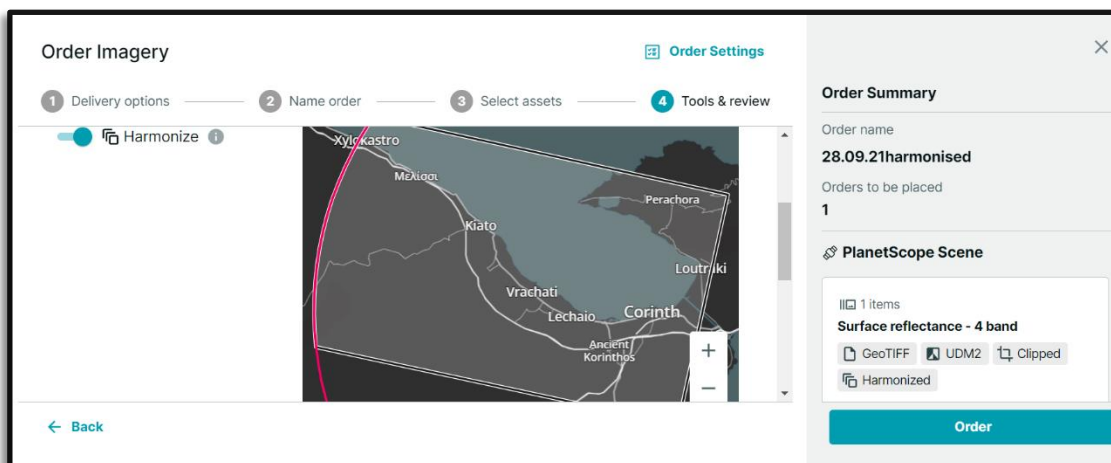
Για την επιλογή της καλύτερης λήψης υπήρχε απόκλιση έως και 5 ημέρες, από την πραγματική ημερομηνία δειγματοληψίας, με σκοπό την αποφυγή εικόνων με έντονη νεφοκάλυψη ώστε να υπάρχει η μεγαλύτερη δυνατή ανάλυση της απεικόνισης του ελαιώνα (Εικόνα 38).



Εικόνα 38. Επιλογή της κατάλληλης λήψης για την αντίστοιχη ημερομηνία δειγματοληψίας, στην περιοχή της Κορίνθου όπου βρίσκεται ο ελαιώνας προς μελέτη. Στο κάτω μέρος δεξιά φαίνεται η απόκλιση της ημερομηνίας κατά 5 μέρες για την επιλογή της καλύτερης λήψης. (Φωτογραφία από την πλατφόρμα δορυφορικής παρατήρησης της Γης “Planet”, από Αναγνώστου Μαριάνθη.).

Μετά την επιλογή της ημερομηνίας, υπάρχει δυνατότητα επιλογής του τμήματος της περιοχής που μας ενδιαφέρει, συγκεκριμένα εδώ επιλέχθηκε το κομμάτι που περιλαμβάνει την περιοχή Πάσιο. Το τελικό αρχείο έχει κατάληξη “.tiff”. με φασματική ανάλυση στο ορατό και στο εγγύς υπέρυθρο, για τις 4 φασματικές ζώνες (4 bands) (Εικόνα 39).

Στη συνέχεια, μεταφορτώθηκαν οι υψηλής ανάλυσης εικόνες δορυφόρου στο πρόγραμμα QGIS με σκοπό την ψηφιοποίηση της εικόνας (image classification).



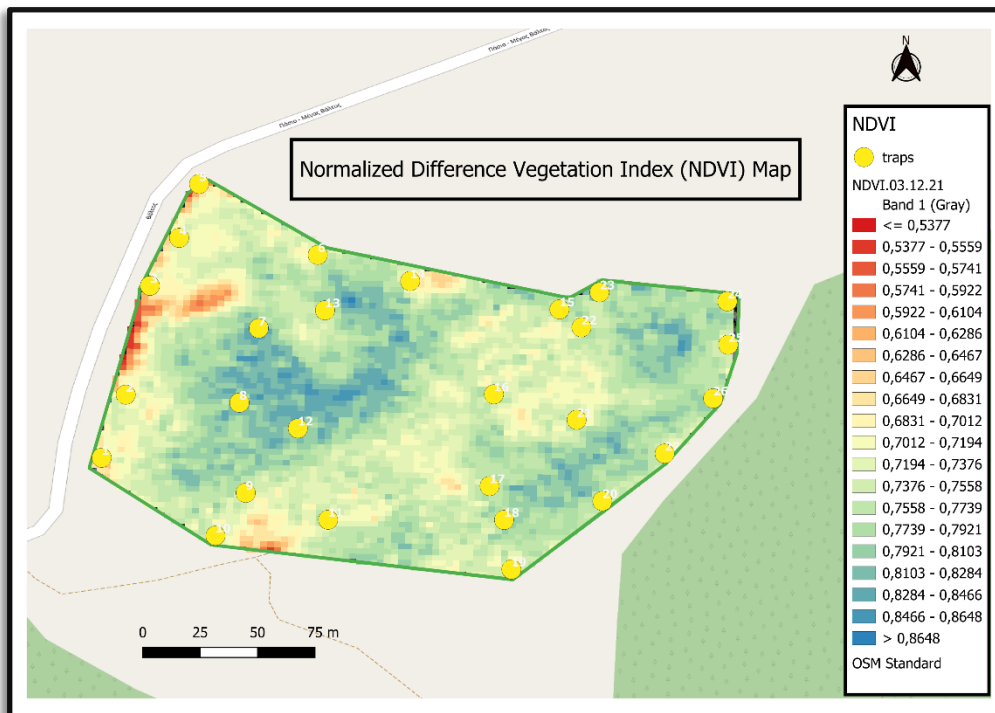
Εικόνα 39. Επιλογή της κατάλληλης λήψης, για το σημείο ενδιαφέροντος, και λήψη του αρχείου σε κατάληξη “.tiff”. (Φωτογραφία από την πλατφόρμα δορυφορικής παρατήρησης της Γης “Planet”, από Αναγνώστου Μαριάνθη.).

11.3.1 Δημιουργία χαρτών για τον Δείκτη Κανονικοποιημένης Διαφοράς Βλάστησης (NDVI)

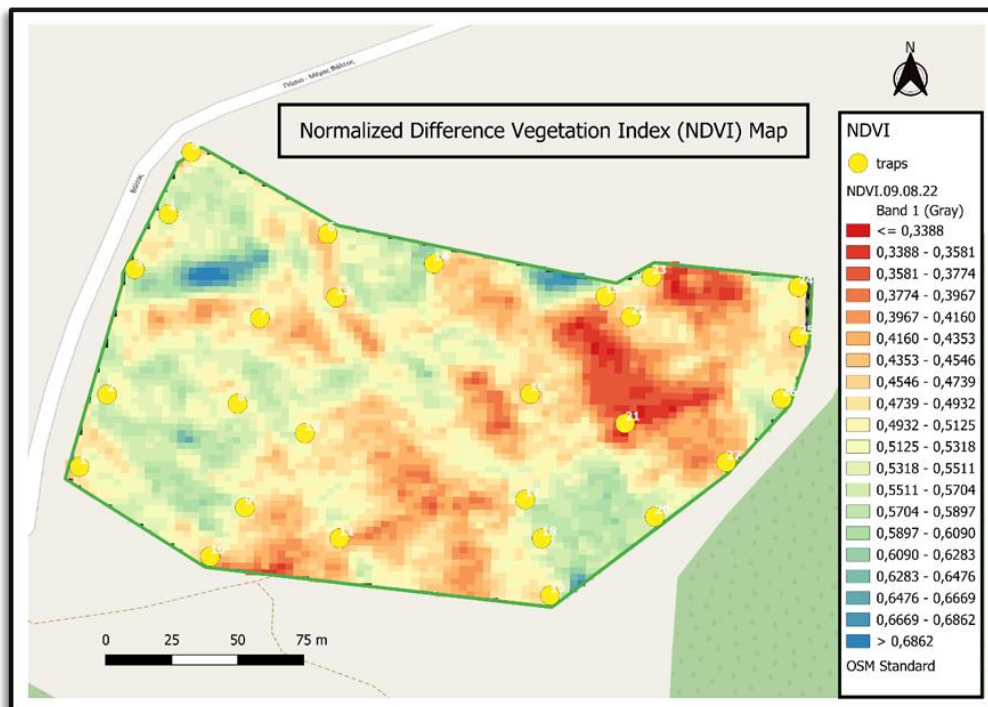
Έπειτα υπολογίστηκε ο Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Βλάστησης ή αλλιώς Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), βασιζόμενοι στις δορυφορικές εικόνες, μέσω του προγράμματος QGIS. Για κάθε δειγματοληπτικό έλεγχο που πραγματοποιήθηκε, που αντιστοιχεί σε μια ημερομηνία, έγινε και εξαγωγή του αντίστοιχου χάρτη NDVI. Για τον υπολογισμό του δείκτη βλάστησης λοιπόν, έγινε χρήση της μαθηματικής σχέσης :

$$NDVI=(R_{NIR}-R_{RED})/(R_{NIR}+R_{RED})$$

όπου R_{NIR} είναι η ανάκλαση στο μήκος κύματος του εγγύς υπέρυθρου (842 nm) ενώ R_{RED} είναι η ανάκλαση στο μήκος κύματος του ερυθρού (668 nm). Παρακάτω παρατίθενται δύο παραδείγματα χαρτών NDVI, για δυο διαφορετικές ημερομηνίες όπου πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία (Χάρτες 2,3)



