



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

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

Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία

Χρήση ευφυούς γεωργίας για την παρακολούθηση και την αντιμετώπιση
του δάκου ελιάς, *Bactrocera oleae* (Diptera: Tephritidae)

Κωνσταντίνος Λ. Κάρελλας

Επιβλέπων καθηγητής:
Γιώργος Παπαδούλης, Καθηγητής ΓΠΑ

**ΑΘΗΝΑ
2022**

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

Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία

Χρήση ευφυούς γεωργίας για την παρακολούθηση και την αντιμετώπιση του δάκου ελιάς, *Bactrocera oleae* (Diptera: Tephritidae)

Use of the smart farming to monitor and deal with the olive fly *Bactrocera olea* (Diptera: Tephritidae)

Κωνσταντίνος Λ. Κάρελλας

Εξεταστική Επιτροπή:

Παπαδούλης Θ. Γεώργιος, Καθηγητής ΓΠΑ (επιβλέπων)
Περδίκης Διονύσιος, Αναπληρωτής Καθηγητής ΓΠΑ
Τσαγκαράκης Αντώνιος, Αναπληρωτής Καθηγητής ΓΠΑ

Χρήση ευφυούς γεωργίας για την παρακολούθηση και την αντιμετώπιση του δάκου ελιάς, *Bactrocera oleae* (Diptera: Tephritidae)

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

Περίληψη

Η ελιά (*Olea europaea*) αποτελεί ένα καρποφόρο δέντρο της οικογένειας των Ελαιοειδών (Oleaceae) με εξαιρετική σημασία στην ιστορία, τον πολιτισμό αλλά και την οικονομία της Ελλάδας. Η Ελλάδα αποτελεί την τρίτη ελαιοπαραγωγική χώρα παγκοσμίως, έπειτα από την Ισπανία και την Ιταλία.

Όσον αφορά τους εντομολογικούς εχθρούς ο δάκος είναι ο πιο επικίνδυνος των ελαιώνων στη Μεσόγειο, καθώς αυτό το παράσιτο ζει ολοκληρωτικά και αποκλειστικά εις βάρος των ελαιόδεντρων. Σε περιοχές με έντονες προσβολές από δάκο, η ποιότητα και αξία του ελαιόλαδου μπορεί να μειωθεί έως και 80%, ενώ μπορεί να φτάσει και 100% στις επιτραπέζιες ποικιλίες. Η καταπολέμηση και μείωση του πληθυσμού του δάκου της ελιάς βασίζεται είτε στη θανάτωση των εκκολαπτόμενων ωών και προνυμφών εντός των καρπών είτε στην παρεμπόδιση σύζευξης ή ωοτοκίας των θηλυκών.

Η παρακολούθηση ενός αγρού αποτελεί μια χρονοβόρα και επίπονη, για τον γεωπόνο και αγρότη, διαδικασία η οποία πρέπει να επαναλαμβάνεται συχνά κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Η σύγχρονη τεχνολογία της τηλεπισκόπησης (remote sensing) έρχεται να αντικαταστήσει την διαδικασία της παρακολούθησης ενός αγρού κάνοντάς την πιο γρήγορη, εύκολη και δίνοντας καλύτερα αποτελέσματα.

Ο σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν η παρακολούθηση του πληθυσμού του δάκου (*Bactrocera oleae*) με τη χρήση παγίδων απομακρυσμένης παρακολούθησης (ΠΑΠ) σε επιλεγμένους ελαιώνες, η εκτίμηση της αποτελεσματικότητας αυτών και η σύγκρισή τους με συμβατικές παγίδες τύπου McPhail.

Η μελέτη πραγματοποιήθηκε το καλοκαίρι και φθινόπωρο του 2021 και 2022 όπου τοποθετήθηκαν σε ελαιώνες σε διάφορους νομούς παγίδες απομακρυσμένης παρακολούθησης (ΠΑΠ) και παγίδες McPhail. Έγιναν δειγματοληψίες από τις συλλήψεις των ενηλίκων και συγκρίσεις αυτών των δύο. Επιπροσθέτως πραγματοποιήθηκε πτήση με το ΣμηΕΑ Mera και έγινε χαρτογράφηση του ελαιώνα στο Κιάτο Κορινθίας που αποτελεί έναν από τους ελαιώνες που έγινε το πείραμα.

Οι παγίδες τύπου McPhail είναι αρκετά διαδεδομένες στη χρήση για την παρακολούθηση του πληθυσμού και την καταπολέμησή του. Χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση του πληθυσμού, όπου τα ακμαία του δάκου προσελκύονται σε κλειστό χώρο και πνίγονται. Οι ΠΑΠ είναι παγίδες με μία κίτρινη κολλητική ταινία οι οποίες διαθέτουν οπτικό αισθητήρα, ο οποίος κατέγραφε την εικόνα της κολλητικής παγίδας μία φορά την ημέρα και την έστειλε μέσω δικτύου κινητής τηλεφωνίας σε διακομιστή από τον οποίον στη συνέχεια γινόταν συλλογή των φωτογραφιών αυτών.

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων φάνηκε ότι δεν υπήρξαν σημαντικές αποκλίσεις στη διακύμανση των ενήλικων πληθυσμών μεταξύ των δύο τύπων

παγίδων στις περισσότερες τοποθεσίες καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος, το οποίο επιβεβαιώνει τόσο την αποτελεσματικότητα χρήσης τους όσο και τη χρησιμότητα τους στους σύγχρονους ελαιώνες

Επιστημονική περιοχή: Ευφυής γεωργία

Λέξεις κλειδιά: Ελιά, δάκος, τηλεπισκόπηση, παγίδες McPhail, παγίδες απομακρυσμένης παρακολούθησης

**Use of the smart farming to monitor and deal with the olive fly. *Bactrocera olea*
(Diptera: Tephritidae)**

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

Abstract

The olive tree (*Olea europaea*) is a fruit tree of the Oleaceae family with great importance in the history, culture and economy of Greece. This country is the third olive producing country worldwide, after Spain and Italy. Olive fruit fly is the most dangerous of olive trees in the Mediterranean, as this pest lives completely and exclusively at the expense of olive trees. In areas with strong infestations of olive fruit fly, the quality and value of olive oil can be reduced up to 80%, while it can reach 100% on table cultivars. The control and reduction of the population of this insect is based either on killing the adults and the hatching eggs and larvae inside the fruits or on preventing mating or oviposition of the females.

Monitoring a field is a time-consuming and laborious process for the agronomist and farmer, which must be repeated frequently during the growing season. Remote sensing technology comes to replace the process of monitoring a field, making it faster, easier and giving better results.

The purpose of the present study was to monitor the population of the *Bactrocera oleae* using remote monitoring traps in selected olive groves, to assess their effectiveness and to compare them with McPhail traps.

The study was carried out in the summer and autumn of 2021 and 2022 where Remote Monitoring Traps (RMT) and McPhail traps were placed in olive groves in various prefectures. The population of the adult captured from these two types of traps were sampled and then compared. In addition, a flight was carried out with the drone Mera and mapping was done of the olive grove in Kiato which is one of the olive groves where the experiment was carried out.

McPhail traps are quite common in use for population monitoring and control. They are used to monitor the population, where adults are attracted to an enclosed space and suffocated. RMT are traps which have a yellow sticky tape and an optical sensor, which is capable of capturing the image of the sticky trap once a day and sent it via a mobile phone network to a server from which these photos were collected.

The analysis of the results showed that there were no significant differences in the variation of adult populations between the two types of traps in most locations throughout the experiment, which confirms both the efficiency of their use and their utility in modern olive groves

Scientific field: Precision agriculture

Key words: Olive, olive fruit fly, remote sensing, McPhail traps, remote monitoring traps

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η μεταπτυχιακή μου διατριβή έλαβε χώρα στο Εργαστήριο Γεωργικής Ζωολογίας Και Εντομολογίας. Το θέμα μου προκάλεσε ιδιαίτερο ενδιαφέρον και με έκανε να ασχοληθώ ακόμα παραπάνω με τον κλάδο της εντομολογίας. Έχω την υποχρέωση να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Παπαδούλη Γεώργιο που με δέχτηκε ως μέλος της ερευνητικής του ομάδας στο Εργαστήριο Γεωργικής Ζωολογίας και Εντομολογίας και για όλη τη βοήθεια και επικοινωνία που μου προσέφερε.

Ακόμα οφείλω να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Περδίκη Διονύσιο που δέχτηκε να είναι στην εξεταστική επιτροπή.

Σημαντική βοήθεια για την επίτευξη του πειράματος σε αυτήν την μεταπτυχιακή διατριβή ήταν η κυρία Καλαϊτζάκη Αργυρώ και ο υποψήφιος διδάκτορας Κουφάκης Γιάννης.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω να πω στον Επίκουρο Καθηγητή κ. Τσαγκαράκη Αντώνιο για την εμπιστοσύνη και ψυχραιμία που έδειξε απέναντι μου αλλά και για την στήριξη και την ενθάρρυνση που μου έδωσε για να αντιμετωπίσω όλες τις δυσκολίες που προέκυπταν.

Αναμφίβολα η βοήθεια που μου έδειξαν όλοι οι προπτυχιακοί, μεταπτυχιακοί και υποψήφιοι διδάκτορες του Εργαστηρίου Γεωργικής Ζωολογίας Και Εντομολογίας ήταν απαραίτητη για την επιτυχία του πειράματος.

Τέλος παραθέτω την ευγνωμοσύνη μου προς την οικογένεια μου που τόσα χρόνια με πίστεψαν και με στήριξαν σε όλες μου τις αποφάσεις χωρίς να αποτελούν εμπόδιο στην εκπλήρωση των ονείρων μου.

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή	8
1.1	Η καλλιέργεια της ελιάς.....	8
1.1.1	Βοτανολογικά και οικονομικά χαρακτηριστικά	8
1.1.2	Σημαντικοί εχθροί της ελιάς.	9
1.1.3	Δάκος της ελιάς.....	9
1.1.4	Καταπολέμηση του δάκου.....	12
1.2	Ευφυής και ψηφιακή γεωργία.....	13
1.2.1	Η χρήση ψηφιακής τεχνολογίας στη γεωργία.....	13
1.2.2	Νέες τεχνολογίες στις παγίδες εντόμων.	14
2	Σκοπός μελέτης.....	16
3	Υλικά και μέθοδοι	17
3.1	Τοποθέτηση παγίδων.....	17
3.2	Χαρτογράφηση ελαιώνα Κιάτου Κορινθίας.....	23
4	Αποτελέσματα.....	27
5	Συζήτηση.....	47
•	Βιβλιογραφία.....	50

1 Εισαγωγή

1.1 Η καλλιέργεια της ελιάς

1.1.1 Βοτανολογικά και οικονομικά χαρακτηριστικά

Η ελιά ή ελαιόδεντρο (*Olea europaea*) αποτελεί ένα καρποφόρο δέντρο της οικογένειας των Ελαιοειδών (*Oleaceae*) με εξαιρετική σημασία στην ιστορία, τον πολιτισμό αλλά και την οικονομία της Ελλάδας. Από αρχαιοτάτους χρόνους, υπήρξε συνυφασμένο με θεότητες και πολιτισμικά δρώμενα, καθώς η μυθολογία αναφέρει πως η θεά Αθηνά προσέφερε την ελιά ως δώρο στους Αθηναίους πολίτες κερδίζοντας στη φιλονικία της με το θεό Ποσειδώνα ο οποίος προσέφερε θαλασσινό νερό και αργότερα αποτέλεσε σύμβολο των Ολυμπιακών Αγώνων (Κυριτσάκης, 2007) . Επίσης, ευρήματα της Μινωικής εποχής έχουν αποδείξει τη χρήση υποτυπωδών ελαιουργείων και την οικονομική σημασία του εμπορίου λαδιού στην Κρήτη (Κυριτσάκης, 2007). Μέχρι και σήμερα απαντάται σε όλη την Ελλάδα είτε ως καλλωπιστικό είτε ως καλλιεργούμενο φυτό.

Η ελιά είναι δέντρο αειθαλές, αιωνόβιο, με μέγιστο ύψος τα 10μ, φύλλα αντίθετα, λογχοειδή δερματώδη, βαθύ πράσινου χρώματος στην άνω επιφάνεια και αργυρόχρωμα στην κάτω. Τα άνθη της είναι λευκωπά, μονοπέταλα και πολύ μικρά, σχηματίζουν ταξιανθία τύπου βότρυ και εμφανίζονται από το τέλος Απριλίου έως και το Μάιο, ανάλογα με την ποικιλία και τις κλιματικές συνθήκες. Ο καρπός της ελιάς είναι δρύπη, ο οποίος ωριμάζει και συλλέγεται κατά τα τέλη του φθινοπώρου και αρχές του χειμώνα. Ο κορμός της ελιάς είναι οζώδης και καλύπτεται από τεφρόφαιο φλοιό. Η ελιά χαρακτηρίζεται για την ανθεκτικότητα, την προσαρμοστικότητα και την παραγωγικότητά της χωρίς ιδιαίτερες καλλιεργητικές φροντίδες. Καλλιεργείται μόνο στα εύκρατα κλίματα, αν και μερικές ποικιλίες είναι ανθεκτικές στους παγετούς. Οι ιδανικές θερμοκρασίες για την ανάπτυξη, ανθοφορία και καρπόδεση του δέντρου κυμαίνονται από 11 έως 25°C, ενώ χρήζει εαρινοποίησης κατά τους χειμερινούς μήνες για το σχηματισμό των ανθοφόρων ματιών. Προτιμά εδάφη ουδέτερα ως ελαφρά αλκαλικά, ενώ ευδοκιμεί κυρίως σε ασβεστολιθικά εδάφη. Μπορεί να καλλιεργηθεί κοντά στη θάλασσα και έως υψόμετρο 600μ, σε επικλινή εδάφη ή ανοικτές επίπεδες επιφάνειες (Ποντίκης, 2000).

Η κύρια παραγωγή της ελιάς αφορά την παραγωγή ελαιόλαδου, ενώ δευτερευόντως καλλιεργείται για την παραγωγή βρώσιμης ελιάς, με πληθώρα ελληνικών ποικιλιών και προϊόντων παγκόσμιας απήχησης (π.χ. ελιά Καλαμών). Σύμφωνα με στοιχεία της Διεθνούς Οργάνωσης Τροφίμων και Γεωργίας, η καλλιέργεια της ελιάς στην Ελλάδα το 2021 κάλυπτε περίπου 819 kha, ενώ το 2019 η Ελλάδα παρήγαγε περίπου 308,000 τόνους ελαιόλαδου και 3.19 τόνους ελιές (FAOSTAT, 2021). Οι κυριότερες ελαιοπαραγωγικές περιοχές της χώρας είναι οι νότιες και κεντρικές επαρχίες της χώρας (π.χ. νομοί Λακωνίας, Μεσσηνίας, Αχαΐας, Ηλείας, Φθιώτιδα, Αιτωλοακαρνανία) και τα νησιά, κυρίως η Κρήτη και η Λέσβος. Τέλος, η Ελλάδα αποτελεί την τρίτη

ελαιοπαραγωγική χώρα παγκοσμίως, έπειτα από την Ισπανία και την Ιταλία (FAOSTAT, 2021).

1.1.2 Σημαντικοί εχθροί της ελιάς

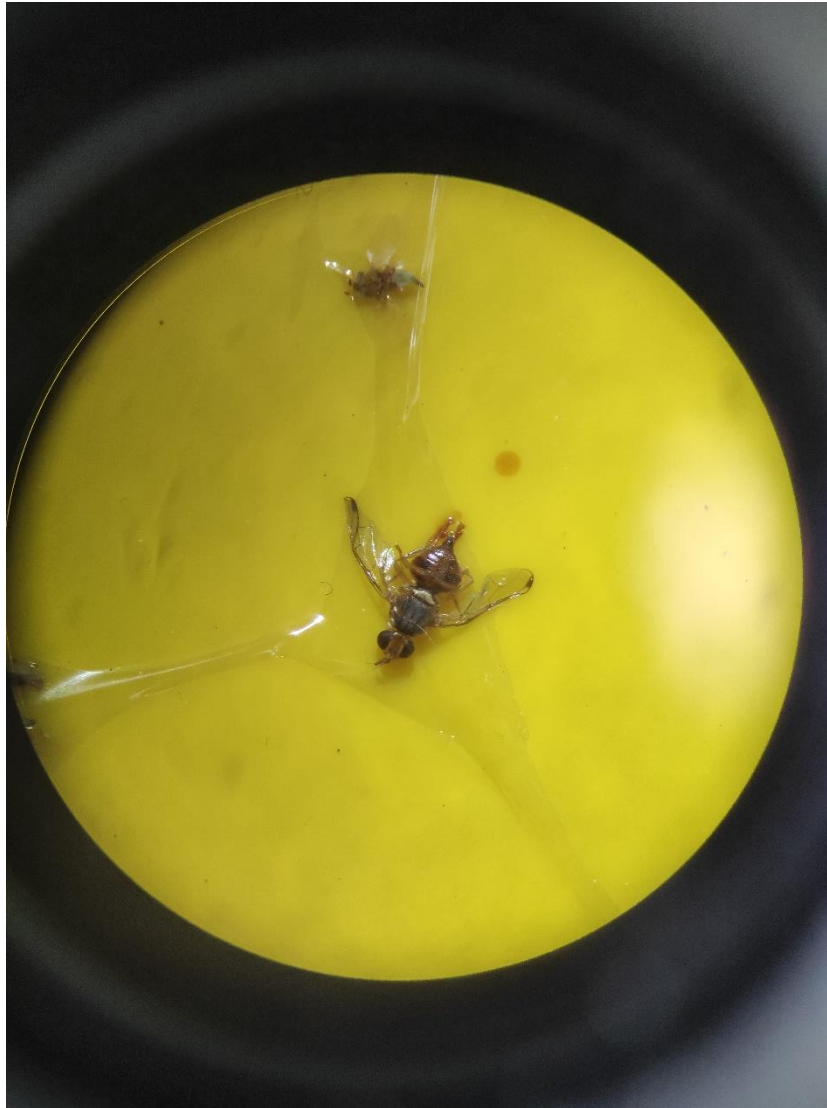
Η ελιά προσβάλλεται τόσο από μικροβιολογικές προσβολές όσο και από έντομα εχθρούς. Το κυκλοκόνιο ή κηλίδωση των φύλλων της ελιάς (*Spilocaea oleagina*), το γλοιοσπόριο (*Gloeosporium olivarum*), η καρκίνωση ή φυματίωση της ελιάς (*Pseudomonas savastanoi*), η βερτισιλλίωση (*Verticillium dahliae*) και η απειλητικά ανερχόμενη ασθένεια καραντίνας *Xylella fastidiosa* αποτελούν τις σοβαρότερες μυκητιακές και βακτηριακές προσβολές των ελαιόδεντρων, οι οποίες προκαλούν σοβαρές απώλειες στην ελαιοπαραγωγή παγκοσμίως (Τζάμος, 2007).