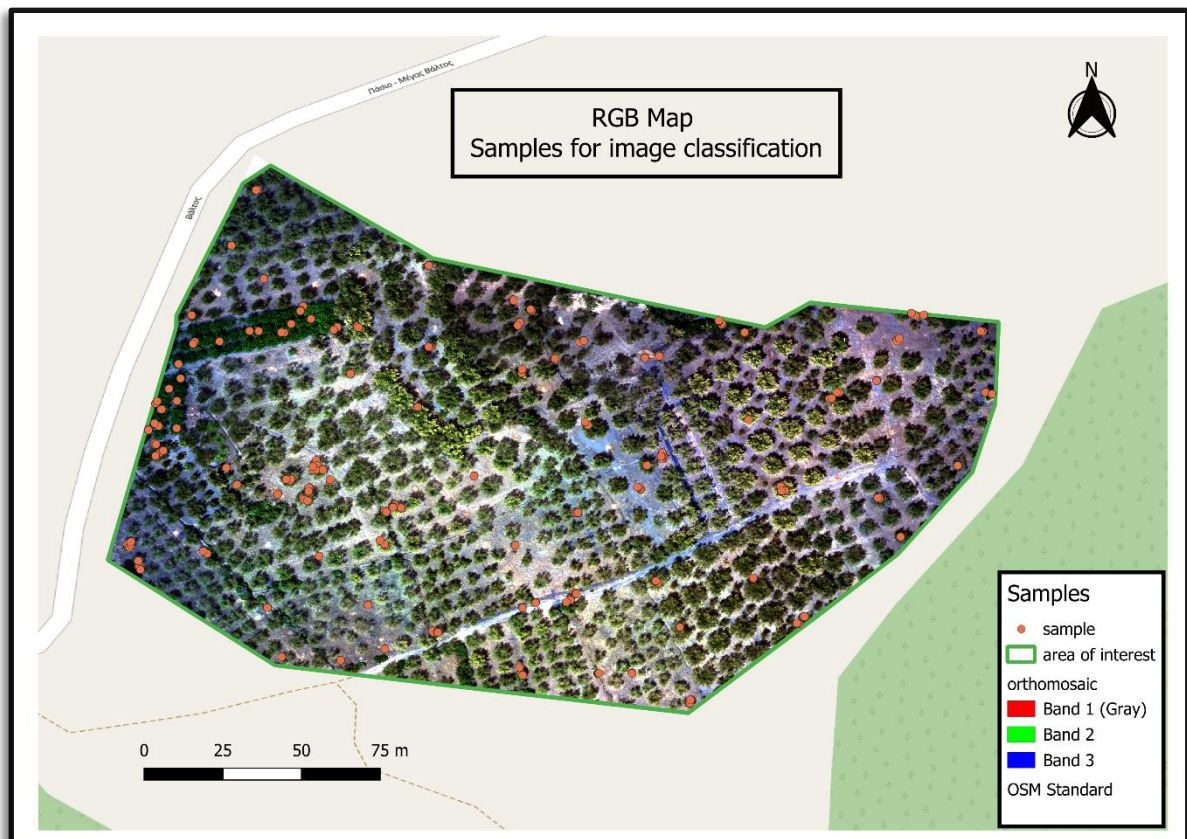
Χάρτης 2. Χάρτης για τον Δείκτη Κανονικοποιημένης Διαφοράς Βλάστησης, για την δειγματοληψία που πραγματοποιήθηκε στις 03/12 το έτος 2021.



Χάρτης 3. Χάρτης για τον Δείκτη Κανονικοποιημένης Διαφοράς Βλάστησης, για την δειγματοληψία που πραγματοποιήθηκε στις 09/08 το έτος 2022.

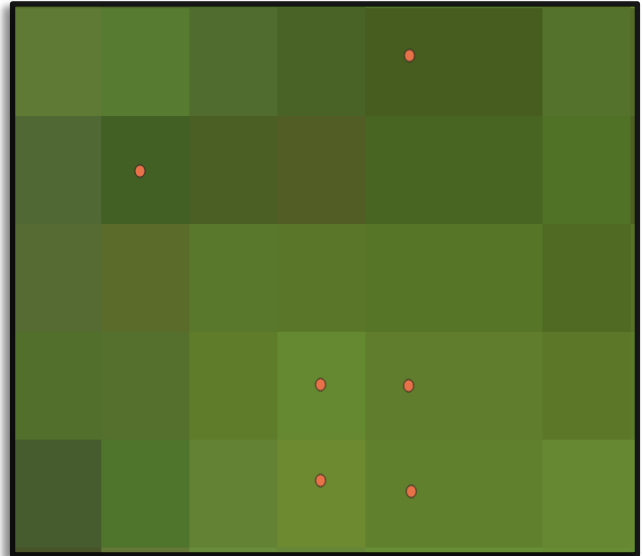
11.3.2 Ψηφιοποίηση εικόνας (image classification)

Η διαδικασία αυτή βασίζεται στην εκπαίδευση του λογισμικού για την αναγνώριση των pixel, ώστε να διαχωριστούν τα στοιχεία προς μελέτη από τα υπόλοιπα στοιχεία της εικόνας, όπου στην προκειμένη περίπτωση διαχωρίστηκαν τα ελαιόδεντρα από το γυμνό έδαφος, την υπόλοιπη χλωρίδα, αλλά και από τις σκιάσεις των δέντρων. Αυτό θα επιτευχθεί με την καταχώριση ορισμένων δειγμάτων (sample) από τον χρήστη του προγράμματος (Χάρτης 4). Για το σκοπό αυτό, στο πείραμα δημιουργήθηκαν 5 τεχνητές κλάσεις. Αυτές συγκεκριμένα είναι οι κλάσεις 1 για τα ελαιόδεντρα, 2 για το έδαφος, 3 για τα ζιζάνια, 4 για τα λοιπά δέντρα και 5 για τις σκιάσεις. Για κάθε μια από αυτές τις κλάσεις δόθηκαν samples, επιλέγοντας εικονοστοιχεία στην εικόνα που αντιστοιχούσαν χωρικά αλλά και χρωματικά στην κλάση που όρισε ο χρήστης προηγουμένως.



Χάρτης 4. RGB ορθοφωτοχάρτης, που κατασκευάστηκε στο πρόγραμμα Metashape και οπτικοποιήθηκε στο πρόγραμμα QGIS για την περιοχή ενδιαφέροντος. Με κόκκινη σήμανση, καταγράφονται τα δείγματα (samples), που ορίστηκαν για το σκοπό της ψηφιοποίησης της εικόνας.

Τα δείγματα αυτά για την κάθε μια από τις 5 κλάσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 60 σε αριθμό, ώστε το πρόγραμμα να έχει ικανοποιητικό αριθμό δεδομένων για την ψηφιοποίηση, τοποθετημένα όσο το δυνατόν στο κέντρο των ριχελ. Κάνοντας μεγέθυνση στον χάρτη, διακρίνονται τα ριχελ, για τα οποία θα δοθούν τα samples ανάλογα την κλάση που ανήκουν (Εικόνα 40). Τελικά η ψηφιοποίηση δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη του προγράμματος για επεξεργασία δορυφορικών εικόνων, με την κατανομή των εικονοτοιχείων σε μια εικόνα raster για μια καθορισμένη κλάση, παρέχοντας πληροφορίες για την προς μελέτη έκταση γης.

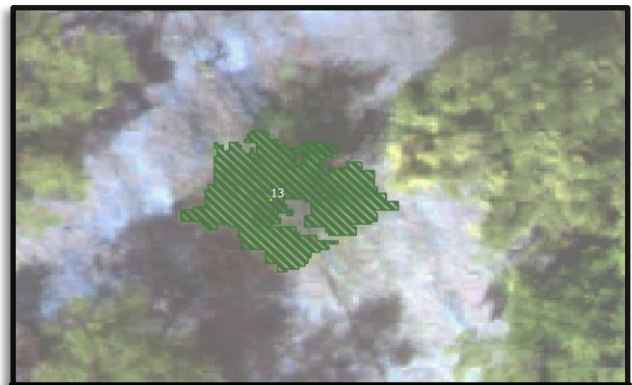


Εικόνα 40. Τα εικονοστοιχεία (pixel) για τα οποία δόθηκαν τα δείγματα (samples) με κόκκινη σήμανση, συγκεκριμένα εδώ για την κλάση 1, που αφορά τα ελαιόδεντρα, ώστε να γίνει αργότερα η ψηφιοποίηση (Φωτογραφία από το περιβάλλον του προγράμματος QGI, από Αναγνώστου Μαριάνθη).

Έπειτα από το βήμα αυτό, χρειάστηκε χειροκίνητα να γίνουν μικρές διορθώσεις όσον αφορά τα όρια της κλάσης για τα ελαιόδεντρα, και συγκεκριμένα τα όρια για το κάθε ελαιόδεντρο στο οποίο είχε τοποθετηθεί παγίδα δειγματοληψίας, σε περίπτωση που είχαν συμπεριληφθεί εικονοστοιχεία από άλλες κλάσεις, όπως για παράδειγμα η κλάση για τις σκιάσεις, ή και σε περίπτωση που έπρεπε να συμπεριληφθούν περισσότερα εικονοστοιχεία για να οριοθετηθούν σωστά τα προς μελέτη ελαιόδεντρα (Εικόνα 41,



Εικόνα 41. Το δέντρο με την παγίδα νούμερο 13, όπως φαίνεται στον ορθοφωτοχάρτη, πριν τη διαδικασία της ψηφιοποίησης. (Φωτογραφία από το περιβάλλον του προγράμματος QGI, από Αναγνώστου Μαριάνθη).

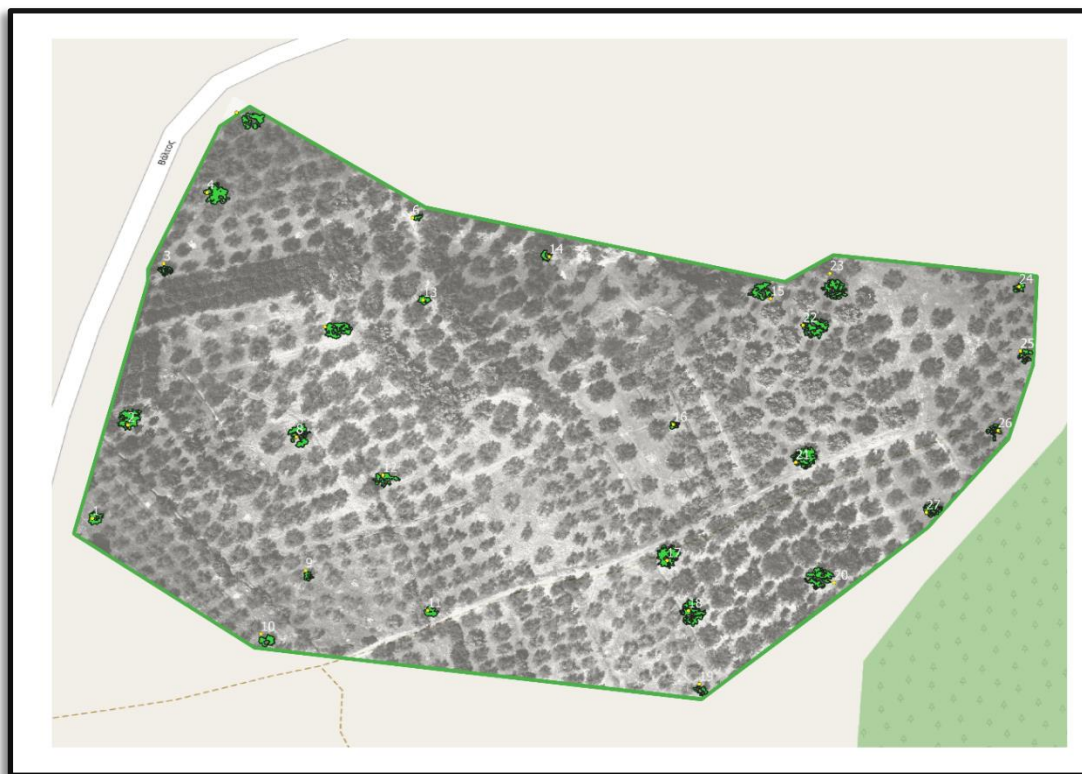


Εικόνα 42. Το δέντρο με την παγίδα νούμερο 13, έπειτα από την ψηφιοποίηση, και την κατηγοριοποίηση του στην κλάση με τα ελαιόδεντρα (Φωτογραφία από το περιβάλλον του προγράμματος QGI, από Αναγνώστου Μαριάνθη).

42).

Γίνεται εξαγωγή αρχείου με κατάληξη “.shp” για το σύνολο των δέντρων με παγίδα (Εικόνα 43). Το συγκεκριμένο αρχείο θα χρησιμοποιηθεί σαν μάσκα ώστε να γίνει εξαγωγή του δείκτη βλάστησης στα όρια των δέντρων με παγίδα, από κάθε ημερομηνία, όπου και αυτός θα χρησιμοποιηθεί στο επόμενο βήμα για την εξαγωγή της μέσης τιμής NDVI (mean NDVI).

Γίνεται λήψη των τιμών αυτών, σε αρχείο κατάληξης “.xml”, το οποίο θα περιλαμβάνει την μέση τιμή NDVI για κάθε δέντρο με παγίδα, για κάθε μια από τις ημερομηνίες δειγματοληψίας, προσθέτοντας ξανά χειροκίνητα, και μια επιπλέον στήλη στο αρχείο



Εικόνα 43. Η μέση τιμή NDVI για το κάθε ένα ελαιόδεντρο με παγίδα, έπειτα από την ψηφιοποίηση, που θα χρησιμοποιηθεί για την εξαγωγή του τελικού αρχείου excel.

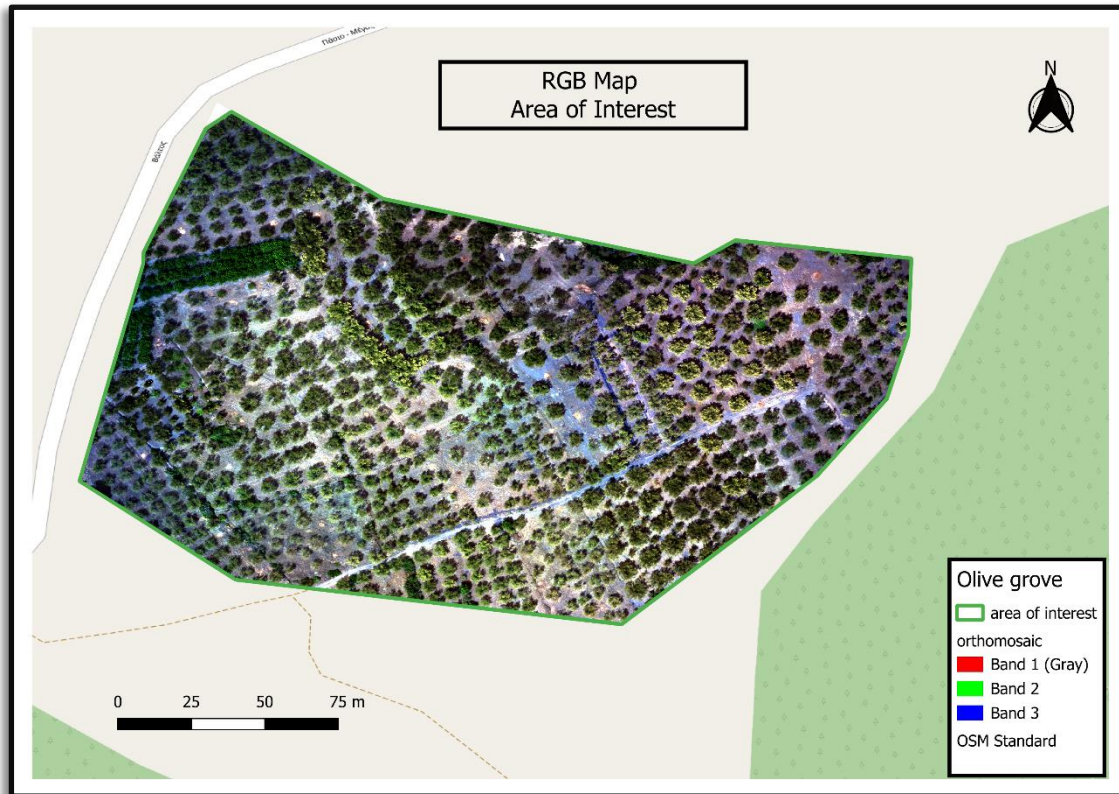
excel, με το αριθμό ατόμων φύλλας που είχαν καταμετρηθεί έπειτα από κάθε δειγματοληπτικό έλεγχο, αντίστοιχα για κάθε μια παγίδα. Σε κάθε μια ημερομηνία αντιστοιχεί και ένα αρχείο excel, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για τη στατιστική ανάλυση του πειράματος.

Τέλος για την στατιστική ανάλυση συσχέτισης (correlation analysis) των δύο μεταβλητών, του meanNDVI και του πληθυσμού του εντόμου, για να μελετηθεί ο βαθμός συμμεταβολής, δηλαδή βαθμός στον οποίο οι τιμές των δύο αυτών μεταβλητών αλλάζουν ταυτόχρονα, υπολογίστηκε ο δείκτης συσχέτισης Pearson σε επίπεδο σημαντικότητας 5%, ($p\text{-value} < 0,05$) με το πρόγραμμα SPSS (Έκδοση Statistics 25).

Αποτελέσματα

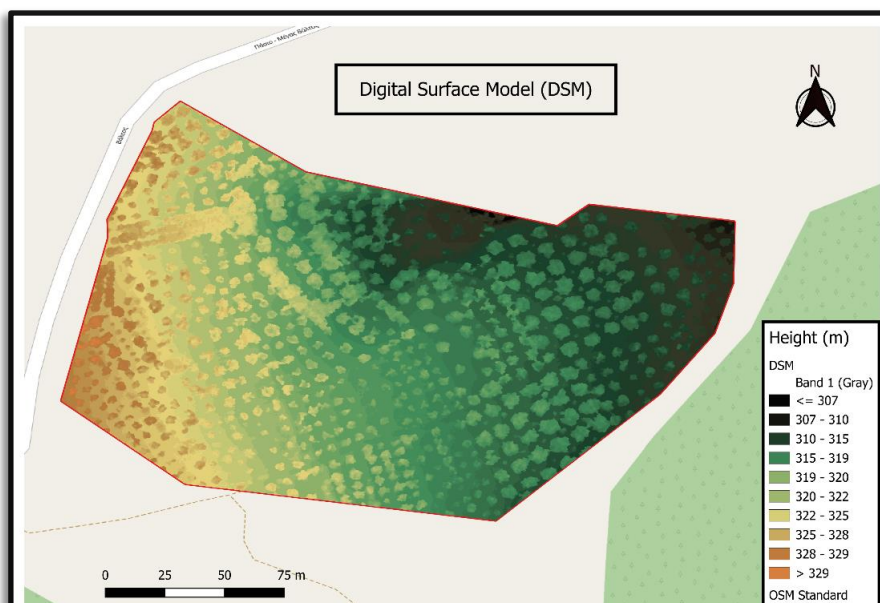
Ο ορθοφωτοχάρτης του ελαιώνα στην περιοχή Πάσιο, στο Κιάτο Κορινθίας που δημιουργήθηκε στο πρόγραμμα Metashape από τα δεδομένα του ΣμηΕΑ φαίνεται παρακάτω. (Χάρτης 5).