Στους κύριους εντομολογικούς εχθρούς της ελιάς περιλαμβάνονται ο δάκος (*Bactrocera oleae*) και ο πυρηνοτρήτης (*Prays oleae*), όμως η ελιά προσβάλλεται και από άλλα έντομα μικρότερης οικονομικής σημασίας όπως το λεκάνιο ή μαύρη ψώρα (*Saissetia oleae*), το ξυλοφάγο *Zeuzera pyrina* και η φύλλα ή βαμβακάδα (*Euphyllura olivine*). (Τζανακάκης & Κατσόγιαννος, 2003).

1.1.3 Δάκος της ελιάς

Πρόκειται για τον πιο επικίνδυνο εχθρό των ελαιώνων στη Μεσόγειο, καθώς αυτό το παράσιτο ζει ολοκληρωτικά και αποκλειστικά εις βάρος των ελαιόδεντρων. Σε περιοχές με έντονες προσβολές από δάκο, η ποιότητα και αξία του ελαιόλαδου μπορεί να μειωθεί έως και 80%, ενώ μπορεί να φτάσει και 100% στις επιτραπέζιες ποικιλίες (Daane & Johnson, 2010). Έχει εκτιμηθεί ότι 5% μείωση της συνολικής παραγωγής ελιάς οφείλεται στο δάκο, ποσοστό που αντιστοιχεί σε οικονομικές απώλειες περίπου 800 εκατομμυρίων δολαρίων κάθε χρόνο.

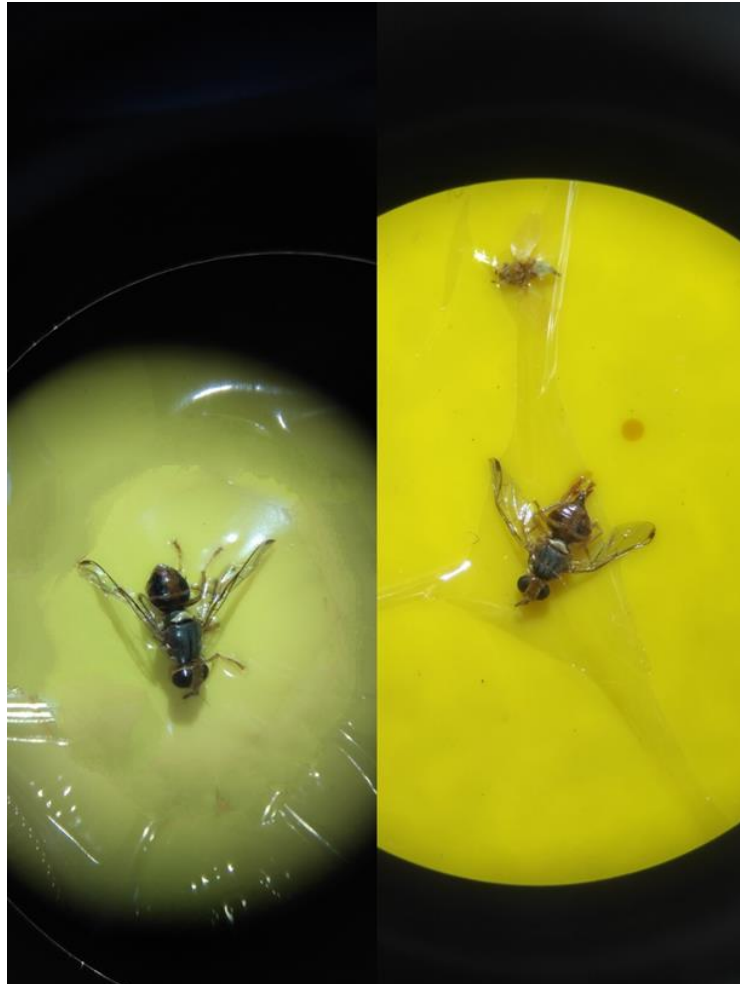
Ο δάκος (*Bactrocera oleae*, Diptera: Tephritidae) είναι ένα μικρό δίπτερο που δεν ξεπερνά τα πέντε με έξι χιλιοστά σε μήκος, ενώ είναι χαρακτηριστικές οι μικρές μαύρες κηλίδες που βρίσκονται στις άκρες των πτερυγών και τρεις μαύρες παράλληλες γραμμές στο θώρακά του. (Εικόνα 1).



Εικόνα 1: Ενήλικο άτομο δάκου. Φαίνονται στις πτέρυγες τα δύο μαύρα σημεία και στο θώρακα οι τρεις μαύρες γραμμές. (Φωτογραφία του συγγραφέα)

Αναπτύσσει δύο με πέντε γενεές το χρόνο, στις οποίες αρχικά τα θηλυκά ωοτοκούν 200 με 300 ωά σε ωριμάζοντες καρπούς ελιάς, στη συνέχεια οι προνύμφες θρέφονται με τον καρπό και νυμφώνονται μέσα στον καρπό ή στο έδαφος (Mazomenos, Pantazi Mazomenou, & Stefanou, 2022) (Daane & Johnson, 2010) (Εικόνα 2). Ο δάκος αρχίζει τη δραστηριότητά του όταν η θερμοκρασία αρχίζει να ανεβαίνει, με τις κυριότερες προσβολές από προνύμφες από τα μέσα του καλοκαιριού έως τα τέλη του φθινοπώρου όπου επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες και βροχές (Mazomenos, Pantazi Mazomenou, & Stefanou, 2022) Αρχικά τα συμπτώματα εμφανίζονται ως μία μικρή κηλίδα τριγωνικού σχήματος, η οποία εξελίσσεται σε καστανή απόχρωση και βυθίζεται, μέχρι που ο προσβεβλημένος καρπός να πέσει όταν το έντομο έχει ολοκληρώσει την ανάπτυξή του, ή να παραμείνει στο δένδρο, αν οι καρποί έχουν αναπτυχθεί το φθινόπωρο. Ο δάκος δεν προκαλεί ζημιά μόνο στον καρπό

του ελαιόδεντρου, αλλά και στην ποιότητα του ελαιόλαδου που παράγεται, αυξάνοντας την οξύτητά του και αλλοιώνοντας τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του, καθώς και στον καρπό που προορίζεται για κονσερβοποίηση (Daane & Johnson, 2010).



Εικόνα 2. Αρσενικό άτομο στα αριστερά της φωτογραφίας και θηλυκό άτομο στα δεξιά της φωτογραφίας (Φωτογραφία του συγγραφέα).



Εικόνα 3. Αριστερά: Εξωτερική εμφάνιση της προσβολής του καρπού από δάκο, στο οποίο σημείο το θηλυκό ωτόκησε. Δεξιά: Συμπτώματα της προσβολής στη σάρκα του καρπού. (Φωτογραφία από Malheiro et al. (2015))

1.1.4 Καταπολέμηση του δάκου

Η καταπολέμηση και μείωση του πληθυσμού του δάκου της ελιάς βασίζεται είτε στη θανάτωση των εκκολαπτόμενων ωών και προνυμφών εντός των καρπών είτε στην παρεμπόδιση σύζευξης ή ωοτοκίας των θηλυκών (Pontikakos, Tsiligiridis, & Drougka, 2010). Έτσι, στις μεθόδους αντιμετώπισης του δάκου συγκαταλέγονται πολλαπλά καλλιεργητικά, προληπτικά και θεραπευτικά μέτρα, όπως αποφυγή μονοκαλλιέργειας και πρώιμη συγκομιδή, ψεκασμοί φυλλώματος, εφαρμογές δολωματικού ψεκασμού με την ταυτόχρονη χρήση ελκυστικών ουσιών και εντομοκτόνων, απελευθέρωση στείρων αρσενικών, μαζική παρακολούθηση και παγίδευση πληθυσμού με παγίδες με προσελκυστικό υγρό, προσέλκυση με φερομόνες, παγίδες τύπου McPhail, βιολογική καταπολέμηση με παρασιτοειδή κ.ά.

Εύρος χημικών ουσιών χρησιμοποιούνται ως δολώματα για την προσέλκυση των ακμαίων του δάκου, με στόχο την παρακολούθηση του πληθυσμού και τη θανάτωση των εντόμων. Τέτοιες ελκυστικές ουσίες μπορεί να είναι απλά ζαχαρούχα μείγματα (πχ μελάσα), υδρολυμένες πρωτεΐνες, αμμωνιακά άλατα κλπ (Daane & Johnson, 2010). Μετά την προσέλκυση του εντόμου, τα ενήλικα παγιδεύονται και κατ' επέκταση πεθαίνουν με τη χρήση κολλητικών παγίδων ή ερχόμενα σε επαφή με κάποιο εντομοκτόνο. Το κίτρινο αποτελεί ένα ιδιαίτερα προσελκυστικό χρώμα για το δάκο και έχει ενσωματωθεί τόσο στις κολλητικές παγίδες όσο και σε παγίδες τύπου McPhail. Το μειονέκτημα αυτών των μεθόδων έγκειται στην προσέλκυση ωφέλιμων εντόμων αλλά και στη μειωμένη απόδοσή τους σε περιοχές με ισχυρούς ανέμους, με αποτελέσματα κάποιες ελαιοπαραγωγικές περιοχές να μην βασίζονται σε αυτό το μέτρο.



Εικόνα 4. Παγίδα McPhail κρεμασμένη πάνω σε ελαιόδεντρο σε ελαιώνα στο Κιάτο Κορινθίας. (Φωτογραφία του συγγραφέα)

Οι παγίδες τύπου McPhail (Εικόνα 3) είναι αρκετά διαδεδομένες στους ελαιώνες ανά τη Μεσόγειο και χρησιμοποιούνται για πάνω από 50 χρόνια σε πολλές περιοχές τις Ελλάδας. (Haniotakis, 2005). Πρόκειται για γυάλινες ή αυτοσχέδιες (π.χ. πλαστικό μπουκάλι) παγίδες που χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση του πληθυσμού, όπου τα ακμαία του δάκου προσελκύονται σε κλειστό χώρο και πνίγονται. Γεμίζονται με νερό στο οποίο έχει διαλυθεί ελκυστικό, συνήθως 2% θειικό αμμώνιο το οποίο είναι προσελκυστικό ειδικά για έντομα της οικογένειας Tephritidae (Doitsidis, et al., 2017). Αναρτώνται στα ελαιόδεντρα από νωρίς την άνοιξη μέχρι και τη συγκομιδή, όπου τα παγιδευμένα έντομα προσμετρούνται και το προσελκυστικό υγρό ανανεώνεται κάθε 5 με 7 ημέρες. Όταν ο μέσος όρος ενήλικων εντόμων που παγιδεύτηκαν μέσα σε κάθε παγίδα και ανά βδομάδα είναι από 5 έως 10 ενήλικα (ανάλογα την καλλιεργήσιμη ποικιλία, την περιοχή κλπ.), τότε οργανώνονται οι δολωματικοί ψεκασμοί με το κατάλληλο εντομοκτόνο (Doitsidis, et al., 2017). Οι παγίδες McPhail είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικές, όμως χρειάζονται τακτικοί έλεγχοι και ανανέωση του προσελκυστικού υγρού αυξάνοντας έτσι τις εργατώρες και το κόστος εφαρμογής τους, ενώ μειονεκτικό ρόλο παίζει και η υποκειμενικότητα και ακρίβεια του παρατηρητή.

1.2 Ευφυής και ψηφιακή γεωργία

1.2.1 Η χρήση ψηφιακής τεχνολογίας στη γεωργία

Η άνοδος της τεχνολογίας και της τεχνητής νοημοσύνης έχει συντελέσει στην εξέλιξη και βελτιστοποίηση της γεωργίας και ιδιαίτερα τη φυτοπροστασία (Lima, Damascena de Almeida Leandro, Valero, Coronel, & Bazzo, 2020) (McFadden, Casalini, Griffin, & Antón, 2022). Τα τελευταία χρόνια, τόσο ερευνητικά όσο και σε πρακτικό επίπεδο, έχει αυξηθεί η χρήση θερμικών ή ψηφιακών καμερών από απόσταση (thermal imaging, RGB cameras, remote sensing), μηχανημάτων φθορισμού χλωροφύλλης (chlorophyll fluorescence), μηχανημάτων ανίχνευσης φυτοϋγείας μέσω ανίχνευσης υπέρυθρου φωτός ή βάσει της ανακλαστικότητας της βλάστησης (NDVI, Spectroradiometers) και ευφυών λογισμικών για την αυτόματη ανίχνευση και αναγνώριση μικροβιακών συμπτωμάτων και εντόμων στα φυτά (automated image analysis and machine learning) (Gorbe & Calatayud, 2012) (Anastasiou, Balafoutis, & Fountas, 2023) (Blonda, et al., 2023). Κατά συνέπεια, οι παραπάνω τεχνικές έχουν εφαρμοστεί και για την ανίχνευση και καταμέτρηση εντόμων, είτε στα πλαίσια της φυτοπροστασίας (Potamitis, Rigakis, Vidakis, Petousis, & Weber, 2018) (Miranda, et al., 2019) (Prete, Moretti, Scarton, Giannotta, & Angeli, 2021) (Victoriano, Oliveira, & Oliveira, 2023) είτε σε πλαίσια καταγραφής της βιοποικιλότητας και συμπεριφοράς διαφόρων εντόμων (Ruczyński, Hałat, Zegarek, Borowik, & Dechmann, 2019) (van Klink, et al., 2022) (Bjerge, et al., 2023). Χώρες όπως οι Η.Π.Α., η Αυστραλία και η Γερμανία αρχίζουν να ενσωματώνουν τέτοιου είδους τεχνολογίες ολοένα και περισσότερο στον πρωτογενή τους τομέα (Zhang & Kovacs, 2012) (Iost Filho, de Bastos Pazini, Alves, Koch, & Yamamoto, 2022).

Η εφαρμογή τέτοιων τεχνολογιών έχει πολλά προτερήματα έναντι των συμβατικών μεθόδων καταγραφής φυτικών ασθενειών ή καταμέτρησης προσβολής εντόμων στον αγρό. Αρχικά, η χρήση των παραπάνω μηχανημάτων δίνει τη δυνατότητα γρήγορης και εύκολης επιθεώρησης της καλλιέργειας, ακόμα και σε περιπτώσεις όπου συμπτώματα δεν έχουν ακόμα εμφανιστεί (Rolfe & Scholes, 2010) (Gorbe & Calatayud, 2012). Για παράδειγμα, Έλληνες ερευνητές προσπαθώντας να εξελίξουν τη μέθοδο παρακολούθησης δάκου και άλλων δίπτερων που προσβάλουν καρπούς (fruit flies), πρόσθεσαν οπτικοηλεκτρονικούς αισθητήρες σε κλασσικές McPhail παγίδες οι οποίοι κατέγραφαν αλλά και αναγνώριζαν το εισερχόμενο είδος εντόμου, με σχεδόν 99% ακρίβεια, βάσει ανάλυσης του οπτικοακουστικού φάσματος που εξέδιδε το πτέαγμα του καθενός (Potamitis, Eliopoulos, & Rigakis, Automated Remote Insect Surveillance at a Global Scale and the Internet of Things, 2017) (Potamitis, Rigakis, Vidakis, Petousis, & Weber, 2018). Έτσι, ο γεωργός έχει τη δυνατότητα να εφαρμόσει τις επιθυμητές καλλιεργητικές μεθόδους στον κατάλληλο χρόνο αλλά και οριοθετημένα στη ζώνη προσβολής εντός της καλλιέργειας, συνεισφέροντας ταυτόχρονα στην προσπάθεια μείωσης χρήσης φυτοφαρμάκων και κατά συνέπεια την ασφάλεια των τροφίμων και την αειφόρο ανάπτυξη (Iost Filho, de Bastos Pazini, Alves, Koch, & Yamamoto, 2022). Επιπρόσθετα, είναι πλέον εφικτή η συλλογή δεδομένων από γεωγραφικά απομακρυσμένες περιοχές ή η συνεχής συλλογή δεδομένων για μεγάλα χρονικά διαστήματα, το οποίο συμβάλλει στη δημιουργία προγνωστικών μοντέλων και έξυπνων εφαρμογών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν εργαλεία από τους παραγωγούς. Ελληνικές καινοτόμες εταιρείες έχουν ήδη αναπτύξει τέτοιες εφαρμογές με μεγάλη επιτυχία (π.χ. Gaiasense, AgroApps, Pixofarm κλπ).