Στον Χάρτη 6 απεικονίζεται η επιφάνεια του ελαιώνα (Digital Surface Model DSM). Τέλος, στον Χάρτη 7, φαίνεται το ανάγλυφο του εδάφους του ελαιώνα (Digital Elevation

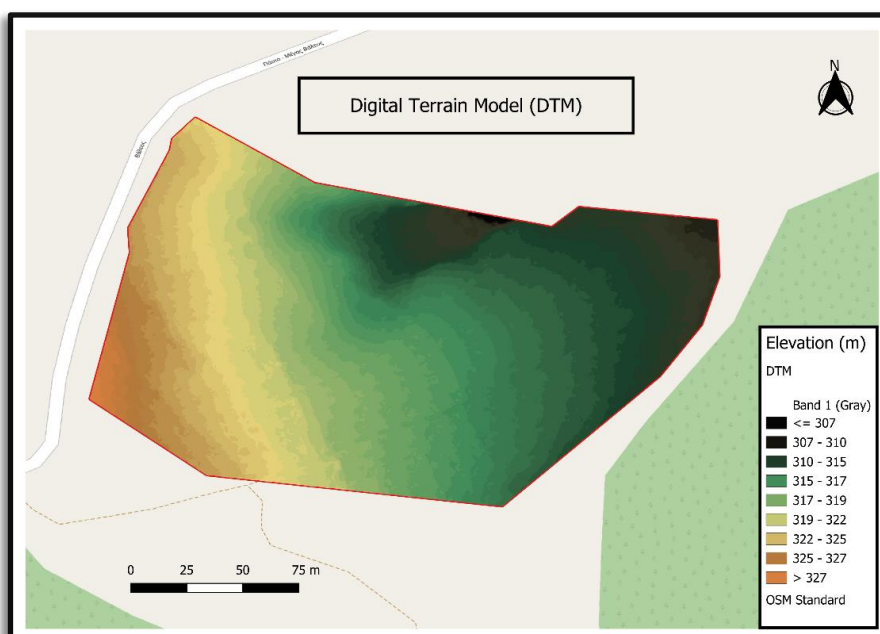


Χάρτης 5. Ο ορθοφωτοχάρτης RGB για την περιοχή ενδιαφέροντος, που δημιουργήθηκε στο πρόγραμμα Metashape και οπτικοποιήθηκε στο πρόγραμμα QGIS.

Model - DEM) όπου παρουσιάζει σημαντικές διαφοροποιήσεις από σημείο σε σημείο, με καθοδική κλίση από τα Δυτικά προς τα Ανατολικά. Τα σημεία με μεγαλύτερη υψομετρική είναι αυτά με τις γήινες αποχρώσεις του καφέ ενώ τα χαμηλότερα σε υψόμετρο σημεία σημειώνονται σε αποχρώσεις του πράσινου. Όλοι οι παρακάτω χάρτες κατασκευάστηκαν στο πρόγραμμα Metashape και οπτικοποιήθηκαν στο πρόγραμμα QGIS με βάση τα δεδομένα της πτήσης του ΣμηΕΑ.



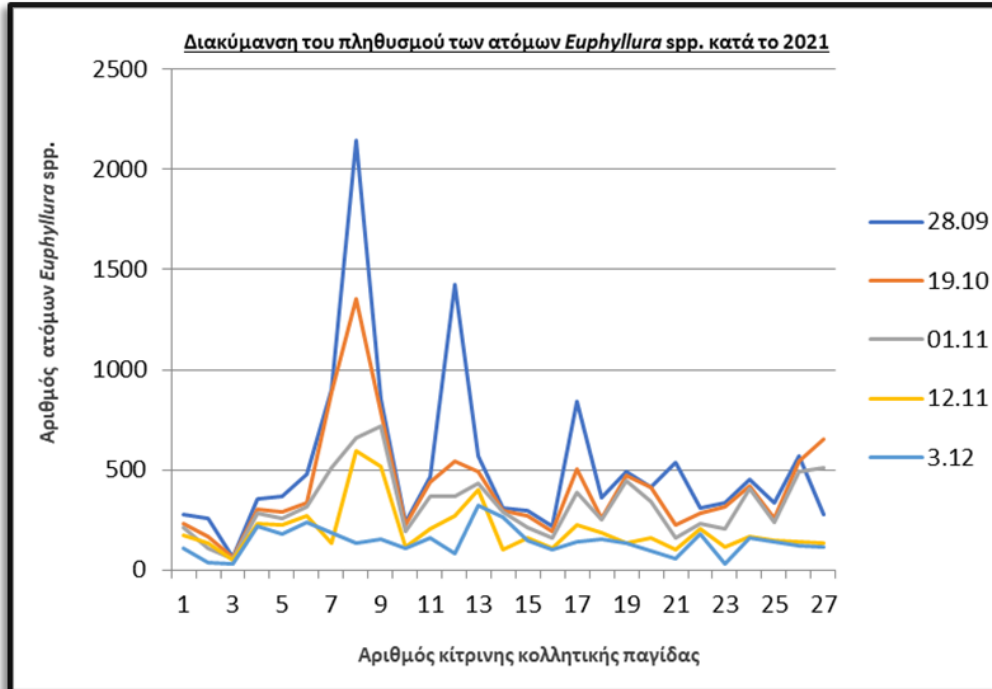
Χάρτης 6. Χάρτης της κλίσης του εδάφους (Digital Terrain Model, DTM) της προς μελέτη περιοχής, που δημιουργήθηκε στο πρόγραμμα Metashape και οπτικοποιήθηκε στο πρόγραμμα QGIS.



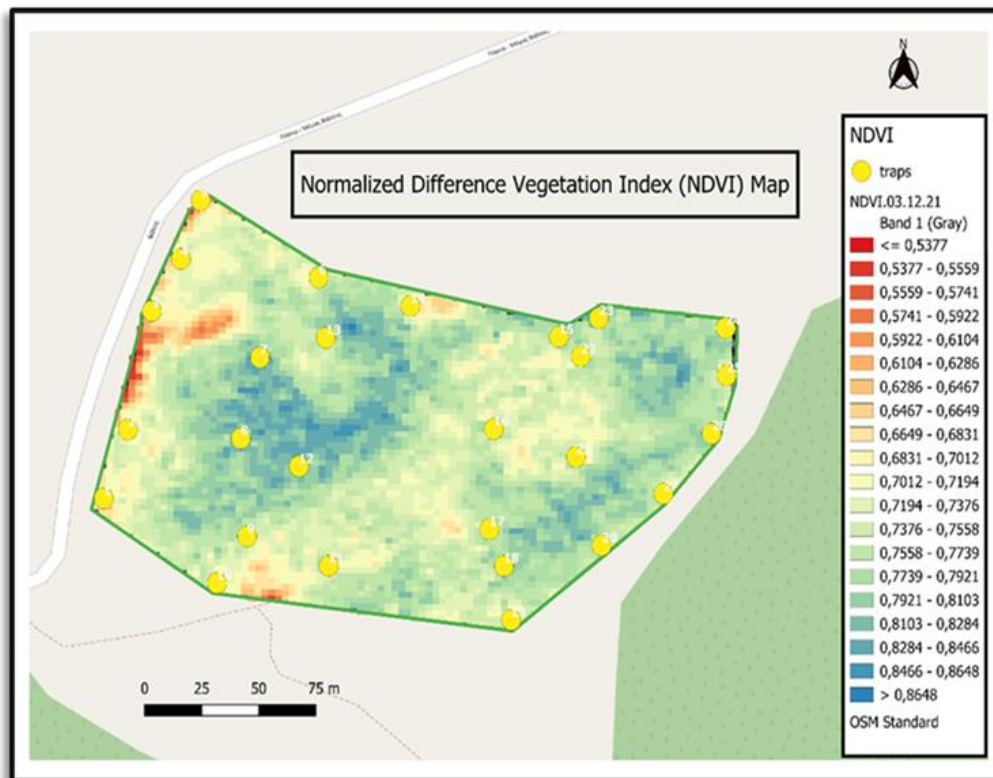
Χάρτης 7. Χάρτης της επιφάνειας του ελαιώνα (Digital Surface Model, DSM) της προς μελέτη περιοχής, που δημιουργήθηκε στο πρόγραμμα Metashape και οπτικοποιήθηκε στο πρόγραμμα QGIS.

Τα αποτελέσματα σχετικά με τη διακύμανση του πληθυσμού της ψύλλας της ελιάς για κάθε μια από της ημερομηνίες δειγματοληψίας που πραγματοποιήθηκαν στον αγρό κατά το 2021 και 2022, ανά κίτρινη κολλητική παγίδα παρακάτω (*Διάγραμμα 1 - Χάρτης 8 & Διάγραμμα 2 – Χάρτης 9*) Συγκεκριμένα για το έτος 2021, για τις ημερομηνίες 28/09, 19/10, 01/11, 12/11, 03/12 και για το έτος 2022, για τις ημερομηνίες 09/08, 27/08, 12/09, 29/09, 14/10, 25/10, 10/11, 25/11. Αξίζει να γίνει η παρατήρηση τους συγκριτικά και με έναν από τους χάρτες NDVI για την αντίστοιχη χρονιά. Χαρακτηριστικά φαίνεται πως από τα δεδομένα από τη δειγματοληψία που πραγματοποιήθηκε στις 09/08/22, για μεγάλες τιμές του πληθυσμού στην παγίδα με

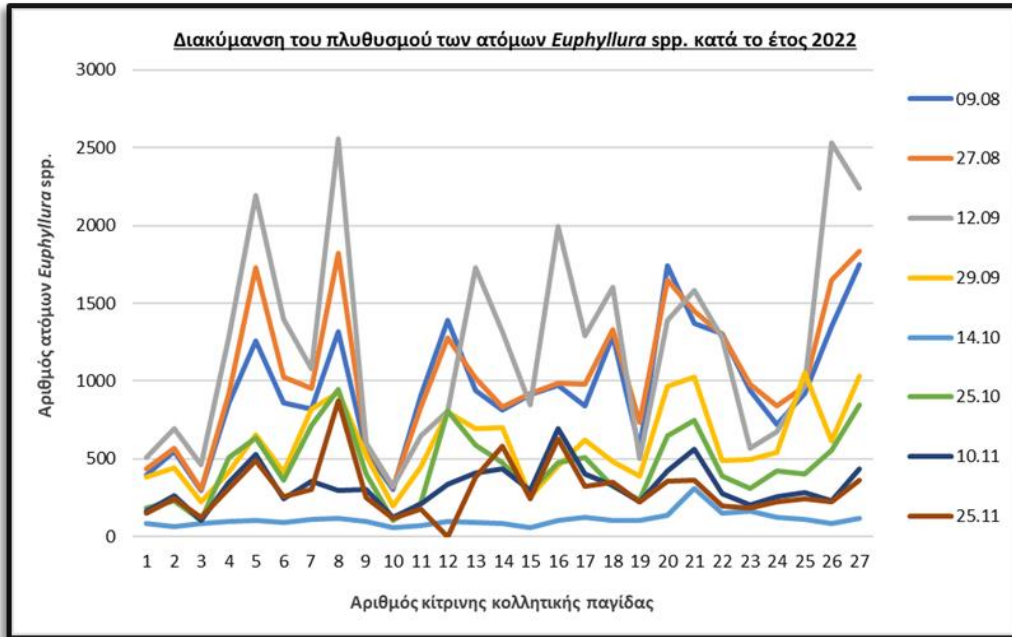
το νούμερο 21, όπου καταγράφηκε κορυφή στο αντίστοιχο διάγραμμα, ο NDVI παρουσιάζει μικρές τιμές που εμφανίζονται στον αντίστοιχο χάρτη με κόκκινη σήμανση σε αντίθεση με τα δεδομένα από τη δειγματοληψία που έγινε στις 03/12/21 όπου για μικρές τιμές του πληθυσμού στην παγίδα με το νούμερο 21, ο NDVI παρουσιάζει μεγάλες τιμές που εμφανίζονται στον αντίστοιχο χάρτη με γαλάζια σήμανση.



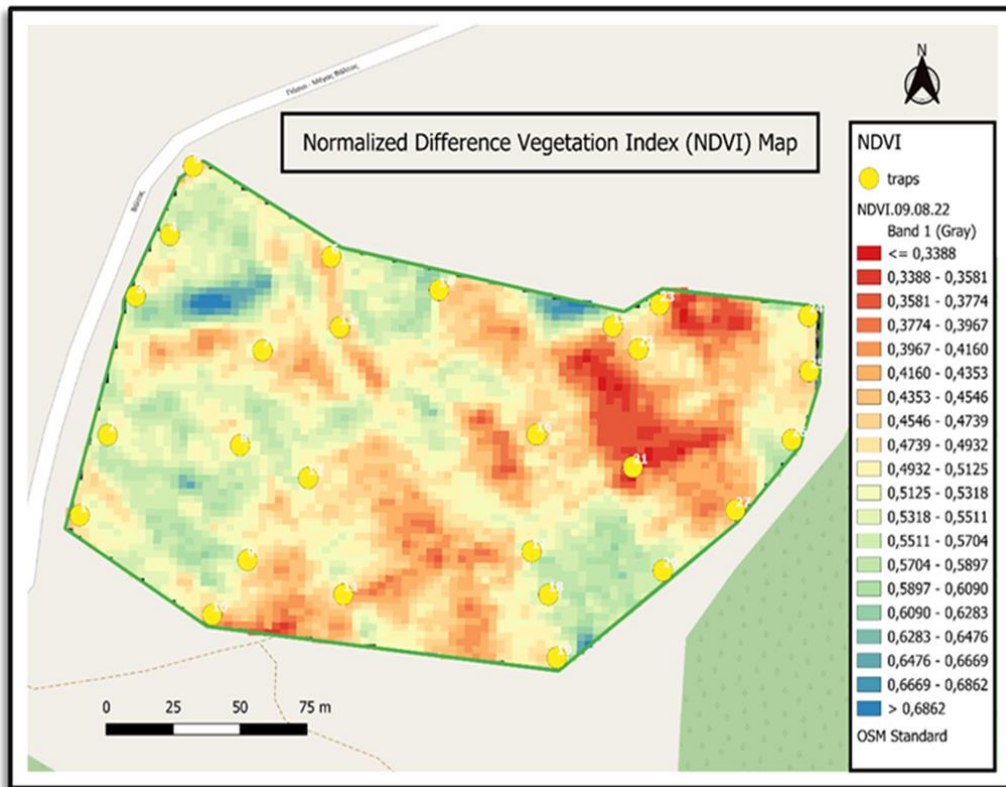
Διάγραμμα 1. Διακύμανση του πληθυσμού των ατόμων *Euphyllura* spp. ανά κίτρινη κολλητική παγίδα και ανά ημερομηνία δειγματοληψίας κατά το έτος 2021.



Χάρτης 8. Χάρτης για το δείκτη NDVI, στις 03/12/21.



Διάγραμμα 2. Διακύμανση του πληθυσμού των ατόμων *Eurhyllura* spp. ανά κίτρινη κολλητική παγίδα και ανά ημερομηνία δειγματοληψίας κατά το έτος 2022.



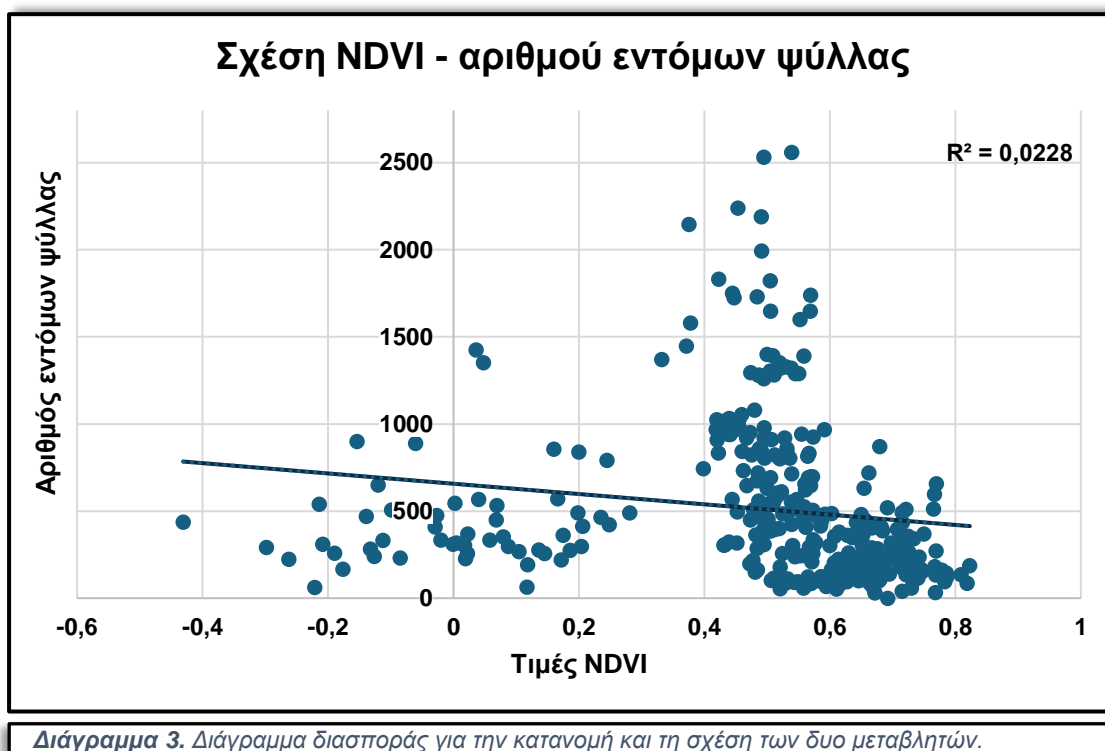
Χάρτης 9. Χάρτης για το δείκτη NDVI, στις 09/08/22.

Σχετικά με τα αποτελέσματα της στατιστικής μελέτης, στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα αποτελέσματα της συσχέτισης μεταξύ των δύο μεταβλητών, της μέσης τιμής NDVI (meanNDVI) και των δεδομένων από τους δειγματοληπτικούς ελέγχους (sampling). Όπως φαίνεται και στον *Πίνακα 1*, η τιμή του συντελεστή συσχέτισης (Pearson Correlation, r), είναι ίση με -0,151 (αρνητικά ασθενής σχέση). Το αρνητικό πρόσημο καταδεικνύει αρνητική γραμμική συσχέτιση, που σημαίνει πως μικρές τιμές για τον meanNDVI αντιστοιχούν σε μεγάλες τιμές του πληθυσμού και αντίστροφα. Η τιμή p-value (Sig. (2-tailed)) είναι ίση με 0,005 γεγονός που αποδεικνύει πως υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές, ή αλλιώς σημαντική συσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών, στο επίπεδο του 5% (p-value <0,05). Το N αφορά τον αριθμό των παγίδων (27) για όλες τις ημερομηνίες που πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες (13).

Correlations			
		meanNDVI	sampling
meanNDVI	Pearson Correlation	1	-,151**
	Sig. (2-tailed)		,005
	N	351	351
sampling	Pearson Correlation	-,151**	1
	Sig. (2-tailed)	,005	
	N	351	351

Πίνακας 1. Πίνακας συσχέτισης των μεταβλητών της μέσης τιμής NDVI και των δειγματοληψιών, με συντελεστή συσχέτισης Pearson = -0,151 και τιμή p-value<0,05).

Το παρακάτω διάγραμμα διασποράς (scatter plot) απεικονίζει κατά προσέγγιση την κατεύθυνση, την ισχύ και τη μορφή της συνάφειας μεταξύ των δύο μεταβλητών. Κάθε σημείο αντιπροσωπεύει ζεύγη τιμών από τις δύο μεταβλητές. Η αρνητική γραμμική συσχέτιση οπτικοποιείται στο διάγραμμα καθώς, όταν το σχήμα των σημείων έχει κατεύθυνση από αριστερά και πάνω προς τα δεξιά και κάτω, όπως φαίνεται, τότε ενδεχομένως να υπάρχει αρνητική συνάφεια μεταξύ των δύο μεταβλητών. Το κριτήριο r εφαρμόζεται για τον υπολογισμό της γραμμικής (ευθύγραμμης) συσχέτισης (linear correlation) μεταξύ δύο μεταβλητών. Το τετράγωνο του συντελεστή συσχέτισης ισούται με την τιμή 0,0228 ή αλλιώς σε ποσοστό 2,3%. Καταδεικνύει δηλαδή ότι το 2,3% της διακύμανσης του meanNDVI οφείλεται στη διακύμανση του πληθυσμού του εντόμου (Διάγραμμα 3).