1.2.2 Νέες τεχνολογίες στις παγίδες εντόμων

Υπάρχει πλέον εκτεταμένη έρευνα και ανάπτυξη νέων, ευφυών παγίδων για τη συλλογή, παρακολούθηση και καταμέτρηση εντόμων εχθρών σε δένδροκαλλιέργειες. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, κλασσικές παγίδες όπως οι McPhail χρησιμοποιούνται κατά κόρον και χωρίς σημαντικές παραλλαγές και βελτιώσεις ανά τα χρόνια (Doitsidis, et al., 2017). Όμως, λόγω των μειονεκτημάτων των συμβατικών παγίδων, ερευνητές χρησιμοποιούν σύγχρονες τεχνολογίες έτσι ώστε να τις προσαρμόσουν και να τις βελτιώσουν. Έτσι υπάρχουν πλέον παγίδες απομακρυσμένης παρακολούθησης (ΠΑΠ) οι οποίες περιλαμβάνουν ψηφιακές κάμερες ή οπτικούς αισθητήρες (RGB) για τη συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο χωρίς την παρουσία φυσικού προσώπου, τη δυνατότητα αυτόματης αποθήκευσης σε Cloud ψηφιακούς αποθηκευτικούς χώρους αλλά και τη δυνατότητα αυτόματης καταμέτρησης με τη βοήθεια ευφυούς λογισμικού (Doitsidis, et al., 2017) (Qing, et al., 2020) (Ascolese, et al., 2022) (Suto, 2022).

Οι οπτικοί αισθητήρες RGB συλλέγουν πληροφορίες στο ορατό φάσμα της ακτινοβολίας (400-700 nm : blue (455-495 nm), green (540-580 nm), red (658-678 nm) bands). Είναι συγκριτικά χαμηλού κόστους και μπορούν να έχουν υψηλή διακριτική ικανότητα ανάλογα με τα pixels που διαθέτουν (12 MPixels ή και παραπάνω), κάνοντας έτσι εφικτή την οπτική αναγνώριση προσβολών, ασθενειών και εχθρών (Maes & Steppe, 2019) (Iost Filho, Heldens, Kong, & de

Lange, 2019). Οι ψηφιακές κάμερες βρίσκονται πάνω ή μέσα στις παγίδες, ενώ για το συνολικό σύστημα χρειάζονται επίσης καλώδια διασύνδεσης με τους ψηφιακούς χώρους αποθήκευσης των φωτογραφιών, μπαταρίες ή φωτοβολταϊκά συστήματα φόρτισης (Preti, Verheggen, & Angeli, Insect pest monitoring with camera-equipped traps: strengths, 2021). Παγίδες εξοπλισμένες με ψηφιακές κάμερες έχουν χρησιμοποιηθεί όχι μόνο για λεπιδόπτερα και δίπτερα έντομα, αλλά και για κολεόπτερα (Preti, Verheggen, & Angeli, Insect pest monitoring with camera-equipped traps: strengths, 2021). Μία βασική διαφορά μεταξύ των παγίδων McPhail και των ΠΑΠ είναι το εύρος χρήσης τους. Συνήθως, οι παγίδες McPhail χρησιμοποιούν προσελκυστικές ουσίες που μπορεί να είναι αποδοτικές σε συγκεκριμένες ομάδες εντόμων, όπως τα λεπιδόπτερα, ενώ οι παγίδες με κάμερες προσφέρουν ευελιξία για διάφορους ερευνητικούς σκοπούς (οικολογία, πληθυσμών εντόμων), καθώς μπορούν να ταυτοποιήσουν μεγάλο εύρος εντόμων βάσει οπτικών ή θερμικών ερεθισμάτων.

2 Σκοπός μελέτης

Η παρακολούθηση ενός αγρού αποτελεί μια χρονοβόρα και επίπονη, για τον γεωπύνο, διαδικασία η οποία πρέπει να επαναλαμβάνεται συχνά κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Περιλαμβάνει υψηλά κόστη, περιορισμένη παρακολούθηση σε περιοχές με δύσκολη πρόσβαση, χαμηλή απόδοση λόγω μικρού δειγματοληπτικού εύρους και καθυστερήσεις στη λήψη αποφάσεων από τη συλλογή των δεδομένων μέχρι και την ανάλυσή τους (Preti et al., 2021b). Η σύγχρονη τεχνολογία της τηλεπισκόπησης (remote sensing) έρχεται να αντικαταστήσει την διαδικασία της παρακολούθησης ενός αγρού κάνοντάς την πιο γρήγορη, εύκολη και δίνοντας καλύτερα αποτελέσματα. Ο σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν η παρακολούθηση του πληθυσμού του δάκου (*Bactrocera oleae*) με τη χρήση παγίδων απομακρυσμένης παρακολούθησης σε επιλεγμένους ελαιώνες, η εκτίμηση της αποτελεσματικότητας αυτών και η σύγκρισή τους με συμβατικές παγίδες τύπου McPhail.

3 Υλικά και μέθοδοι

Η πειραματική μελέτη πραγματοποιήθηκε το καλοκαίρι έως και φθινόπωρο του 2021 στην περιοχή Γούβες και Μολάοι Λακωνίας, Κιάτο Κορινθίας, Ροδοβάνι Χανίων και Άδελε Ρεθύμνης. Το καλοκαίρι έως και το φθινόπωρο του 2022 η μελέτη πραγματοποιήθηκε στις περιοχές Γούβες, Μολάοι, Κροκεές και Παλαιοπαναγιά Λακωνίας, Κιάτο Κορινθίας και Άδελε Ρεθύμνου.

3.1 Τοποθέτηση παγίδων

Σε κάθε περιοχή τοποθετήθηκαν υ παγίδες απομακρυσμένης παρακολούθησης (ΠΑΠ) και παγίδες τύπου McPhail. Οι παγίδες αυτές τοποθετήθηκαν περίπου σε απόσταση 20 δέντρων μεταξύ τους με σκοπό τη μεγαλύτερη κάλυψη του κάθε ελαιώνα.

Οι παγίδες απομακρυσμένης παρακολούθησης αποτελούνταν από προσελκυστικό το οποίο περιλάμβανε θειική αμμωνία και φερομόνη φύλου τα οποία στόχευαν στη σύλληψη ενήλικων ατόμων και από μία κίτρινη κολλητική παγίδα στην οποία προσκολλούσαν τα ενήλικα αυτά άτομα. Οι παγίδες επίσης διέθεταν και έναν οπτικό αισθητήρα, ο οποίος κατέγραφε την εικόνα της κολλητικής παγίδας μία φορά την ημέρα και την έστελνε μέσω δικτύου κινητής τηλεφωνίας σε διακομιστή από τον οποίον στη συνέχεια γινόταν συλλογή των φωτογραφιών αυτών. Κάποιες παγίδες είχαν κάμερα με 5 Megapixel και κάποιες με 13 Megapixel. Οι κάμερες των 5 Megapixel ήταν ενεργειακά αυτοδύναμες λόγω της παρουσίας ατομικού για την κάθε μία ηλιακού συλλέκτη (φωτοβολταϊκού) που ήταν συνδεδεμένο με μπαταρία NiMH. Στις κάμερες με τα 13 Megapixel υπήρχε και τροφοδοτικό μπαταρίας (powerbank) 10000mah το οποίο ήταν συνδεδεμένο με το φωτοβολταϊκό και με την κάμερα ταυτόχρονα. Για την αποφυγή της πτώσης της μπαταρίας του powerbank κάθε δύο εβδομάδες γινόταν έλεγχος και σε περίπτωση ανάγκης πραγματοποιούσαμε αντικατάστασή του με ένα πλήρες φορτισμένο. Οι συγκεκριμένες παγίδες ήταν σχεδιασμένες και κατασκευασμένες από το προσωπικό του Ινστιτούτου Ελιάς, Υποτροπικών Φυτών και Αμπέλου Χανίων (ΙΕΛΥΑ), το οποίο ανήκει στον ΕΛΓΟ 'Δήμητρα'.



Εικόνα 5: Παγίδα απομακρυσμένης παρακολούθησης με κάμερα 13Μpixels κρεμασμένη σε ελαιόδεντρο. (Φωτογραφία του συγγραφέα)



Εικόνα 6: Παγίδα απομακρυσμένης παρακολούθησης με κάμερα 13Μpixels μαζί με το φωτοβολταϊκό κρεμασμένη σε ελαιόδεντρο. (Φωτογραφία του συγγραφέα)



Εικόνα 7: Το μέρος της παγίδας απομακρυσμένης παρακολούθησης όπου βρίσκεται η κολλητική παγίδα. (Φωτογραφία του συγγραφέα)



Εικόνα 8: Λεπτομερή αποτύπωση εσωτερικού τμήματος παγίδας απομακρυσμένης παρακολούθησης 13Μpixels. Αριστερά φωτοβολταϊκό που φορτίζει το Power bank που βρίσκεται στη μέση και το οποίο δίνει ενέργεια στο κινητό που βρίσκεται στα δεξιά (Φωτογραφία του συγγραφέα)



Εικόνα 9: Παγίδα απομακρυσμένη παρακολούθησης με κάμερα 5Μpixels κρεμασμένη σε ελαιόδεντρο. (Φωτογραφία του συγγραφέα)



Εικόνα 10: Παγίδα απομακρυσμένης παρακολούθησης με κάμερα 5Μpixels μαζί με το φωτοβολταϊκό κρεμασμένη σε ελαιόδεντρο. (Φωτογραφία του συγγραφέα)

Ως μάρτυρας χρησιμοποιήθηκαν συμβατικές παγίδες McPhail οι οποίες αγοράστηκαν από γεωπονικό κατάστημα στην περιοχή Σπάρτη Λακωνίας όπου οι υπεύθυνοι γεωπόνοι είναι η Γιαννακάκη Ειρήνη και ο Παναγιωτούνης Βασίλης. Για προσελκυστικό, το οποίο προμηθευτήκαμε από το ίδιο κατάστημα, χρησιμοποιήθηκε το σκεύασμα με εμπορική ονομασία Dacus and Med fly attractant (προσελκυστικό δάκου και μεσογειακής μύγας) της εταιρίας Stac E.Π.Ε. το οποίο ήταν σε μορφή σκόνης. Το σκεύασμα αυτό στη συνέχεια αραιώθηκε σε νερό και δημιουργήθηκε το υδατικό διάλυμα με το οποίο γέμισαν οι παραπάνω παγίδες.



Εικόνα 11: Προσελκυστικό σκεύασμα δάκου και μύγα της μεσογείου.



Εικόνα 12: Παγίδα McPhail (Φωτογραφία του συγγραφέα)



Εικόνα 13: Κρεμασμένη παγίδα McPhail σε ελαιώνα. (Φωτογραφία του συγγραφέα)

Τα δύο είδη παγίδων χρησιμοποιήθηκαν ισάριθμα σε όλους τους ελαιώνες. Κάθε 7-10 ημέρες πραγματοποιούνταν επιτόπιες δειγματοληψίες σε κάθε χωράφι. Στη συνέχεια γινόταν καταμέτρηση των ενήλικων ατόμων που είχαν συλληφθεί από τις παραπάνω παγίδες, διαχωρισμός των αρσενικών και θηλυκών και σύγκριση της αποδοτικότητας των δύο διαφορετικών ειδών παγίδων μεταξύ τους.

3.2 Χαρτογράφηση ελαιώνα Κιάτου Κορινθίας

Στην περιοχή του ελαιώνα που βρισκόταν στο Κιάτο πραγματοποιήθηκε μια πτήση με το ΣμηΕΑ Mera για την χαρτογράφησης του.

Το ΣμηΕΑ Mera διαθέτει τέσσερις έλικες, είναι κατασκευασμένο από ανθρακόνημα αλουμινίου και πλαστικό, έχει ως μέγιστο βάρος απογείωσης τα 5kg και διαθέτει δυνατότητα χειρισμού έως και 12km μακριά.

Πάνω στο ΣμηΕΑ είχε τοποθετηθεί η πολυφασματική κάμερα Micasense RedEdge. Η συγκεκριμένη κάμερα διαθέτει πέντε ζώνες φάσματος: blue, green, red, red edge και NIR. Παράλληλα διαθέτει και global shutter για τις RGB φωτογραφίες το οποίο σημαίνει ότι κάθε ρίxel της φωτογραφίας λαμβάνεται την ίδια χρονική στιγμή. Επίσης είναι σε θέση να βγάζει φωτογραφίες ανά δευτερόλεπτο για όλες τις ζώνες του φάσματος που διαθέτει. Τέλος διαθέτει ενσωματωμένο GPS.

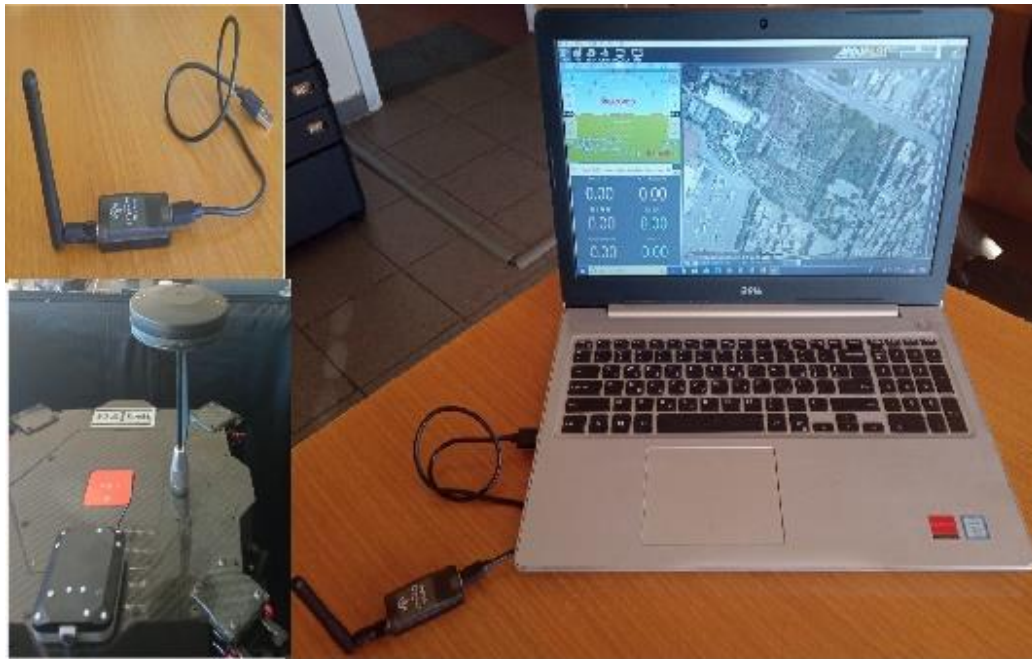


Εικόνα 14: ΣμηΕΑ Mera με κλειστές τις έλικες. (Φωτογραφία του συγγραφέα)



Εικόνα 15: ΣμηΕΑ Mera στον ελαιώνα πριν την πτήση με ανοιχτές έλικες.
(Φωτογραφία του συγγραφέα)

Για τα πραγματοποιηθεί η πτήση έπρεπε πρώτα να γίνει ο σχεδιασμός της. Αυτό πραγματοποιήθηκε μέσω ενός προγράμματος το οποίο ονομάζεται Mission Planner της εταιρίας ArduPilot. Η σύνδεση μεταξύ του ΣμηΕΑ και του προγράμματος αυτού γίνεται μέσω της τηλεμετρίας η οποία είναι συνδεδεμένη με τον υπολογιστή. Μέσω αυτής το ΣμηΕΑ είναι σε θέση να ανταλλάσσει δεδομένα ασύρματα με τον υπολογιστή.