Συζήτηση

Η Ευφυής Γεωργία (SF) είναι μία νέα μέθοδος γεωργικής πρακτικής για την καλύτερη διαχείριση της γεωργικής Γης, με σκοπό την ποιοτικότερη και αποδοτικότερη παραγωγή. Η τηλεπισκόπηση (RS), ένας σημαντικός κλάδος του SF είναι η επιστήμη που με τη χρήση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ταυτοποιεί χαρακτηριστικά στην επιφάνεια της Γης και εκτιμώνται οι γεωφυσικές ιδιότητες τους (Reddy, 2018). Συγκριτικά με τις μεθόδους της παραδοσιακής γεωργίας, οι οποίες βασίζονται στις τακτικές επισκέψεις του αγρού από τον γεωργό, η τηλεπισκόπηση παρέχει μια καλύτερη εναλλακτική λύση για τη διαχείριση των φυσικών πόρων, με λιγότερα σφάλματα, και μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα. Οι τεχνικές τηλεπισκόπησης διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο για τη βελτίωση των παραδοσιακών γεωργικών πρακτικών. Μπορεί να προσδιοριστεί με ακρίβεια η ποιότητα της βλάστησης, να αξιολογηθεί η κατάσταση της υγείας των φυτών, αλλά και η ακριβής έκταση της καλλιέργειας που έχει υποστεί καταπόνηση, από βιοτικούς ή και αβιοτικούς παράγοντες. Σε περίπτωση εντομολογικών προσβολών, υπάρχει η δυνατότητα εντοπισμού τους, ώστε να αναπτυχθούν στρατηγικές για την πρόληψη της εξάπλωσης της προσβολής αλλά και στοχευμένης αντιμετώπισης της (Dr. Saurabh & Uttam , 2020).

Για τον σκοπό αυτό, είναι εφικτή η δημιουργία χαρτών για την περιοχή ενδιαφέροντος, όπου με βάση αυτούς, θα υπολογιστούν και οι δείκτες βλάστησης. Από την έναρξη της εντομολογικής προσβολής, προκαλούνται αντιδράσεις σε κυτταρικό επίπεδο στα φυτά, που θα αποδοθούν τελικά σε διαφορές στην ανακλαστική εικόνα τους και στην ανίχνευση αυτής μέσω ειδικών αισθητήρων. Στην τηλεπισκόπηση γίνεται χρήση θερμικών, οπτικών, πολυφασματικών, και υπερφασματικών αισθητήρων για να ανιχνευθούν οι διαφορές στην ανάκλαση του φωτός, και να αξιοποιηθούν τελικά για τον υπολογισμό δεικτών φυτοϋγείας. Ο συνδυασμός της χαρτογράφησης και των δεικτών βλάστησης, παρέχει στον Γεωπόνο κατάλληλες πληροφορίες για την υγεία των φυτών, όπως την περιεκτικότητά τους σε νερό και τη φωτοσυνθετική τους ικανότητα, και τον κατευθύνουν για τον σχεδιασμό στρατηγικής διαχείρισης του αγρού. Μέσω της χαρτογράφησης εντοπίζονται τα φυτά με χαμηλή ευρωστία, λόγω κάποιου είδους καταπόνησης και έτσι η προσοχή του ειδικού μπορεί να είναι στραμμένη σε συγκεκριμένα σημεία στο πεδίο για την αντιμετώπιση της πιθανής αιτίας.

Στην παρούσα εργασία αξιολογήθηκε κατά πόσο ο δείκτης βλάστησης NDVI μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο για τον εντοπισμό καταπονημένων φυτών σε ελαιώνα, μέσω της τηλεπισκόπησης. Παλαιότερες έρευνες που έχουν διεξαχθεί, αναφέρονται στη συσχέτιση του δείκτη NDVI με τον πληθυσμό εντόμων, και τα προσβεβλημένα φυτά. Μια τέτοια έρευνα είναι αυτή των Prasannakumar et al. (2013) που πραγματοποιήθηκε στην Ινδία, σε καλλιέργεια ρυζιού σε φυτώριο, με σκοπό την ανίχνευση προσβολής από το ημίπτερο έντομο *Nilaparvata lugens* (Hemiptera : Delphacidae), σε υγιή και προσβεβλημένα φυτά. Χρησιμοποιήθηκαν υπερφασματικοί αισθητήρες, για την ανίχνευση καταπόνησης, και μετρήθηκε η φασματική ανάλυση με φορητό φασματοραδιόμετρο πεδίου, σε σταθερές θέσεις υπό συνθήκες ηλιακού φωτός χωρίς σύννεφα. Μεταξύ των δεικτών βλάστησης που υπολογίστηκαν, ο NDVI θα μπορούσε και αυτός να εφαρμοστεί στην ανίχνευση καταπόνησης που οφείλεται τόσο σε αβιοτικούς όσο και βιοτικούς παράγοντες σε καλλιεργούμενα φυτά, καθώς φάνηκε αρνητική συσχέτιση του με τον πληθυσμό του εντόμου. Η σημαντική διαφορά που κατέγραψαν οι ερευνητές μεταξύ της ανάκλασης φωτός στα υγιή και μολυσμένα φυτά έδειξε ανιχνευσιμότητα μέσω τηλεπισκόπησης, ακόμη και σε μικρά επίπεδα προσβολής (Prasannakumara, et al., 2013).

Σε διαφορετική μελέτη, στην Ινδία σε φυτά σιναπιού, η έρευνα καταδεικνύει πως και πάλι είναι δυνατή η χρήση των δεικτών βλάστησης, όπως είναι ο NDVI, για τον

εντοπισμό καταπόνησης στα φυτά, και συγκεκριμένα καταπόνησης από προσβολή από αφίδες (Hemiptera : Aphididae). Πιο συγκεκριμένα μετρήθηκε η φασματική ανάκλαση, με φασματοραδιόμετρο εδάφους σε ηλιόλουστες ημέρες, τόσο σε υγιή και μολυσμένα από αφίδες φυτά, τριών ποικιλιών σιναπιού, στον αγρό και στο εργαστήριο, με την ανάκλαση μεταξύ τους να εμφανίζει σημαντική διαφορά στην περιοχή NIR. Μεταξύ των δεικτών που υπολογίστηκαν, ο NDVI εμφανίζει σημαντική αρνητική συσχέτιση με την προσβολή από αφίδες, με συμπέρασμα πως είναι εφικτή η παρακολούθηση πληθυσμών αφίδας, για την προσβολή τους σε σινάπι, μέσω της τηλεπισκόπησης με τη χρήση υπερφασματικών αισθητήρων (KUMAR, et al., 2010).

Για την ανίχνευση καταπονημένων φυτών και προσβολών σε πρώιμο στάδιο, προτιμάται η χρήση υπερφασματικών αισθητήρων, καθώς ανιχνεύουν περισσότερες φασματικές ζώνες του φωτός. Λόγω του υψηλού κόστους αλλά και του μεγάλου όγκου δεδομένων προς επεξεργασία που παράγουν, ήταν αδύνατο να χρησιμοποιηθούν στην παρούσα μεταπτυχιακή μελέτη.

Συμπερασματικά, στόχος αυτής της εργασίας ήταν η καταμέτρηση του πληθυσμού της ψύλλας της ελιάς σε ελαιώνα, με τη χρήση κίτρινων κολλητικών παγίδων, και η συσχέτιση της προσβολής του εντόμου με τις τιμές του δείκτη NDVI. Μελετήθηκε η έννοια της τηλεπισκόπησης, χρησιμοποιώντας πολυφασματικούς και οπτικούς αισθητήρες σε ΣμηΕΑ, αλλά και δορυφορικά δεδομένα για τη λήψη υψηλής ανάλυσης εικόνων του αγρού οι οποίες και επεξεργάστηκαν κατάλληλα μέσω προγραμμάτων φωτογραμμετρίας και GIS. Ως αποτέλεσμα των παραπάνω δημιουργήθηκαν χάρτες RGB, σημαντικά εργαλεία για την τοπογραφία, και υπολογίστηκε ο δείκτης βλάστησης NDVI, παρέχοντας πληροφορίες για την φυτοϋγεία. Με αυτά τα δεδομένα θα μπορούσε να γίνει πρόβλεψη της προσβολής από εχθρούς, εστιάζοντας σε συγκεκριμένα σημεία στον αγρό, ή και όσων αφορά το έντομο, στην επίσημο στάδιο ανάπτυξης του.

Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης έδειξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Η στατιστική ανάλυση έδειξε αρνητική γραμμική συσχέτιση μεταξύ της μέσης τιμής NDVI και του πληθυσμού των ατόμων ψύλλας, δηλαδή έδειξε πως για μικρές τιμές του δείκτη, ο πληθυσμός του εντόμου παρουσιάζει μεγάλες τιμές και το αντίστροφο. Συγκεκριμένα φαίνεται πως το 2,3% της διακύμανσης της μέσης τιμής του NDVI οφείλεται στη διακύμανση του πληθυσμού του εντόμου, σε επίπεδο σημαντικότητας 5%.