Εικόνα 16: Πάνω δεξιά της φωτογραφίας είναι το καλώδιο της τηλεμετρίας που συνδέεται στον υπολογιστή. Κάτω αριστερά ο πιλότος του ΣμηΕΑ Mera που δέχεται και στέλνει τα δεδομένα στον υπολογιστή. Στα δεξιά είναι ο υπολογιστής στον οποίο έχει συνδεθεί η τηλεμετρία και στην οθόνη του υπολογιστή απεικονίζεται το πρόγραμμα Mission Planner. (Φωτογραφία από Αραπποστάθη Ευαγγελία)

Η πτήση πραγματοποιήθηκε στις 14 Σεπτεμβρίου 2021 το μεσημέρι έτσι ώστε ο ήλιος να βρίσκεται πάνω από τα δέντρα και να υπάρχουν όσο το δυνατό λιγότερες σκιές. Τα στοιχεία της πτήσης ήταν τα εξής: ταχύτητα ΣμηΕΑ 5m/s, λήψη φωτογραφιών 1 κάθε 2 δευτερόλεπτα, ύψος πτήσης 80m,

Ο πιλότος του ΣμηΕΑ ήταν ο μεταπτυχιακός φοιτητής Κάρελλας Κωνσταντίνος και ο συγκυβερνήτης του ο επίκουρος καθηγητής Τσαγκαράκης Αντώνιος, οι οποίοι είναι εκπαιδευμένοι και διαθέτουν πτυχίο χειριστή ΣμηΕΑ με βάση την υπάρχουσα νομοθεσία της Αρχής Πολιτικής Αεροπορίας (ΑΠΑ).

Στη συνέχεια έγινε εξαγωγή των φωτογραφιών που είχαν ληφθεί από τη πολυφασματική κάμερα και φορτώθηκαν στο πρόγραμμα Metashape και QGIS. Μέσω των προγραμμάτων αυτών είναι εφικτή η δημιουργία χαρτών του εδάφους που με την επεξεργασία όλων των δεδομένων είμαστε σε θέση να λαμβάνουμε πληροφορίες για την τοπογραφία του εδάφους, τα φυτά στην επιφάνεια του εδάφους, την ηλιακή ακτινοβολία κτλ.

Στατιστική ανάλυση

Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν εισήχθησαν στο λογισμικό λογιστικών φύλλων Excel 365. Με αυτά έγιναν οι υπολογισμοί μέσω όρων και τυπικού σφάλματος και κατασκευάστηκαν τα ανάλογα διαγράμματα στο ίδιο λογισμικό. Για τις συγκρίσεις των μέσων των πληθυσμών που συλλέχθηκαν στους δύο τύπους παγίδων χρησιμοποιήθηκε το Student's t-test ($\alpha=0,05$), ύστερα από λογαριθμική μετατροπή των δεδομένων. Για όλα τα παραπάνω χρησιμοποιήθηκαν τα λογισμικά JMP 16 και GraphPad Prism 9.

4 Αποτελέσματα

Στη συνέχεια φαίνονται ενδεικτικές φωτογραφίες που στάλθηκαν στον διακομιστή (server) από τις παγίδες ΠΑΠ από κάθε μία περιοχή.



Εικόνα 17 :Φωτογραφική απεικόνιση των δεδομένων από παγίδα ΠΑΠ με κάμερα 5MPixels από την περιοχή Κροκεές Λακωνίας. Στον κόκκινο κύκλο περιέχονται τα άτομα που είχαν συλληχθεί μέχρι εκείνη την ημέρα στην κολλητική παγίδα όπου τραβήχτηκε η φωτογραφία.



Εικόνα 18:Φωτογραφική απεικόνιση των δεδομένων από παγίδα ΠΑΠ με κάμερα 5MPixels από την περιοχή Κροκεές Λακωνίας. Στον κόκκινο κύκλο περιέχονται τα άτομα που είχαν συλληχθεί μέχρι εκείνη την ημέρα στην κολλητική παγίδα όπου τραβήχτηκε η φωτογραφία.



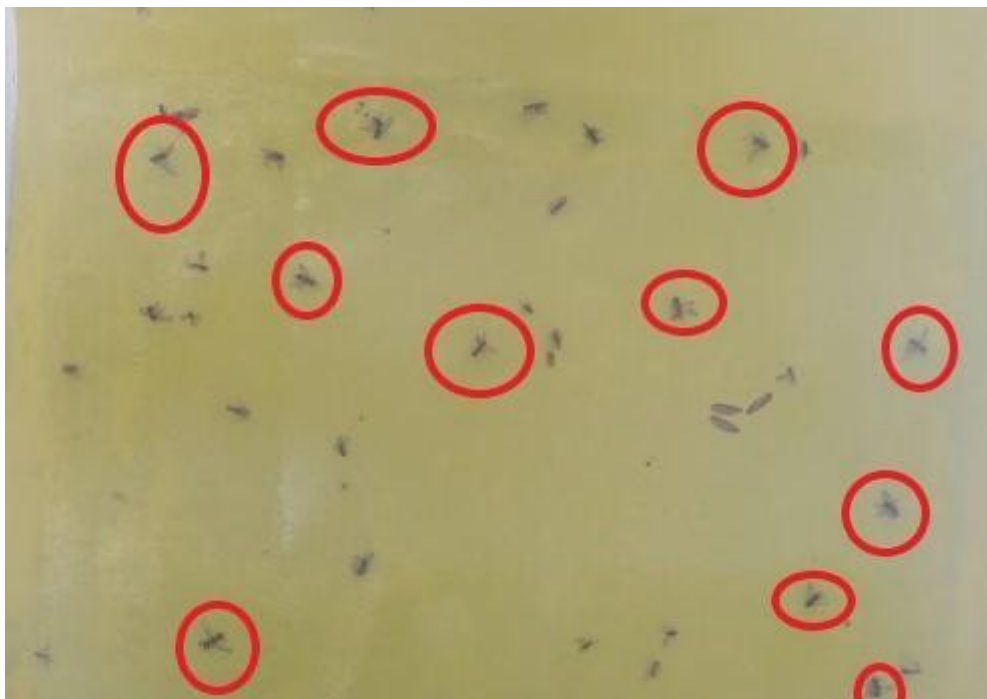
Εικόνα 19: Φωτογραφική απεικόνιση των δεδομένων από παγίδα ΠΑΠ με κάμερα 5MPixels από την περιοχή Κροκεές Λακωνίας. Στον κόκκινο κύκλο περιέχονται τα άτομα που είχαν συλληχθεί μέχρι εκείνη την ημέρα στην κολλητική παγίδα όπου τραβήχτηκε η φωτογραφία.



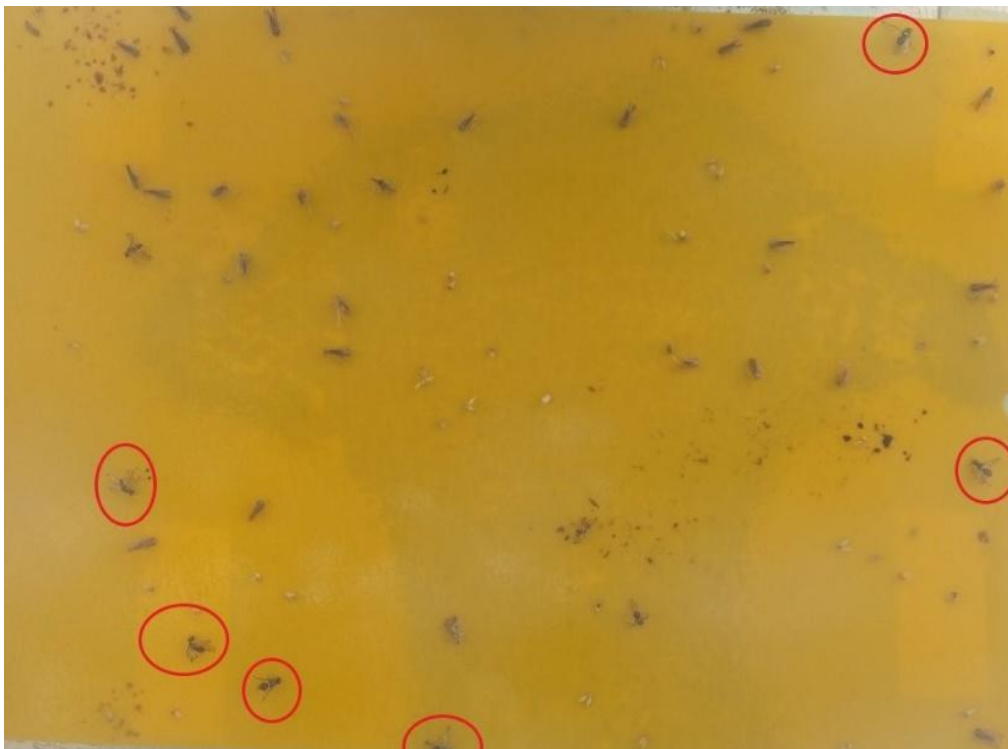
Εικόνα 20: Φωτογραφική απεικόνιση των δεδομένων από παγίδα ΠΑΠ με κάμερα 13MPixels από την περιοχή Γούβες Λακωνίας. Στον κόκκινο κύκλο περιέχονται τα άτομα που είχαν συλληχθεί μέχρι εκείνη την ημέρα στην κολλητική παγίδα όπου τραβήχτηκε η φωτογραφία.



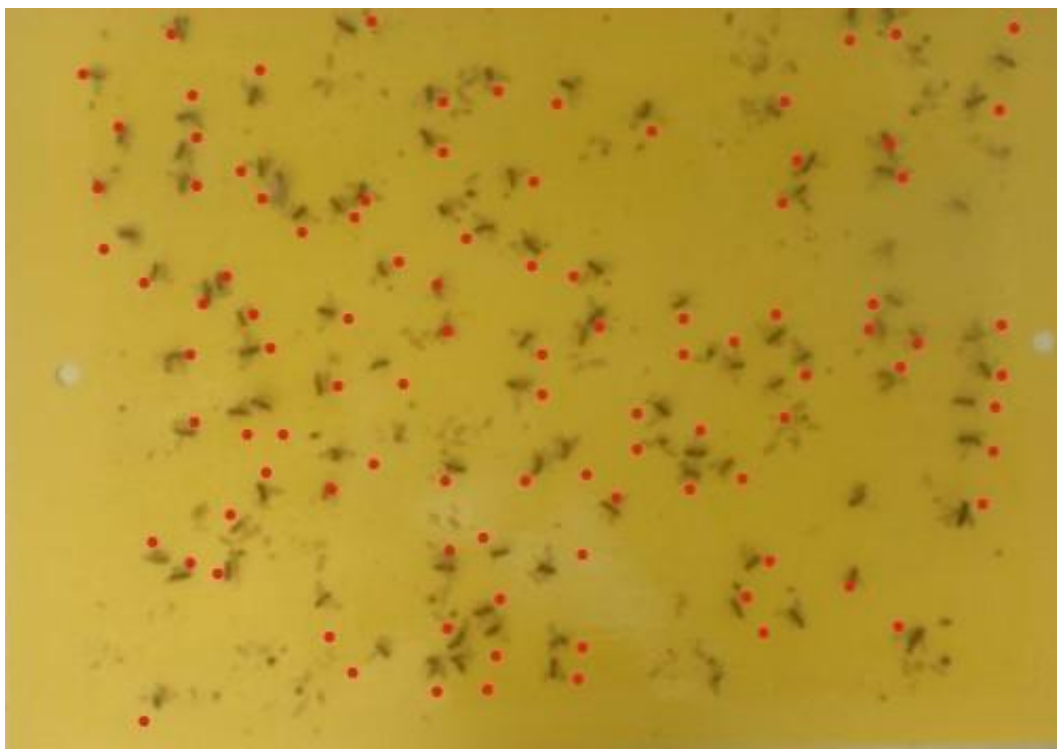
Εικόνα 21: Φωτογραφική απεικόνιση των δεδομένων από παγίδα ΠΑΠ με κάμερα 13MPixels από την περιοχή Μολάοι Λακωνίας. Στον κόκκινο κύκλο περιέχονται τα άτομα που είχαν συλλεχθεί μέχρι εκείνη την ημέρα στην κολλητική παγίδα όπου τραβήχτηκε η φωτογραφία.



Εικόνα 22: Φωτογραφική απεικόνιση των δεδομένων από παγίδα ΠΑΠ με κάμερα 13MPixels από την περιοχή Παλαιοπαναγιά Λακωνίας. Στον κόκκινο κύκλο περιέχονται τα άτομα που είχαν συλλεχθεί μέχρι εκείνη την ημέρα στην κολλητική παγίδα όπου τραβήχτηκε η φωτογραφία.



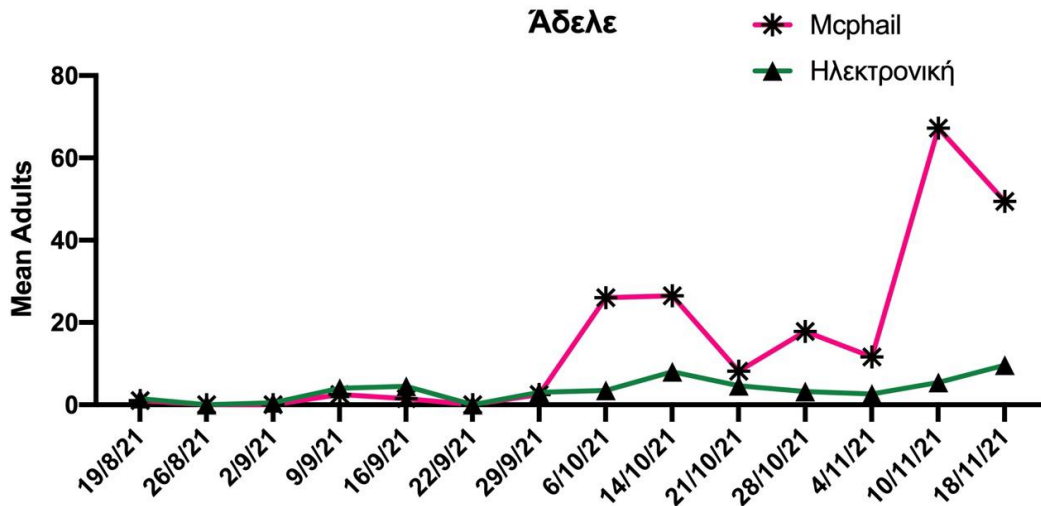
Εικόνα 23: Φωτογραφική απεικόνιση των δεδομένων από παγίδα ΠΑΠ με κάμερα 13MPixels από την περιοχή Κιάτο Κορινθίας. Στον κόκκινο κύκλο περιέχονται τα άτομα που είχαν συλλεχθεί μέχρι εκείνη την ημέρα στην κολλητική παγίδα όπου τραβήχτηκε η φωτογραφία.



Εικόνα 23: Φωτογραφική απεικόνιση των δεδομένων από παγίδα ΠΑΠ με κάμερα 13MPixels από την περιοχή Άδελε Ρεθύμνου. Στις κόκκινες τελείες περιέχονται τα άτομα που είχαν συλλεχθεί μέχρι εκείνη την ημέρα στην κολλητική παγίδα όπου τραβήχτηκε η φωτογραφία.

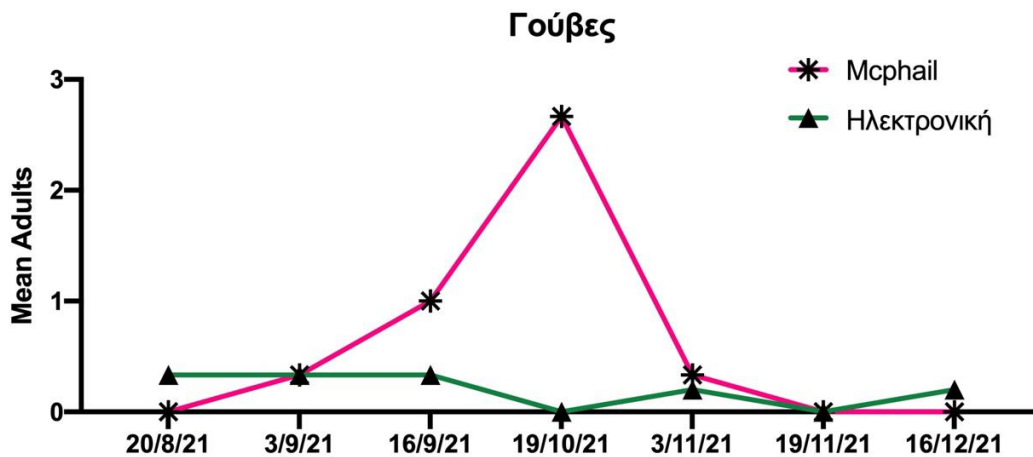
Στα παρακάτω διαγράμματα 1 έως 10 παρατίθεται η διακύμανση του πληθυσμού των ενήλικων ατόμων του δάκου σε κάθε μία περιοχή από όταν εγκαταστάθηκαν οι παγίδες μέχρι και τη συλλογή τους.

Για το 2021:



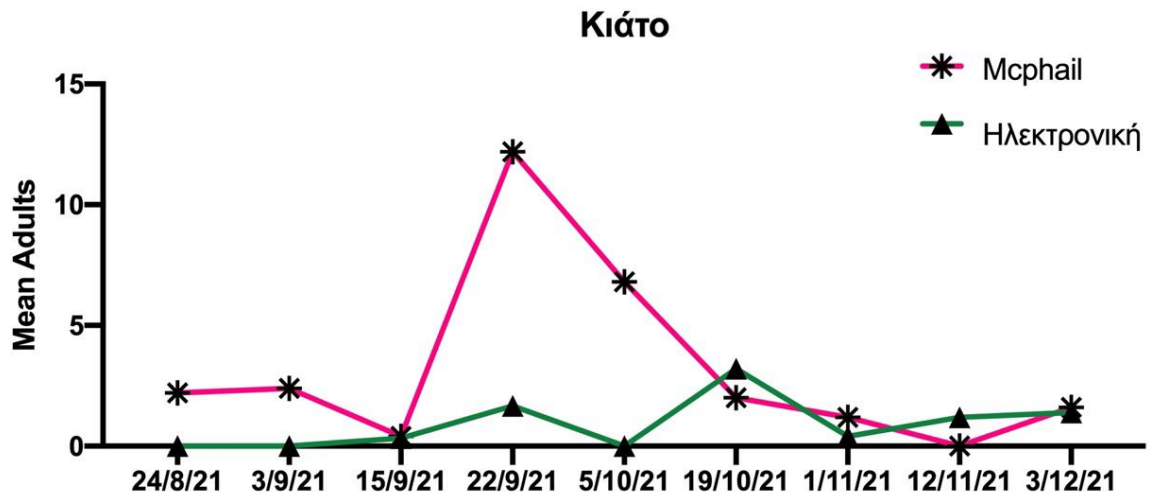
Διάγραμμα 1. Διακύμανση ενήλικου πληθυσμού (Μ.Ο.) του δάκου της ελιάς, όπως αυτός παρατηρήθηκε με συμβατικές παγίδες τύπου McPhail και ΠΑΠ, σε ελαιώνα στην περιοχή Άδελε Ρεθύμνης κατά το 2021.

Στο διάγραμμα 1 παρατηρείται ότι στο Άδελε Ρεθύμνης, κατά τις δειγματοληψίες ότι ο πληθυσμός των συλληφθέντων ατόμων στις παγίδες McPhail είναι σχεδόν παρόμοιος με αυτών από τις ΠΑΠ. Ακόμα και όταν παρατηρείται αύξηση των συλληφθέντων ατόμων στις McPhail παρατηρείται επίσης αύξηση, αν και μικρότερη, και στις συλλήψεις των ΠΑΠ.



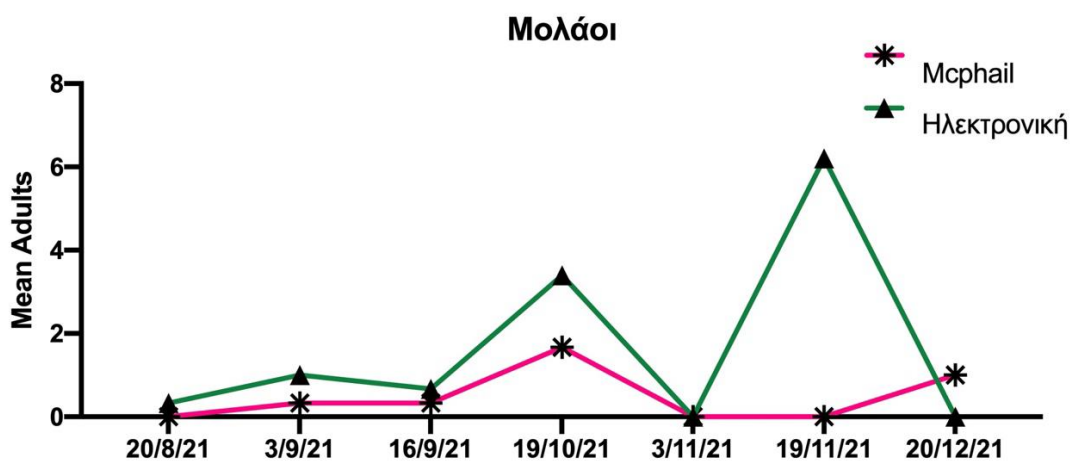
Διάγραμμα 2. Διακύμανση ενήλικου πληθυσμού (Μ.Ο.) του δάκου της ελιάς, όπως αυτός παρατηρήθηκε με συμβατικές παγίδες τύπου McPhail και ΠΑΠ, σε ελαιώνα στην περιοχή Γούβες Λακωνίας κατά το 2021.

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούνται αρχικά ελάχιστες συλλήψεις ενήλικων ατόμων και στα δύο είδη των παγίδων. Στη συνέχεια είναι ξεκάθαρο ότι η διαφορά στα συλληφθέντα ενήλικα άτομα μεταξύ των παγίδων McPhail και των ΠΑΠ είναι πάρα πολύ μικρή.



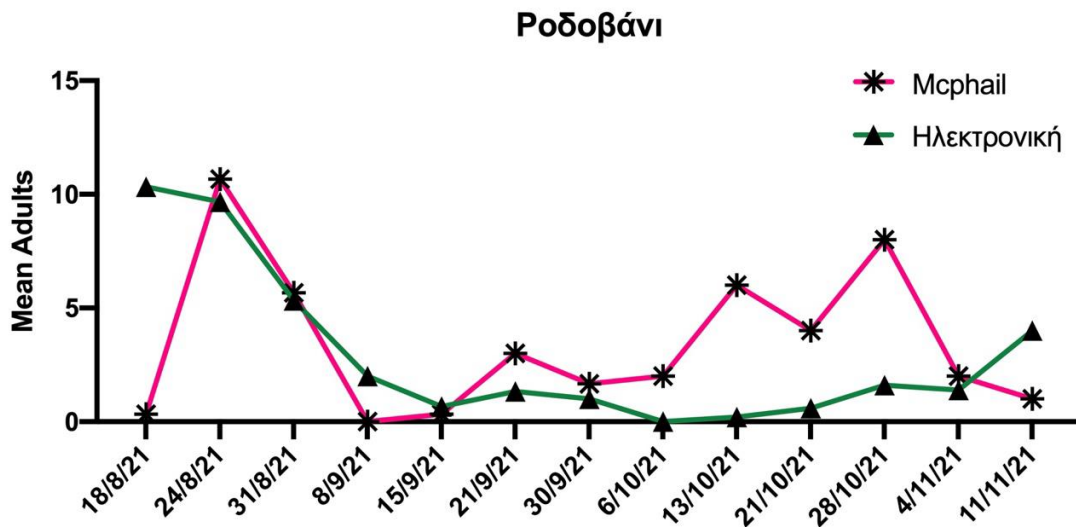
Διάγραμμα 3. Διακύμανση ενήλικου πληθυσμού (Μ.Ο.) του δάκου της ελιάς, όπως αυτός παρατηρήθηκε με συμβατικές παγίδες τύπου McPhail και ΠΑΠ, σε ελαιώνα στην περιοχή Κιάτου Κορινθίας κατά το 2021.

Στην περιοχή του Κιάτου φαίνονται παρόμοια μεγέθη συλληφθέντων πληθυσμών και στα δύο είδών. Η μόνη μεγαλύτερη αλλά και πάλι όχι πολύ μεγάλη διαφορά παρατηρείται κατά την περίοδο του Σεπτεμβρίου όπου ο πληθυσμός των παγίδων McPhail είναι μεγαλύτερος.



Διάγραμμα 4. Διακύμανση ενήλικου πληθυσμού (Μ.Ο.) του δάκου της ελιάς, όπως αυτός παρατηρήθηκε με συμβατικές παγίδες τύπου McPhail και ΠΑΠ, σε ελαιώνα στην περιοχή Μολάων Λακωνίας κατά το 2021.

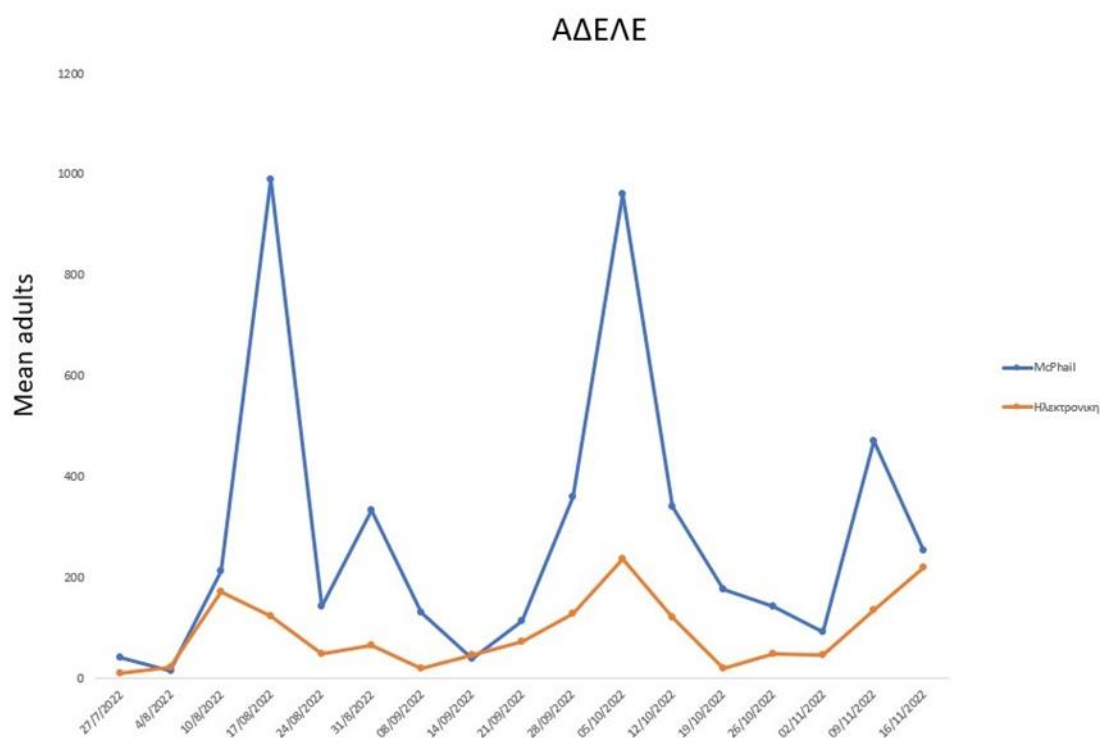
Στην περιοχή των Μολάων Λακωνίας όπως και στις Γούβες πιο πριν (Διάγραμμα 2) ο αριθμός των συλλήψεων και στα δύο είδη παγίδων είναι πολύ μικρός. Η διαφορά εδώ είναι ότι οι ΠΑΠ έχουν λίγες παραπάνω από ότι οι McPhail.



Διάγραμμα 5. Διακύμανση ενήλικου πληθυσμού (Μ.Ο.) του δάκου της ελιάς, όπως αυτός παρατηρήθηκε με συμβατικές παγίδες τύπου McPhail και ΠΑΠ, σε ελαιώνα στην περιοχή Ροδοβανίου Χανίων κατά το 2021.

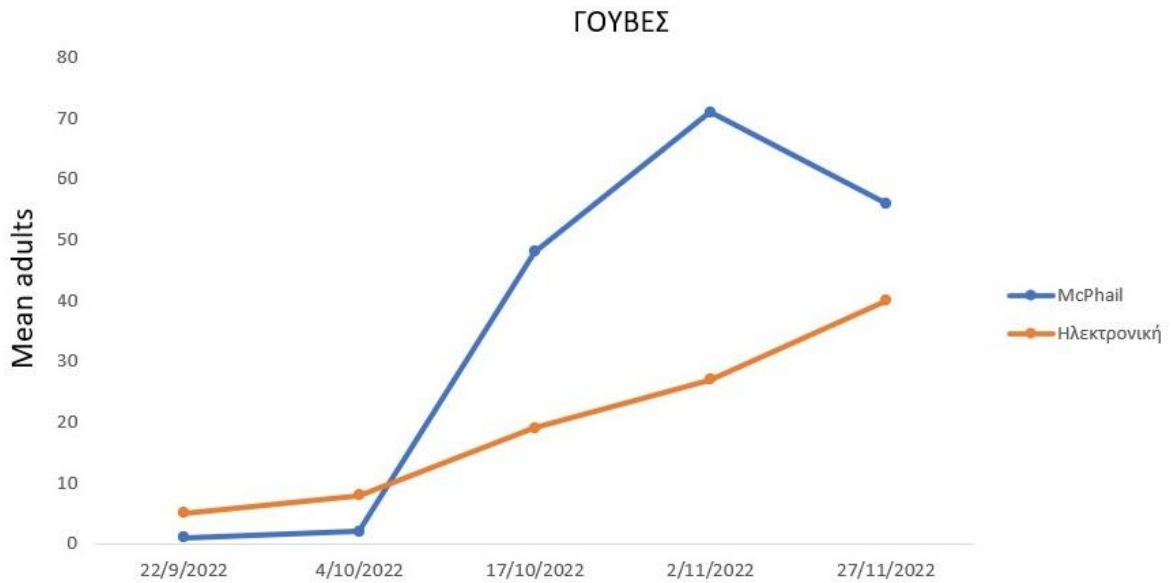
Στο παραπάνω διάγραμμα δεν παρατηρείται μεγάλη στατιστική διαφορά μεταξύ των δύο ειδών παγίδων. Όπως και σε άλλες περιοχές παρατηρείται μια παρόμοια πορεία σύλληψης και συγκέντρωσης ενήλικων ατόμων.

Για το 2022:



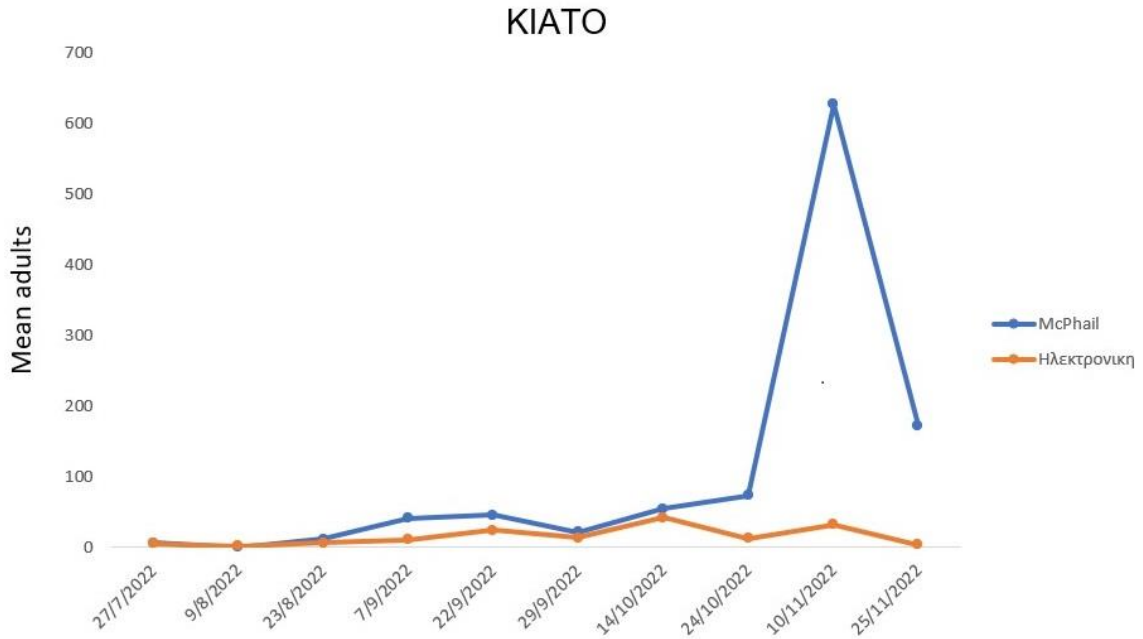
Διάγραμμα 6. Διακύμανση ενήλικου πληθυσμού (Μ.Ο.) του δάκου της ελιάς όπως αυτός παρατηρήθηκε με συμβατικές παγίδες τύπου McPhail και ΠΑΠ σε ελαιώνα στην περιοχή Άδελε Ρεθύμνου κατά το 2022.

Στο Ρέθυμνο Κρήτης φαίνεται η μεγαλύτερη διαφορά μεταξύ αυτών των παγίδων. Όπως είναι κατανοητό οι παγίδες McPhail παρουσιάζουν αρκετά μεγαλύτερο πληθυσμό δάκου από ότι οι ΠΑΠ. Παρ' όλ' αυτά παρατηρείται μία παρόμοια συμπεριφορά κατά τις συλλήψεις και στα δύο είδη παγίδων. Πιο συγκεκριμένα φαίνεται ότι όταν υπάρχει είτε μείωση είτε αύξηση στη συγκέντρωση ατόμων στις παγίδες McPhail παρόμοια συμπεριφέρονται έχουν και οι ΠΑΠ.



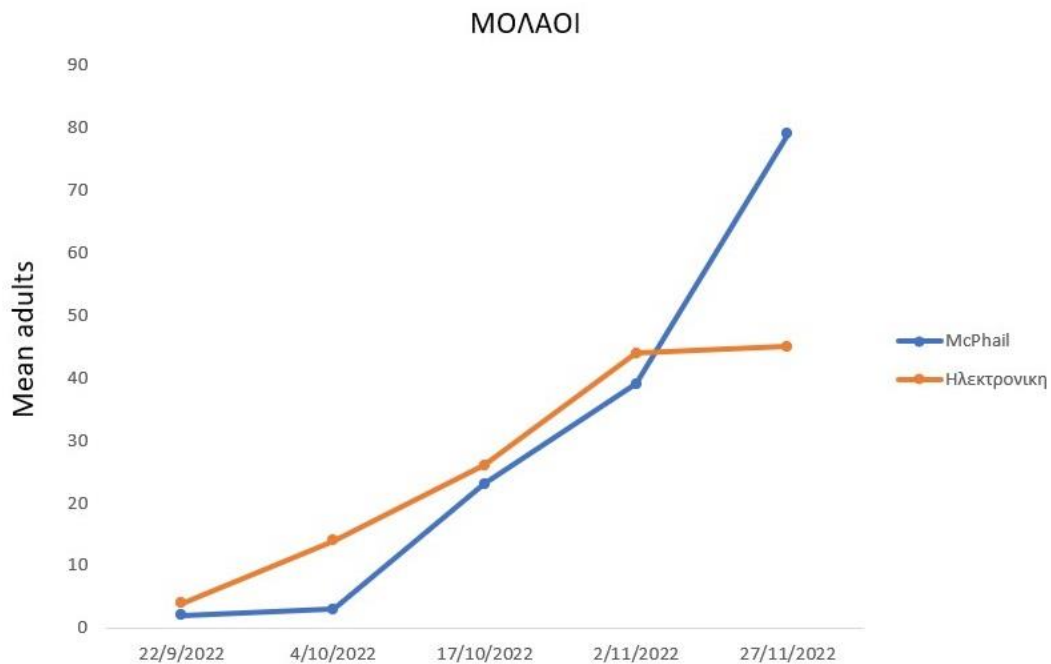
Διάγραμμα 7. Διακύμανση ενήλικου πληθυσμού (Μ.Ο.) του δάκου της ελιάς όπως αυτός παρατηρήθηκε με συμβατικές παγίδες τύπου McPhail και ΠΑΠ σε ελαιώνα στην περιοχή Γούβες Λακωνίας κατά το 2022.

Στις Γούβες Λακωνίας ο πληθυσμός των συλληφθέντων ατόμων είναι συνεχώς μεγαλύτερος στις παγίδες McPhail. Παρ' όλ' αυτά παρατηρείται μία συνεχόμενη αύξηση του πληθυσμού των ενηλίκων που συλλέχθηκαν από τις ΠΑΠ. Τέλος Νοεμβρίου παρατηρείται και πολύ μικρή διαφορά συλληφθέντων ατόμων μεταξύ των δύο ειδών παγίδων.



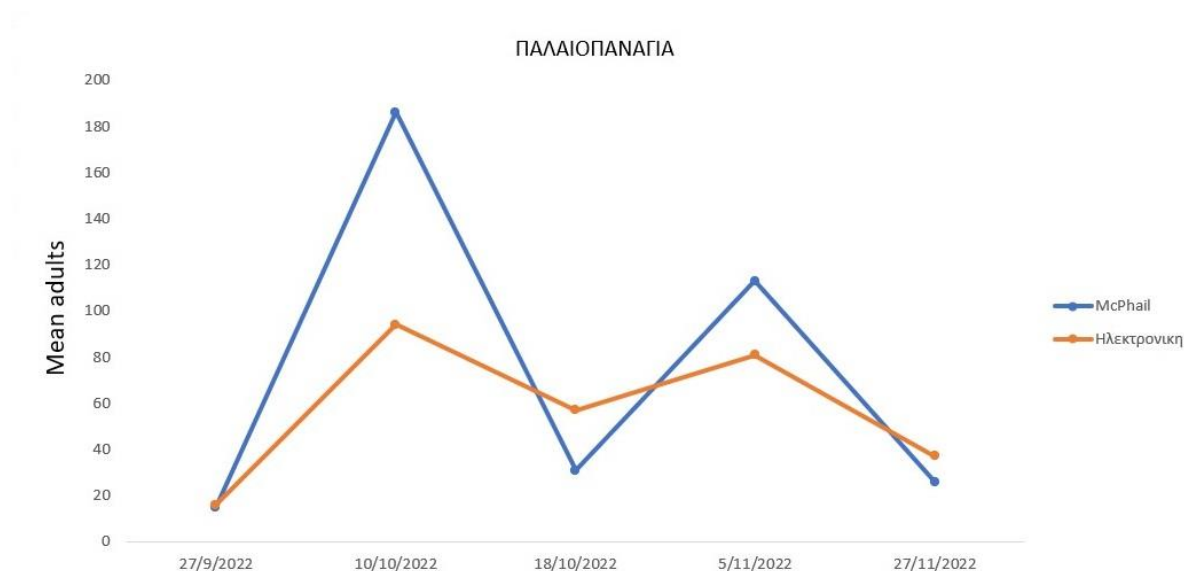
Διάγραμμα 8. Διακύμανση ενήλικου πληθυσμού (Μ.Ο.) του δάκου της ελιάς όπως αυτός παρατηρήθηκε με συμβατικές παγίδες τύπου McPhail και ΠΑΠ σε ελαιώνα στην περιοχή Κιάτο Κορινθίας κατά το 2022.

Στο Κιάτο Κορινθίας υπάρχει μία μικρή διαφορά στις συλλήψεις μεταξύ των παγίδων. Παρατηρείται επίσης μία πολύ μεγάλη έξαρση συλλήψεων στα μέσα του Νοεμβρίου από τις παγίδες McPhail.



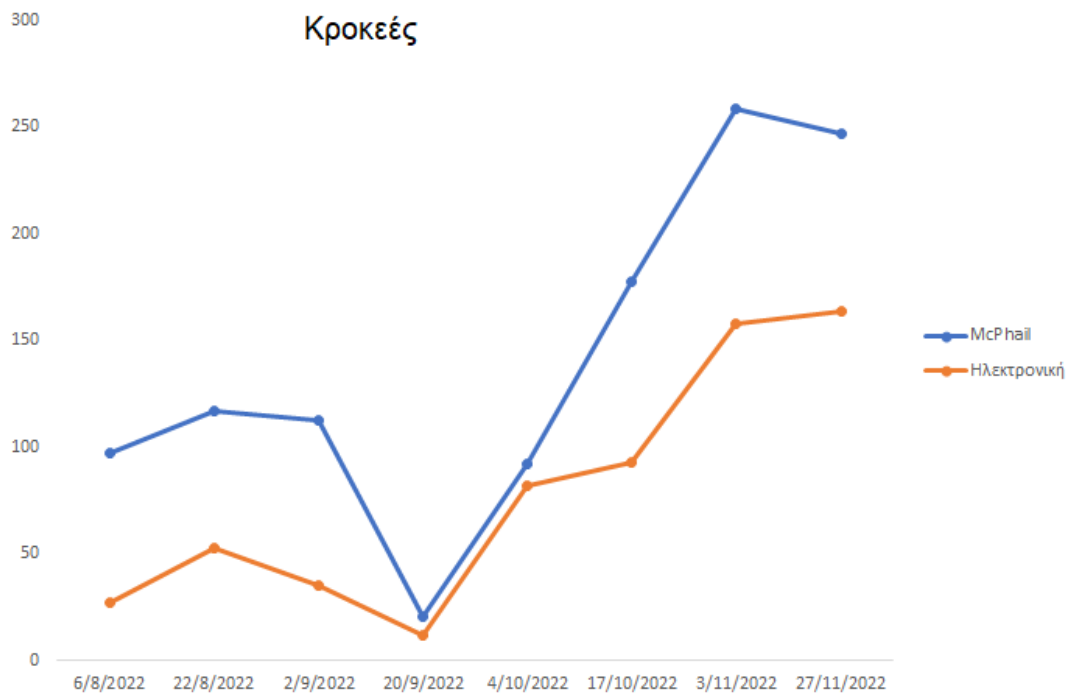
Διάγραμμα 9. Διακύμανση ενήλικου πληθυσμού (Μ.Ο.) του δάκου της ελιάς όπως αυτός παρατηρήθηκε με συμβατικές παγίδες τύπου McPhail και ΠΑΠ σε ελαιώνα στην περιοχή Μολαιοι Λακωνίας κατά το 2022.

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται έντονα η ομοιότητα του μεγέθους των συλληφθέντων ατόμων στις παγίδες ΠΑΠ και στις McPhail παρά μόνον στα τέλη του μήνα Νοέμβρη όπου παγίδες ΠΑΠ έχουν λιγότερες συλλήψεις. Όλη την υπόλοιπη περίοδο του πειράματος οι παγίδες ΠΑΠ έχουν περισσότερες συλλήψεις από ότι οι άλλες παγίδες.



Διάγραμμα 10. Διακύμανση ενήλικου πληθυσμού (Μ.Ο.) του δάκου της ελιάς όπως αυτός παρατηρήθηκε με συμβατικές παγίδες τύπου McPhail και ΠΑΠ σε ελαιώνα στην περιοχή Παλαιοπαναγιά Λακωνίας κατά το 2022.

Στο διάγραμμα απεικόνισης των συλλήψεων στην Παλαιοπαναγιά φαίνεται ότι συμβαίνει ότι συνέβαινε και στην Κρήτη (διάγραμμα 6) όπου ενώ οι συλλήψεις των παγίδων McPhail είναι περισσότερες, παρά μόνο την μέσα Οκτωβρίου που στις ΠΑΠ έχουμε περισσότερα άτομα, όταν αυξάνεται και μειώνεται ο αριθμός συλλήψεων στο ένα είδος παγίδας το ίδιο συμβαίνει και στο άλλο είδος παγίδας.



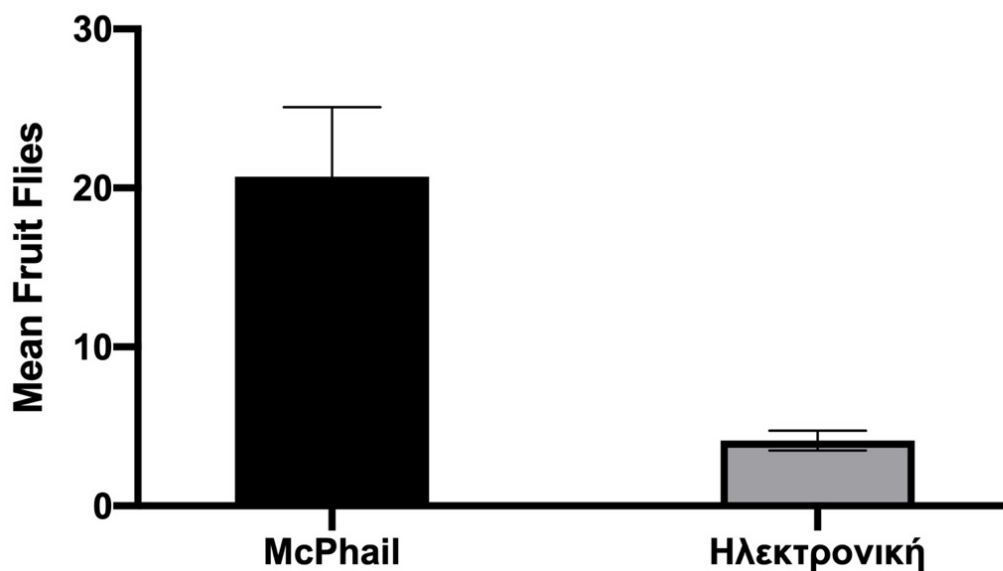
Διάγραμμα 11. Διακύμανση ενήλικου πληθυσμού (Μ.Ο.) του δάκου της ελιάς όπως αυτός παρατηρήθηκε με συμβατικές παγίδες τύπου McPhail και ΠΑΠ σε ελαιώνα στην περιοχή Κροκεές Λακωνίας κατά το 2022.

Στις Κροκεές Λακωνίας οι συλλήψεις στις παγίδες τύπου McPhail παραμένουν σε όλη τη διάρκεια του πειράματος περισσότερες ειδικά από τα μέσα Οκτωβρίου και μετά. Αυτό που είναι εμφανές είναι ότι μέσα Σεπτεμβρίου οι συλλήψεις και των δύο ειδών παγίδων είναι σχεδόν ίδιες με πολύ μικρές διαφορές.

Στα διαγράμματα 11 έως 19 φαίνεται η στατιστική ανάλυση των δειγματοληψιών (ο μέσος όρος του ενήλικου πληθυσμού και το τυπικό σφάλμα της κάθε περιοχής).

Για το 2021:

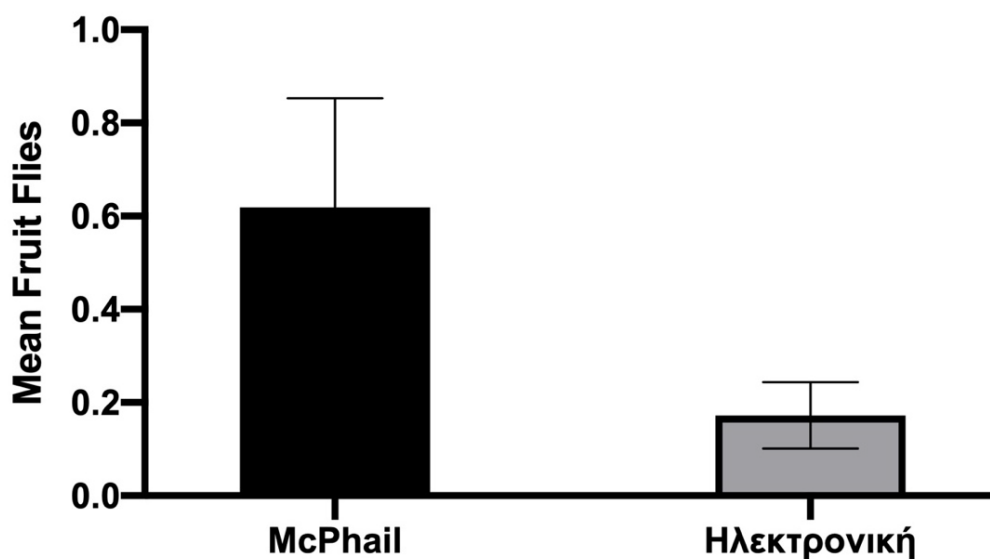
Άδελε



Διάγραμμα 12. Σύγκριση ενήλικου πληθυσμού (M.O. ± T.Σ.) του δάκου της ελιάς, όπως αυτός παρατηρήθηκε με συμβατικές παγίδες τύπου McPhail και ΠΑΠ, σε ελαιώνα στην περιοχή Άδελε Ρεθύμνης κατά το 2021 ($t=3,76$, $P<0,005$).

Από το διάγραμμα 11 παρατηρείται στατιστική διαφορά μεταξύ των συμβατικών παγίδων McPhail και των ηλεκτρονικών παγίδων. Αυτό είναι ξεκάθαρο λόγω του διαγράμματος 1 όπου οι συλλήψεις των McPhail παγίδων από το Σεπτέμβρη και μετά παρουσιάζουν άνοδο σε αντίθεση με τις ηλεκτρονικές.

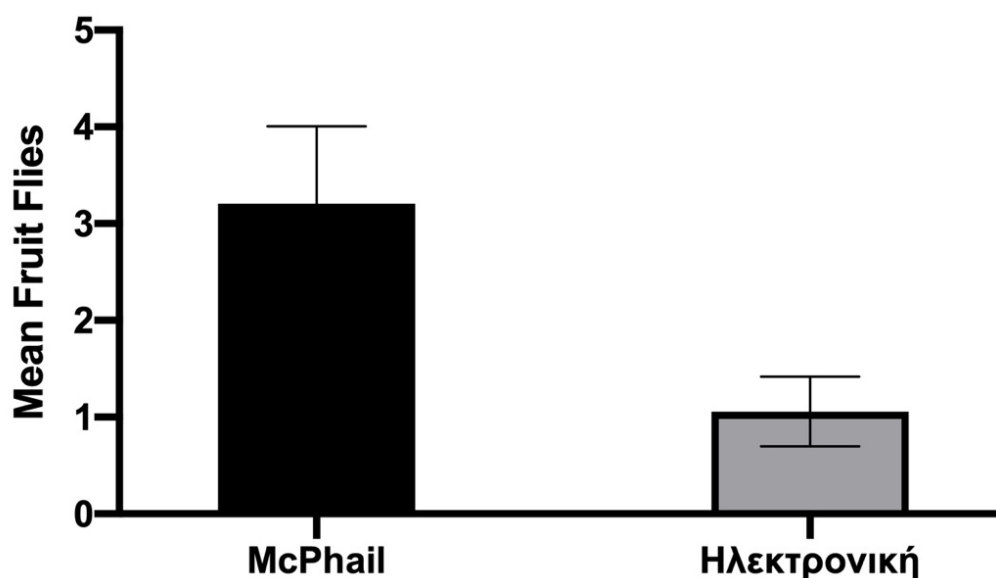
Γούβες



Διάγραμμα 13. Σύγκριση ενήλικου πληθυσμού (Μ.Ο. ± Τ.Σ.) του δάκου της ελιάς, όπως αυτός παρατηρήθηκε με συμβατικές παγίδες τύπου McPhail και ΠΑΠ, σε ελαιώνα στην περιοχή Γούβες Λακωνίας κατά το 2021 ($t=3,76$, $P<0,005$).

Η στατιστική ανάλυση στην περιοχή των Γουβών Λακωνίας είναι πάρα πολύ μικρή λόγω του μικρού αριθμού συλλήψεων και στα δύο είδη παγίδων. Επίσης η στατιστική διαφορά μεταξύ των δύο ειδών παγίδων είναι αμελητέα.