Το παραπάνω συμπέρασμα, πως η διακύμανση της τιμής του NDVI οφείλεται στη διακύμανση του πληθυσμού του εντόμου προκύπτει από τις αρχές της φωτοσύνθεσης αλλά και της τηλεπισκόπησης. Πιο συγκεκριμένα, ένα υγιές πράσινο φύλλο απορροφά στην κυανή και ερυθρή περιοχή του ορατού, και έτσι ανακλά λιγότερη ακτινοβολία σε αυτές τις περιοχές, από ότι σε αυτή του πράσινου, όπου και ανακλά περισσότερο. Έτσι τα φύλλα φαίνονται στον ανθρώπινο οφθαλμό πράσινα εφόσον η ανάκλαση στο χρώμα αυτό υπερέρχει έναντι των άλλων χρωμάτων. Κατά την καταπόνηση των φυτικών οργανισμών προκαλούνται αλλαγές στη χλωροφύλλη, τις χημικές συγκεντρώσεις, τη δομή των κυττάρων, την πρόσληψη θρεπτικών ουσιών και νερού και την ανταλλαγή αερίων, γεγονός που οδηγεί σε διαφορές στο χρώμα του φυτού και κατ' επέκταση στα χαρακτηριστικά της ανάκλασης. Χρησιμοποιώντας την τηλεπισκόπηση, μέσω των δεικτών βλάστησης, είναι δυνατή η παρακολούθηση των αλλαγών στην υγεία των καλλιεργειών. Συγκεκριμένα για τον NDVI, όταν η τιμή του είναι κοντά στο +1 υποδεικνύει πυκνότητα βλάστησης και ευρωστία στα φυτά, ενώ αντίθετα όσο πιο κοντά πλησιάζει η τιμή του στην τιμή -1 υποδεικνύει καταπόνηση της βλάστησης. Τα αποτελέσματα της τηλεπισκόπησης επιβεβαιώνονται και από τον δειγματοληπτικό έλεγχο που έγινε με τις κολλητικές παγίδες. Τα δέντρα που συγκέντρωσαν στις παγίδες τους περισσότερα άτομα ψύλλας, και υφίστανται καταπόνηση, εμφανίζουν στους χάρτες τηλεπισκόπησης με χαμηλές τιμές για τον δείκτη NDVI, και αντίστροφα. Συμπερασματικά, ο δείκτης φυτοϋγείας μπορεί να

χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο για τον εντοπισμό της καταπόνησης στον αγρό, και για την πρόβλεψη μελλοντικών σημείων καταπόνησης.

Με βάση τα παραπάνω, είναι κατανοητό πως η διακύμανση του δείκτη βλάστησης προκαλείται από τον πληθυσμό του εντόμου, για το 2,3% που προαναφέρθηκε, αλλά ο πληθυσμός της ψύλλας δε μπορεί να κριθεί και ως η μοναδική αιτία. Το υπόλοιπο ποσοστό διακύμανσης κατανέμεται σε άλλα πιθανά αίτια καταπόνησης των ελαιόδεντρων, βιοτικά ή και αβιοτικά που συνυπάρχουν με την ψύλλα της ελιάς.

Η τηλεπισκόπηση αποτελεί το μέλλον για τον κλάδο της Γεωργίας, κρίνοντας όμως πάντα απαραίτητη την ύπαρξη του ειδικού στο πεδίο. Το βασικό μειονέκτημα στην τηλεπισκόπηση είναι πως δεν μπορεί να γίνει η διάγνωση του παράγοντα που προκαλεί κάθε φορά την καταπόνηση, όμως μπορεί να καταδείξει με επιτυχία την ύπαρξη της, και με τη διεξαγωγή μελέτης από ειδικούς να βγουν τα συμπεράσματα για την αιτία.

Οι δυνατότητες του ραγδαία αναπτυσσόμενου αυτού κλάδου, καλούνται να δώσουν στις ολοένα αυξανόμενες ανάγκες παραγόμενων προϊόντων. Ο παγκόσμιος πληθυσμός προβλέπεται να φτάσει τα 9,7 δισεκατομμύρια το 2050, σε συνδυασμό με το ότι οι καλλιεργούμενες εκτάσεις παραμένουν σταθερές σε αριθμό, έχει αποτέλεσμα της μείωση της κατά κεφαλήν παραγωγής τροφίμων τις τελευταίες δεκαετίες (FAOSTAT, 2018). Επιπλέον έχουν αναγνωριστεί οι αρνητικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην παραγωγικότητα των καλλιεργειών. Με βάση τα παραπάνω η χρήση της Ευφυούς Γεωργίας θεωρείται ζωτικής σημασίας για ζητήματα επισιτισμού αλλά και προστασίας του περιβάλλοντος, επιδιώκοντας υψηλότερη παραγωγικότητα και ποιότητα σε μεγαλύτερη ταχύτητα συγκριτικά με τις παραδοσιακές γεωργικές τεχνικές, λιγότερη εισροή ενέργειας και φυσικά αγροχημικών προϊόντων (Yoshio, 2020).

Βιβλιογραφία

- Alissandrakis, E. και συν., 2018. Parasitic wasps related to *Prays oleae* (Bernard, 1788) (Lepidoptera, Praydidae) in olive orchards in Greece. *ZooKeys* 773, p. 143–154.
- Bahr, F., Χ.Χ. *zin.ru.* [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.zin.ru/Animalia/Coleoptera/rus/rhocricq.htm>
- Biochemtech, B. ο., 2024. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://biochemtech.eu/products/olive-fruit-fly-bactrocera-oleae>
- Biochemtech, P. ο., Χ.Χ. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://biochemtech.eu/products/olive-kernel-borer-prays-oleae>
- Blackmore, S., 1994. Precision Farming; an introduction. *Outlook on Agriculture* , 23(4), pp. 275-280.
- Braadbaart, F., Marinova, E. & Sarpaki, A., 2016. Charred olive stones: experimental and archaeological evidence for recognizing olive processing residues used as fuel. *SpringerLink*, 25(5), pp. 415-430.
- Britton, D., 2015. *Metamorphosis: a remarkable change*, s.l.: Australian Museum.
- Caselli, A., Francini, A., Minnocci, A. & Petacchi, R., 2020. *Dasineura oleae*: morphological and physiological characterization following the midge attack on olive leaves. *Journal of Plant Diseases and Protection*, pp. 4-6.
- Chamberet, Jean-Baptiste, Joseph-Anne & César -Tyrbas , 1833. Flore médicale. Στο: *Flore médicale*. Paris: Imprimerie de C.L.F. Panckoucke.
- Commission, E., 2023. *European Commission.* [Ηλεκτρονικό]
Available at: https://datam.jrc.ec.europa.eu/datam/mashup/EU_ESTIMATED_AGRICULTURAL_BALANCE_SHEETS/
- Cropin, 2021. *NDVI and its Practical Applications in Agriculture.* [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.cropin.com/blogs/ndvi-normalized-difference-vegetation-index>
- CSI, 2023. *Climate Science Investigations.* [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.ces.fau.edu/nasa/module-2/radiation-sun.php>
- D, Lu; Q, Weng, 2007. A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. *International Journal of Remote Sensing*, 28(5), pp. 823-870.
- Den Bieman, K., Malenovsky, I. , Burckhardt, D. & Heijerman, T., 2019. First checklist of the Dutch jumping plant lice since 93 years (Hemiptera: Psylloidea). *Nederlandse Faunistische*, pp. 53, 55–118.
- Dooling, W., 1991. *"The Hemiptera"*. New York: Oxford University Press.
- Dr. Saurabh , S. & Uttam , K. T., 2020. Remote Sensing, GPS, GIS and Geostatistics in Agriculture: An Overview,. Στο: *Advances in Agricultural Extension*. s.l.:AkiNik , pp. 19-30.
- FAOSTAT, 2018. *"Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database (FAOSTAT) 29."* [Ηλεκτρονικό]
Available at: <http://www.fao.org/faostat/en/>
[Πρόσβαση 30 August 2019].

- FAOSTAT, 2023. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- FAOSTAT, F. a. A. O. o. t. U. N. -, 2023. *www.fao.org*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Ferguson, R. & Rundquist, D., 2018. Remote Sensing for Site-Specific Crop Management.. Στο: *Precision Agriculture Basics*.. s.l.:Madison (WI): ASA, CSSA, SSSA, , pp. 104-118 doi:10.2134/precisionagbasics.2016.009.
- GeoSense, 2023. *GeoSense*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.geosense.gr/micasense-rededge-mx.html>
- GHARBI, N., 2021. Effectiveness of inundative releases of *Anthocoris nemoralis* (Hemiptera: Anthocoridae) in controlling the olive psyllid *Euphyllura olivina* (Hemiptera: Psyllidae). *EUROPEAN JOURNAL OF ENTOMOLOGY*, pp. 118: 135–141, doi: 10.14411/eje.2021.014.
- GISgeography, 2024. *What is Remote Sensing? The Definitive Guide*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://gisgeography.com/remote-sensing-earth-observation-guide/>
- Guerrero Maldonado, N. L. M. J. C. G. d. R. D., 2016. *Olea europaea* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. *Olea europaea in Europe: distribution, habitat, usage and threats*, p. pp. e01534b+.
- Guessab, A., Elouissi, M., Lazreg, F. & Elouissi, A., 2021. “Population dynamics, seasonal fluctuations and spatial distribution of the olive psyllid *Euphyllura olivina* Costa (Homoptera, Psyllidae) in Algeria”. pp. 183-196.. Τόμος 19. doi:10.32800/amz.2021.19.0183.
- Heege, H. J. & Thiessen, . E., 2013. Site Specific Concepts and Sensing Methods: Applications and Results. Στο: H. J. Heege, επιμ. *Sensing of Crop Properties*. s.l.:Springer Dordrecht, pp. 103-141. doi: 10.1007/978-94-007-6760-7_6.
- Horton, D. R., και συν., 2021. Exotic Psyllids and Exotic Hosts: Accumulation of Nonnative Psylloidea in North America (Hemiptera).. *Annals of the Entomological Society of America*, pp. 114(4), 425–447. doi:10.1093/aesa/saab014.
- Johnson, M. W., Daane, K. M. & Lynn-Patterson, K., 2010. *Appraising the threat of olive psyllid to California table*, s.l.: California Olive Committee.
- Kaplan, M. & Alaserhat, Í., 2019. Ecology, Population Development and Damage of *Euphyllura Straminea* Log. (Hemiptera: Psyllidae) Causing Damage in Olive Orchards.. *Erwerbs-Obstbau*., pp. doi:10.1007/s10341-019-00448-y.
- Kashiwagi, K., Erraach, Y., Arfa , L. & Zaibet, L., 2020. *Growing Olive Oil Export and Intra-Industry Trade in Japan, Tunisia: Application of Gravity Model*. Sustainability, MDPI.
- Kitchin, C. R., 2013. Undergraduate Lecture Notes in Physics. Στο: *Telescopes and Techniques*. New York: Springer, pp. pp. 145-149. doi: 10.1007/978-1-4614-4891-4_7.
- Krapivin, V. F., Varotsos, C. A. & Soldatov, V., 2015. New Ecoinformatics Tools in Environmental Science.. *Formerly Environmental Geology*, pp. doi.org/10.1007/s12665-016-5411-1.
- Ksantini, M. J. T. a. B. A., 2002. “Temperature Effect On The Biology Of *Euphyllura Olivina* Costa”. 827-829.. Τόμος 586. doi:10.17660/ActaHortic.2002.586.179.