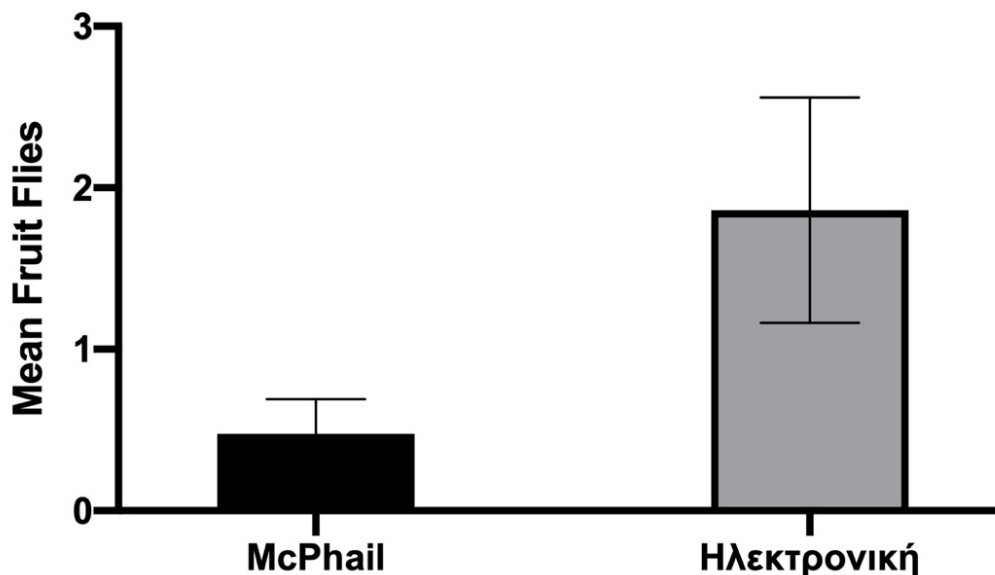
Κιάτο



Διάγραμμα 14. Σύγκριση ενήλικου πληθυσμού (Μ.Ο. ± Τ.Σ.) του δάκου της ελιάς, όπως αυτός παρατηρήθηκε με συμβατικές παγίδες τύπου McPhail και ΠΑΠ, σε ελαιώνα στην περιοχή Κιάτο Κορινθίας κατά το 2021 ($t=3,76$, $P<0,005$).

Όπως και στις προηγούμενες περιοχές έτσι και στο Κιάτο Κορινθίας παρατηρείται μικρή στατιστική διαφορά μεταξύ των παγίδων. Πάλι αυτό συμβαίνει λόγω του παρόμοιου αριθμού συλλήψεων ενήλικων ατόμων και στα δύο είδη παγίδων.

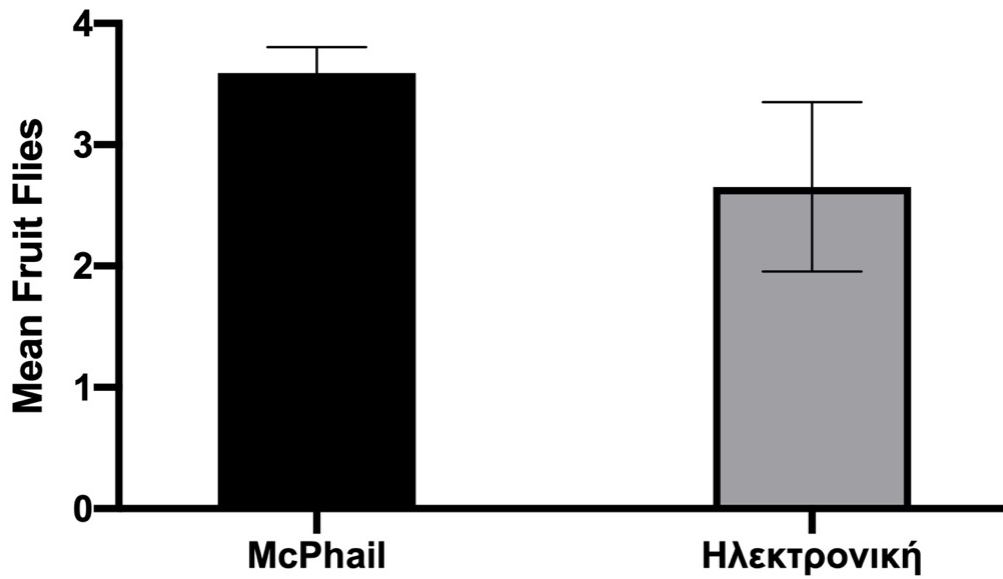
Μολάοι



Διάγραμμα 15. Σύγκριση ενήλικου πληθυσμού (Μ.Ο. ± Τ.Σ.) του δάκου της ελιάς, όπως αυτός παρατηρήθηκε με συμβατικές παγίδες τύπου McPhail και ΠΑΠ, σε ελαιώνα στην περιοχή Μολάοι Λακωνίας κατά το 2021 ($t=3,76$, $P<0,005$).

Στην περιοχή των Μολάων Λακωνίας παρατηρείται τελείως διαφορετικό από όλες τις άλλες περιοχές. Η στατιστική ανάλυση των ΠΑΠ είναι μεγαλύτερη από αυτή των παγίδων McPhail. Η στατιστική διαφορά παρ' όλ' αυτά και εδώ είναι μικρή.

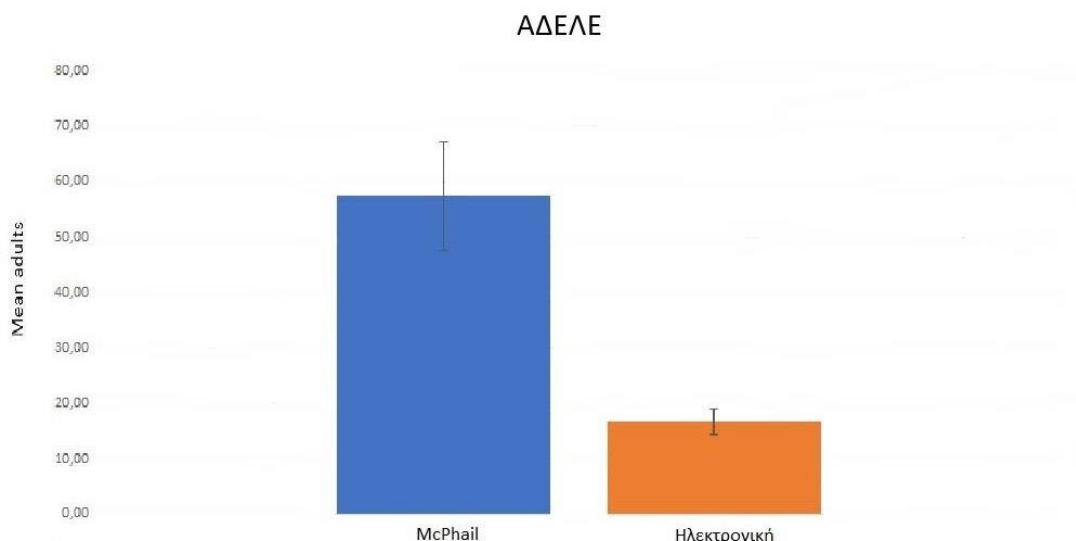
Ροδοβάνι



Διάγραμμα 16. Σύγκριση ενήλικου πληθυσμού (Μ.Ο. ± Τ.Σ.) του δάκου της ελιάς, όπως αυτός παρατηρήθηκε με συμβατικές παγίδες τύπου McPhail και ΠΑΠ, σε ελαιώνα στην περιοχή Ροδοβάνι Χανίων κατά το 2021 ($t=3,76$, $P<0,005$).

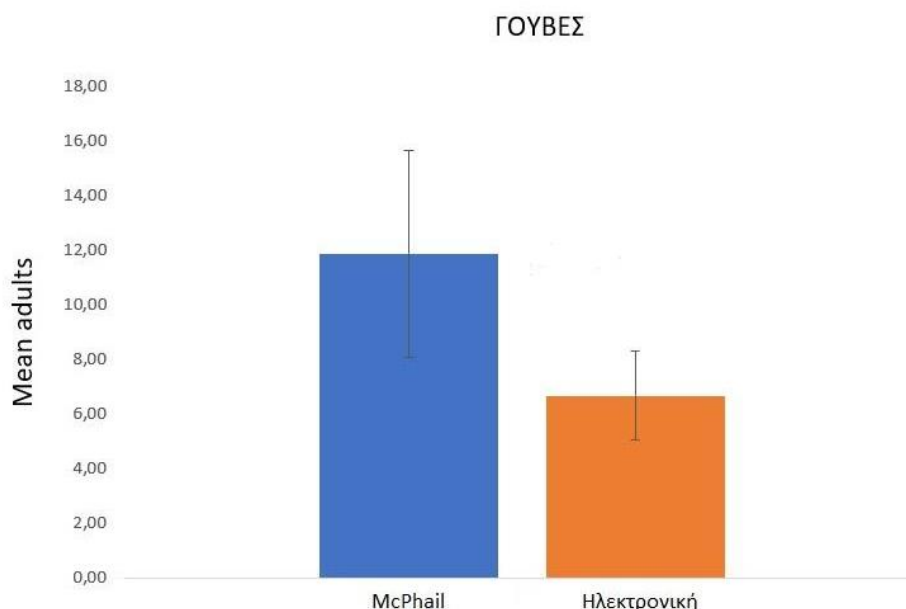
Στο διάγραμμα 16 φαίνεται ότι η στατιστική διαφορά και εδώ είναι μικρή και όπως στις περισσότερες περιοχές η συγκέντρωση των ατόμων στις παγίδες McPhail είναι περισσότερες από αυτές των ΠΑΠ όμως όχι πολύ περισσότερες.

Για το 2022:



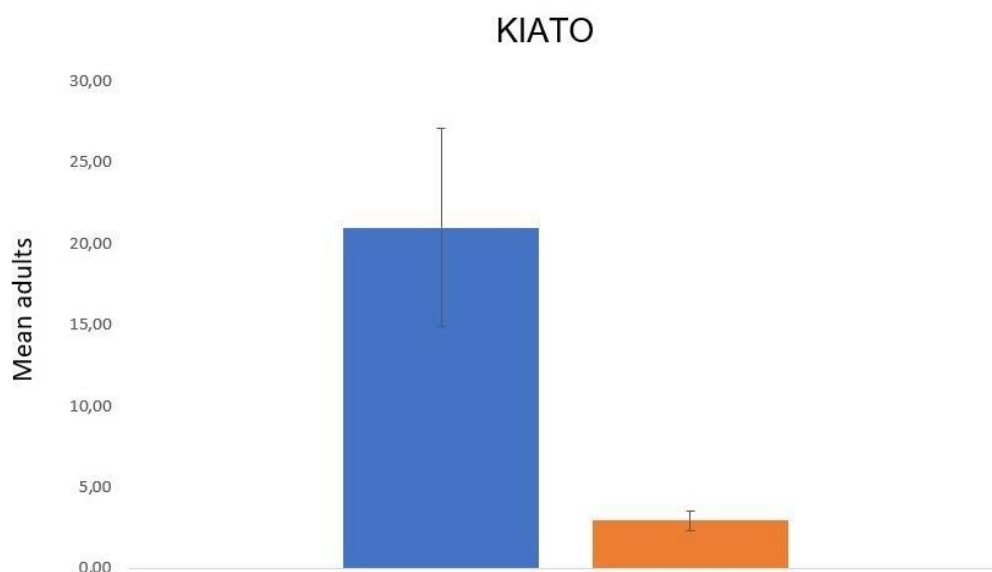
Διάγραμμα 17. Σύγκριση ενήλικου πληθυσμού (Μ.Ο. ± Τ.Σ.) του δάκου της ελιάς, όπως αυτός παρατηρήθηκε με συμβατικές παγίδες τύπου McPhail και ΠΑΠ, σε ελαιώνα στην Κρήτη κατά το 2022 ($t=3,76$, $P<0,005$).

Στο παραπάνω διάγραμμα φαίνεται η στατιστική διαφορά των δύο ειδών παγίδων λόγω της μεγάλης διαφοράς συλλήψεων ενήλικων ατόμων από τις παγίδες McPhail σε αντίθεση με τις ΠΑΠ. Επιπλέον παρατηρείται όπως φαίνεται από τα υπόλοιπα διαγράμματα ότι εδώ υπάρχει η μεγαλύτερη στατιστική διαφορά.



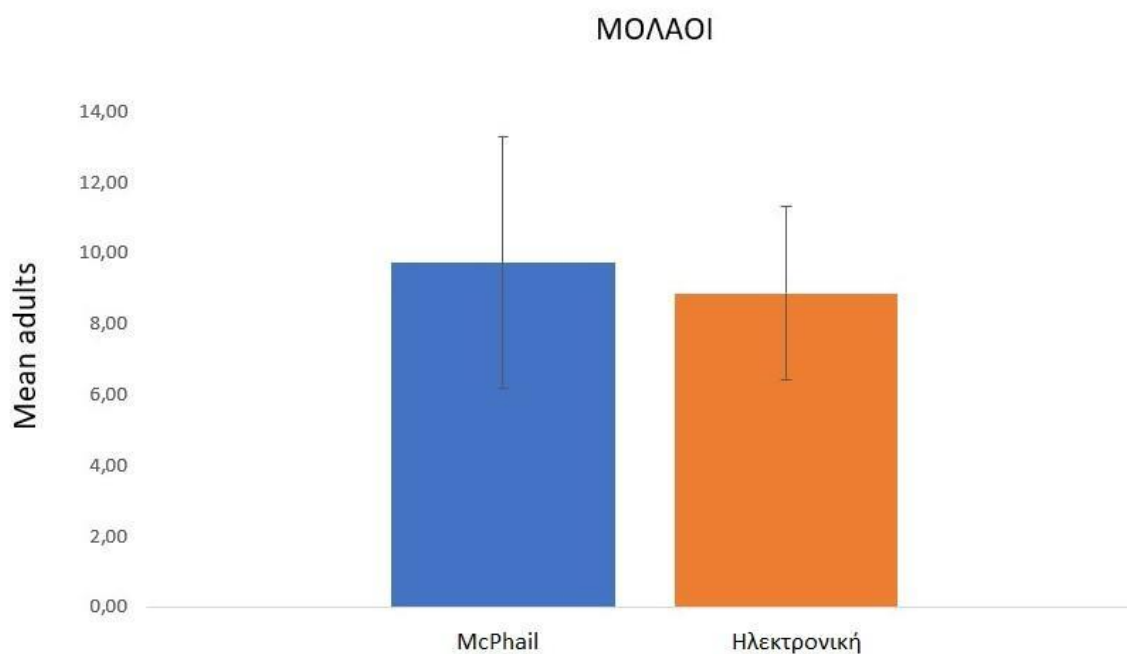
Διάγραμμα 18. Σύγκριση ενήλικου πληθυσμού (Μ.Ο. ± Τ.Σ.) του δάκου της ελιάς, όπως αυτός παρατηρήθηκε με συμβατικές παγίδες τύπου McPhail και ΠΑΠ, σε ελαιώνα στις Γούβες Λακωνίας κατά το 2022 ($t=3,76$, $P<0,005$).

Στις Γούβες Λακωνίας φαίνεται όπως και στις υπόλοιπες περιοχές στατιστική διαφορά γιατί οι συλλήψεις των παγίδων McPhail είναι περισσότερες και συγκλίνουν αρκετά στα τέλη Νοεμβρίου όπως αναφέρθηκε στο διάγραμμα 7.



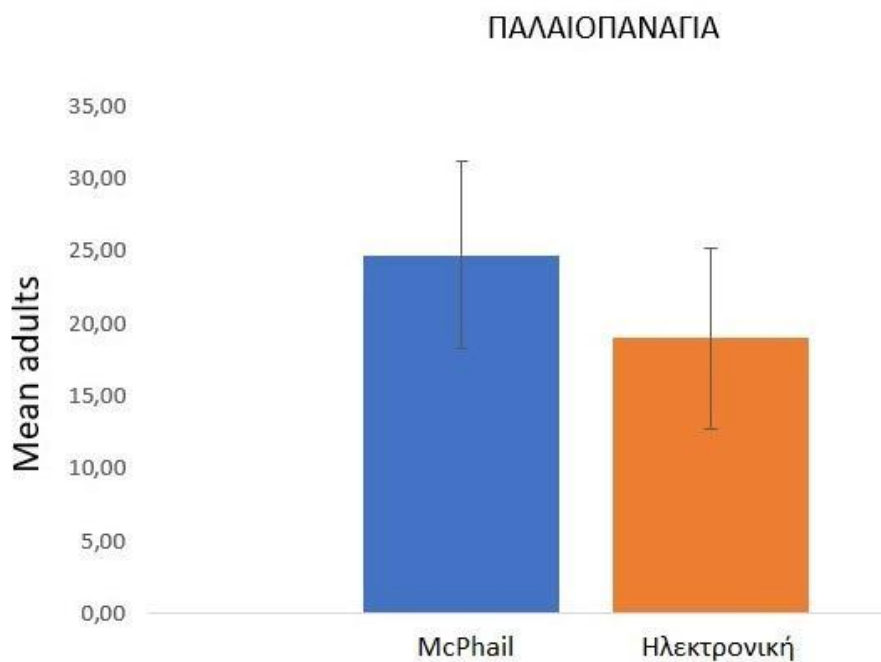
Διάγραμμα 19. Σύγκριση ενήλικου πληθυσμού (Μ.Ο. ± Τ.Σ.) του δάκου της ελιάς, όπως αυτός παρατηρήθηκε με συμβατικές παγίδες τύπου McPhail και ΠΑΠ, σε ελαιώνα στο Κιάτο Κορινθίας κατά το 2022 ($t=3,76$, $P<0,005$).

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται έντονη στατιστική διαφορά μεταξύ των παγίδων με αυτή των McPhail να είναι αισθητά μεγαλύτερη από των ΠΑΠ.



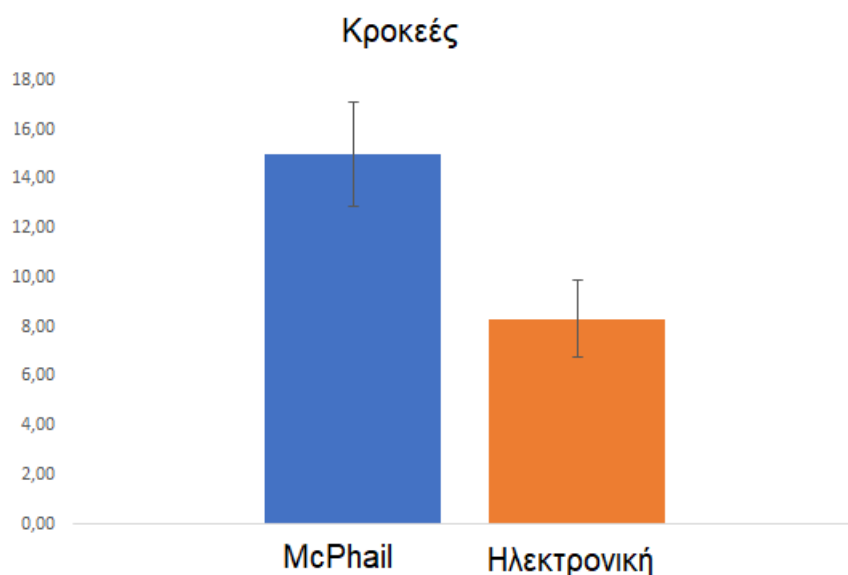
Διάγραμμα 20. Σύγκριση ενήλικου πληθυσμού (Μ.Ο. ± Τ.Σ.) του δάκου της ελιάς, όπως αυτός παρατηρήθηκε με συμβατικές παγίδες τύπου McPhail και ΠΑΠ, σε ελαιώνα στους Μολάους Λακωνίας κατά το 2022 ($t=3,76$, $P<0,005$).

Η στατιστική διαφορά στην παραπάνω περιοχή είναι πάρα πολύ μικρή λόγω των οριακά όμοιων συλλήψεων και από τα δύο είδη παγίδων.



Διάγραμμα 21. Σύγκριση ενήλικου πληθυσμού (Μ.Ο. ± Τ.Σ.) του δάκου της ελιάς, όπως αυτός παρατηρήθηκε με συμβατικές παγίδες τύπου McPhail και ΠΑΠ, σε ελαιώνα στην Παλαιοπαναγιά Λακωνίας κατά το 2022 ($t=3,76$, $P<0,005$).

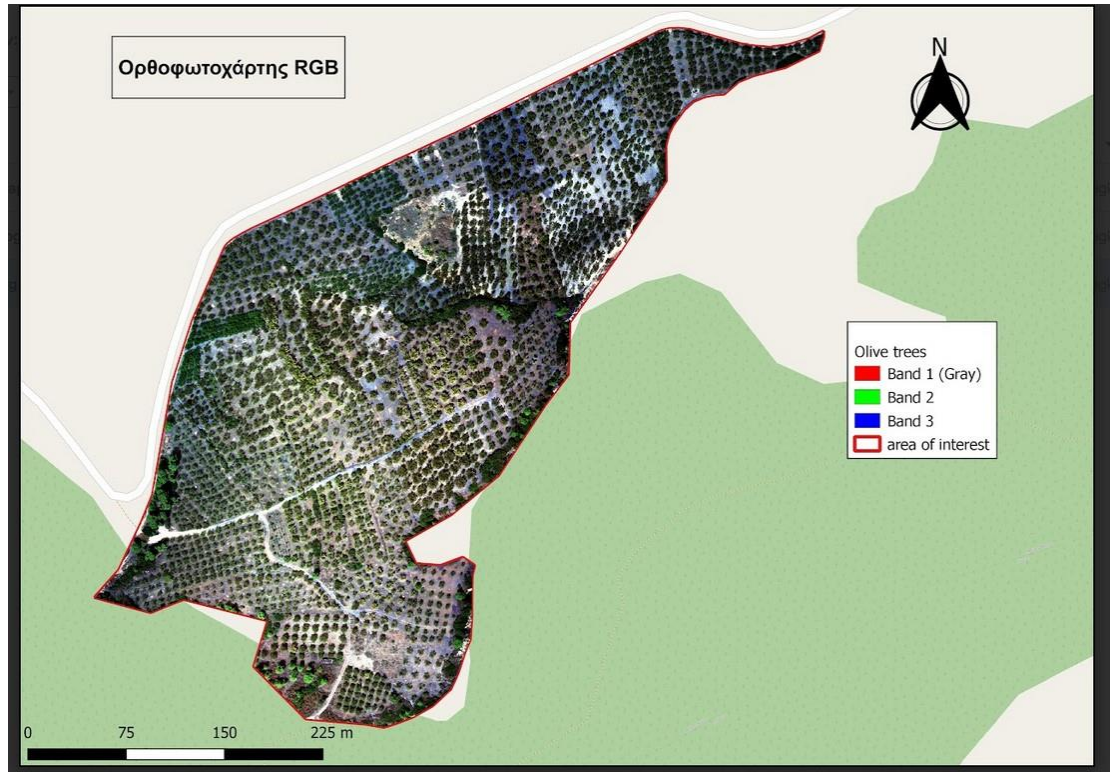
Στο διάγραμμα 21 παρατηρείται διαφορά μικρή αλλά υπάρχει μεγαλύτερη απόκλιση από την περιοχή των Μολάων.



Διάγραμμα 22. Σύγκριση ενήλικου πληθυσμού (Μ.Ο. ± Τ.Σ.) του δάκου της ελιάς, όπως αυτός παρατηρήθηκε με συμβατικές παγίδες τύπου McPhail και ΠΑΠ, σε ελαιώνα στις Κροκεές Λακωνίας κατά το 2022 ($t=3,76$, $P<0,005$).

Η στατιστική διαφορά που παρατηρείται στο παραπάνω διάγραμμα είναι οριακά διπλάσια.

Ο ορθοφωτοχάρτης του ελαιώνα στο Κιάτο που δημιουργήθηκε από το πρόγραμμα Metashape και QGIS φαίνεται παρακάτω



Εικόνα 24: Ορθοφωτοχάρτης RGB που δημιουργήθηκε στο πρόγραμμα Metashape και οπτικοποιήθηκε στο πρόγραμμα QGIS από την Υποψήφια διδάκτορα Αραποστάθη Ευαγγελία.

5 Συζήτηση

Στα πλαίσια της αειφόρου γεωργίας και της ολοκληρωμένης διαχείρισης εχθρών των καλλιεργειών, η επιλογή των κατάλληλων μεθόδων παρακολούθησης και παγίδευσης εντόμων-εχθρών παίζει σημαντικό ρόλο στην επιτυχή καταπολέμηση τους. Η αξιολόγηση προσβολών σε μία καλλιέργεια που βασίζεται μόνο στην τακτική επίβλεψη από τον γεωργό αλλά και στις γνώσεις του ή στην κατάρτιση του να αξιολογήσει το βαθμό προσβολής, περιέχει μεγάλο ποσοστό σφάλματος και μπορεί να έχει σημαντικό αντίκτυπο στο ποσοστό απώλειας της τελικής σοδειάς (Rydhmer, et al., 2022) (Kiobia, et al., 2023) (Lello, et al., 2023). Στην παρούσα εργασία, αξιολογήθηκε η αποτελεσματικότητα παγίδων απομακρυσμένης παρακολούθησης (ΠΑΠ), συγκριτικά με τις κλασικές παγίδες McPhail, με στόχο την έγκαιρη παρακολούθηση του πληθυσμού του δάκου της ελιάς σε επιλεγμένους ελαιώνες ανά την Ελλάδα. Η χρήση διαφόρων τύπων παγίδων χρησιμοποιώντας κάμερες και συλλέγοντας φωτογραφίες έχει μελετηθεί σε διάφορες καλλιέργειες για τους αντίστοιχους εχθρούς. Για παράδειγμα, οι Pérez-Aparicio et al. (2021) (Perez-Aparicio, Llorens, Rossel-Polo, Marti, & Gemeno, 2021) χρησιμοποίησαν υπέρυθρες κάμερες για την καταμέτρηση της καρπόκαψας (*Grapholita molesta*) σε φυτά ροδακινιάς, ενώ οι Doitsidis et al. (2017) παρατήρησαν ικανοποιητικά αποτελέσματα με τροποποιημένες McPhail παγίδες με κάμερες και συλλογή φωτογραφιών για το δάκο της ελιάς. Πιο πρόσφατα, οι Diller et al. (Diller, et al., 2023) επίσης τροποποίησαν κλασικές παγίδες McPhail ώστε να στέλνουν αυτοματοποιημένες φωτογραφίες από μύγες-εχθρούς καρποφόρων δέντρων (*Ceratitis capitata*, *Bactrocera dorsalis* και *Bactrocera zonata*) σε διάφορες χώρες.

Οι παγίδες McPhail βασίζονται σε παραδοσιακούς τρόπους προσέλκυσης των εντόμων, όπως η χρήση δελεαστικών διαλυμάτων και φερομονών. Αυτές οι παγίδες είναι σχεδιασμένες έτσι ώστε να εκμεταλλεύονται τη φυσιολογική συμπεριφορά των εντόμων όπου προσελκύνονται από συγκεκριμένες οσμές. Έτσι, τα έντομα εισέρχονται στην παγίδα και αδυνατούν να βγουν. Πλέον, η πρόοδος της τεχνολογίας έχει οδηγήσει σε καινοτόμες εξελίξεις και στον αγροτικό τομέα. Ηλεκτρονικές παγίδες εξοπλισμένες με ψηφιακές κάμερες ή οπτικούς αισθητήρες συλλέγουν δεδομένα τα οποία αποστέλλουν μέσω δικτύου κινητής τηλεφωνίας στον τελικό χρήστη. Τέτοιες σύγχρονες παγίδες χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή τη μελέτη και τα δεδομένα που συλλέχθηκαν συγκρίθηκαν με καταμετρήσεις εντόμων σε κλασικές παγίδες McPhail. Τα αποτελέσματα ήταν ενθαρρυντικά, καθώς δεν υπήρξαν σημαντικές αποκλίσεις στη διακύμανση των ενήλικων πληθυσμών μεταξύ των δύο τύπων παγίδων στις περισσότερες τοποθεσίες καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος, το οποίο επιβεβαιώνει τόσο την αποτελεσματικότητα χρήσης τους όσο και τη χρησιμότητα τους στους σύγχρονους ελαιώνες. Για παράδειγμα, στις Κροκεές Λακωνίας, τόσο οι ΠΑΠ όσο και οι συμβατικές παγίδες αποτύπωσαν την

απότομη μείωση του πληθυσμού που έλαβε χώρα στα μέσα Σεπτεμβρίου. Παρόμοια αποτελέσματα έλαβαν και οι Doitsidis et al. (2017), οι οποίοι επίσης σύγκριναν ΠΑΠ εξοπλισμένες με RGB κάμερες και κλασσικές γυάλινες παγίδες McPhail και δεν βρήκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των ενήλικων ατόμων δάκου που προσελκύστηκαν. Σε αντίστοιχη μελέτη από τους Shaked et al. (2018) για τη σύγκριση συμβατικών και ηλεκτρονικών παγίδων σε ελαιώνες της Ισπανίας, οι ερευνητές δεν παρατήρησαν καμία απόκλιση στους αριθμούς ενήλικων εντόμων που παγιδεύονταν στις εκάστοτε παγίδες, σε επαναλαμβανόμενες μετρήσεις διάρκειας δύο μηνών.

Ήταν ενδιαφέρον ότι υπήρξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των παγίδων σε συγκεκριμένες περιοχές (Κροκεές, Κιάτο και Άδελε) όπου οι συμβατικές παγίδες παγίδευσαν συνολικά μεγαλύτερο αριθμό ενήλικων, ενώ στις περισσότερες περιοχές προς τα τέλη Οκτωβρίου παρατηρήθηκε ραγδαία αύξηση του πληθυσμού στις συμβατικές παγίδες. Η διαφορά αυτή είναι δυνατόν να οφείλεται είτε στον κορεσμό των κολλητικών επιφανειών στις οποίες γινόταν η παγίδευση στις ΠΑΠ, είτε στη μείωση της προσελκυστικότητας των δολωμάτων. Στις ΠΑΠ δεν έγινε καθόλου αντικατάσταση του προσελκυστικού δολώματος καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος, ενώ στις συμβατικές παγίδες McPhail έγιναν κατά μέσο όρο τρεις αλλαγές, ειδικά την περίοδο του καλοκαιριού λόγω των υψηλών θερμοκρασιών και εξάτμισης του υγρού. Όμως, σε ρεαλιστικές και όχι πειραματικές συνθήκες, πιθανόν να μην είχαμε παρατηρήσει αυτή τη διαφορά, καθώς θα είχε ήδη πραγματοποιηθεί αντιμετώπιση του εντόμου. Ταυτόχρονα, οι ΠΑΠ είχαν το ίδιο αποτέλεσμα με τις συμβατικές, καθώς παρείχαν τις απαραίτητες πληροφορίες για έναρξη αντιμετώπισης του εντόμου την κατάλληλη στιγμή, πριν το όριο της επιζήμιας πληθυσμιακής πυκνότητας του δάκου, γεγονός που είναι και το ζητούμενο από τις παγίδες.

Το κόστος παίζει καθοριστικό ρόλο στην αποδοχή και την υιοθέτηση των ηλεκτρονικών παγίδων από τους γεωργούς. Οι ΠΑΠ έχουν συχνά υψηλότερο αρχικό κόστος λόγω των στοιχείων τεχνολογίας, αλλά μπορεί να έχουν χαμηλότερο τρέχον κόστος. Στο πείραμα μας, οι ΠΑΠ ήταν ενεργειακά αυτόνομες καθώς τροφοδοτούνταν από μπαταρία που φορτιζόταν από ατομικό φωτοβολταϊκό. Ενώ δεν έγινε σύγκριση οικονομικών παραγόντων στην παρούσα εργασία, παρόμοιες μελέτες έχουν αναδείξει τη σημασία του κόστους μακροπρόθεσμα στις ηλεκτρονικές παγίδες. Για παράδειγμα, οι Diller et al. (2023) (Diller, et al., 2023) χρησιμοποίησαν ηλεκτρονικές παγίδες εξοπλισμένες με κάμερες σε πέντε διαφορετικές χώρες, τροφοδοτούμενες από έξι μπαταρίες λιθίου, και οι οποίες τραβούσαν δύο φωτογραφίες την ημέρα, δεν χρειάστηκαν αλλαγή για 6-7 μήνες. Αντίστοιχα, οι Ünlü et al. (Ünlü, Akdemir, Ögür, & Şahin, 2019) χρησιμοποιώντας μπαταρίες συνδεδεμένες με φωτοβολταϊκό κατάφεραν να παρακολουθήσουν τις πτήσεις του λεπιδόπτερου *Lobesia botrana* συνεχόμενα για όλη της διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου (Απρίλιος-Σεπτέμβριος), ενώ υπολόγισαν ότι οι συμβατικές παγίδες μαζί με τις συνεχόμενες επισκέψεις από τον παραγωγό κοστίζουν μέχρι και 12 φορές

περισσότερο από το εφάπαξ κόστος μίας ηλεκτρονικής παγίδας. Η επιλογή κάμερας επίσης παίζει ρόλο στο συνολικό κόστος, ειδικά σε περιπτώσεις ηλεκτρονικών παγίδων που χρησιμοποιούν αλγόριθμους για ταυτοποίηση διαφορετικών εντόμων. Στη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκαν κάμερες με ανάλυση 5 ή 13Μεγαρίxel, όπου όντως οι φωτογραφίες από τις κάμερες μεγαλύτερης ανάλυσης είχαν μεγαλύτερη ευκρίνεια, χωρίς όμως αυτό να αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα στη δυνατότητα καταμέτρησης εντόμων δάκου. Ικανοποιητικά αποτελέσματα στην καταμέτρηση του δάκου ακόμα και με κάμερα ανάλυσης 2Μp έλαβαν οι Doitsidis et al. (2017), ενώ για το παρόμοιο σε μέγεθος έντομο *Ceratitis capitata* (μύγα της Μεσογείου) οι Shaked et al. (Shaked, et al., 2017) χρησιμοποίησαν 5Μp κάμερες. Έτσι, σε περιπτώσεις χαμηλού κόστους, απαιτείται σαφώς μεγαλύτερη εκπαίδευση και εμπειρία από τον τελικό χρήστη για τη σωστή ταυτοποίηση