- KUMAR, J., VASHISTH, A., SEHGAL AND, V. & GUPTA, V., 2010. Identification of Aphid Infestation in Mustard by Hyperspectral. *Indian Agricultural Research Institute, New Delhi*, Τόμος 10, pp. 53-60.
- Lamont, D., 2023. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.inaturalist.org/observations/192613998>
- Lauterer, P., Prophetou, D. A. & Tzanakakis, M. E., 1986. Occurrence of *Euphyllura phillyreae* Foerster (Homoptera: Aphalaridae) on Olives of the Greek Mainland. 7–10.. Τόμος 79:1.
- Lum, C. και συν., 2016. *Multi spectral imaging and elevation mapping from an unmanned aerial system for precision agriculture application*, St. Louis, Missouri, USA: Proceedings of the 13th International Conference on Precision Agriculture.
- Maes, W. H. & Steppe, K., 2019. Perspectives for remote sensing with unmanned aerial. *Trends in plant science*, 24(2), pp. 152-164.
- Manning, C. G., 2018. *Nasa*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.nasa.gov/general/what-is-a-satellite/>
- Mantzanas, K. και συν., 2021. *Intercrop of olive trees with cereals and legumes in Chalkidiki, Northern Greece*, s.l.: Springer.
- NASA, 2010. *nasa, Reflected Near-Infrared Waves. Retrieved*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: https://science.nasa.gov/ems/08_nearinfraredwaves
- NASA, 2023. *EARTH DATA*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.earthdata.nasa.gov/learn/backgrounders/remote-sensing#sensors>
- Ouvrard, D. C. P. & P. D. M., 2015. Host-plant leaps versus host-plant shuffle: a global survey reveals contrasting patterns in an oligophagous insect group (Hemiptera, Psylloidea). *Systematics and Biodiversity*, pp. 13(5), 434–454. doi:10.1093/aesa/saab014.
- Planet, 2024. *Planet Developers*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://developers.planet.com/docs/data/psscene/#4-band-asset-band-order>
- Prasannakumara, N. R., Chandera, S., Sahoob, R. N. & Guptab, . V. K., 2013. Assessment of Brown Planthopper, (*Nilaparvata lugens*) [Stal], damage in rice using hyperspectral remote sensing.. *International Journal of Pest Management, New Delhi-110012, India.* , Τόμος 59, pp. 180 - 188.
- Prophetou-Athanasiadou, D. A., & Tzanakakis, M. E., 1986. Diapause termination in the olive psyllid *Euphyllura phillyreae*, in the field and in the laboratory.. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, pp. 40(3), 263–272. doi:10.1111/j.1570-7458.1986.tb00510.x.
- Prophetou-Athanasiadou, D. A., 1996. Egg Distribution Patterns of Olive Psyllid *Euphyllura phillyreae* (Homoptera: Aphalaridae) on *Phillyrea latifolia* and *Olea europaea* in Northern Greece.. *Environmental Entomology*, pp. 25(6), 1297–1303. doi:10.1093/ee/25.6.12.
- Reddy, G., 2018. Geospatial Technologies in Land Resources Mapping, Monitoring and Management. *Geotechnologies and the Environment*. Στο: *Satellite Remote Sensing Sensors: Principles and Applications*. . s.l.:Springer, Cham, p. 21–43.

- Shafi, U. και συν., 2019. Precision Agriculture Techniques and Practices: From Considerations to Applications. *Sensors*, (17)(19), p. p. 3796. doi:10.3390/s19173796.
- Shunlin , L. & Jindi , W., 2020. Atmospheric correction of optical imagery. Στο: h. ISBN 9780128158265, επιμ. *Advanced Remote Sensing (Second Edition)*. s.l.:Academic Press, pp. 131- 156.
- Slater, J. A. a. R. M. B., 1978. *"How to Know True Bugs"*. Iowa: William C. Brown Publishers.
- Sylvester, G., 2018. *E-Agriculture in Action : Drones for agriculture*, Bangkok: Food and Agriculture Organization of the United Nations & International Telecommunication Union.
- Triapitsyn, S. και συν., 2014. Description of the male of *Psyllaephagus euphyllurae* (Masi) (Hymenoptera, Encyrtidae), a parasitoid of the olive psylla, *Euphyllura olivina* (Costa). *Journal of Entomological and Acarological Research*, Τόμος 46:4092.
- Troya, A., 2022. [Ηλεκτρονικό] Available at: <https://www.inaturalist.org/observations/145370526>
- Tzanakakis & Minos, E., 2008. Olive Psyllids, *Euphyllura* spp. (Hemiptera: Psyllidae).. *Encyclopedia of Entomology*. Springer, Dordrecht. In: Capinera J.L. (eds), pp. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6359-6_1842.
- Ünsalan, . C. & Boyer, K. L., 2011.. Multispectral Satellite Image Understanding. *Advances in Computer Vision and Pattern Recognition*. Στο: https://doi.org/10.1007/978-0-85729-667-2_2, επιμ. *Remote Sensing Satellites and Airborne Sensors*.. London: Springer, pp. 7-15.
- USGS, 2023. *United States Geological*. [Ηλεκτρονικό] Available at: <https://www.usgs.gov/faqs/what-remote-sensing-and-what-it-used>
- Van Emden, H. F., 2014. *Γεωργική Εντομολογία*. s.l.:ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΠΑΡΙΣΙΑΝΟΥ.
- Varikou, K., 2014. *Bactrocera oleae (olive fruit fly)*. [Ηλεκτρονικό] Available at: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/10.1079/cabicompendum.17689>
- Yoshio , I., 2020. Satellite- and drone-based remote sensing of crops and soils for smart farming – a review. Στο: *Soil Science and Plant Nutrition*. s.l.:Taylor & Francis Online, pp. 798-810.
- zimgeo, 2021. *introduction to gis and remote sensing*. [Ηλεκτρονικό] Available at: <https://www.zimgeo.co.zw/event/introduction-to-gis-and-remote-sensing-march-2021/>
- Αραποστάθη, Ε., 2022. *Χρήση δεδομένων από οπτικούς, πολύφασματικούς και θερμικούς αισθητήρες επί ΣμηΕΑ για τον εντοπισμό και την παρακολούθηση εντομολογικών προσβολών σε οπωρώνες*, Αθήνα: Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- ΕΛΣΤΑΤ, Ε. Σ. Α. -, 2019. *www.statistics.gr*. [Ηλεκτρονικό] Available at: <https://www.statistics.gr/el/statistics/-/publication/SPG06/2019>
- Ευελπίδου, Ν. & Αντωνίου, Β., 2015. *Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών*. <https://dx.doi.org/10.57713/kallipos-942> επιμ. Αθήνα: Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις.

- Καραμπουρνιώτης, Γ. Α., Λιακόπουλος, Γ. & Νικολόπουλος, Δ., 2012. Φυσιολογία καταπονήσεων των φυτών: οι λειτουργίες των φυτών κάτω από αντίξοες συνθήκες του περιβάλλοντος. Στο: Αθήνα: Εμβρυο.
- Καρυδάς, Χ. & Συλλαίος, Ν., 2000. *Γεωργία Ακριβείας: Περιγραφή της μεθόδου - Υφιστάμενη κατάσταση και προοπτικές*. Κρήτη, Χανιά, 2ο ειδικό συνέδριο <<Πληροφοριακά συστήματα στον Αγροτικό τομέα>> της Ελληνικής Εταιρίας Επιχειρησιακών Ερευνών.
- Μπακάλης, Α. & Παπαγεωργίου, Α., 2021. *Βιολογική Καλλιέργεια της ελιάς στη δυτική Ελλάδα*, Αμαλιάδα: Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Παρασκευόπουλος, Α. & Μπέσσα, Σ., 1998. Πυρηνοτρήτης, Βαμβακάδα, Καλόκορις. Η καταπολέμηση τριών επίκαιρων εχθρών της ελιάς. pp. 43-47.
- Ποντίκης, Κ., 2000. *Ειδική Δενδροκομία-Ελαιοκομία, Τόμος Τρίτος*,. s.l.:Αθ. Σταμούλης..
- Τζανακάκης, Β.Ι. & Κατσόγιαννος, Μ.Ε., 2003. *Έντομα καρποφόρων δένδρων και αμπέλου*. Αθήνα: ΑγροΤύπος.
- ΥΠ.Α.Α.Τ., 2012. *Οδηγίες Ολοκληρωμένης Φυτοπροστασίας στην Καλλιέργεια της Ελιάς*, Αθήνα: Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων.
- Ψυχογιός, Δ., 2021. *Ελαιοκομία και κλιματική αλλαγή - ρόλος των παθογόνων*, Καλαμάτα: ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ.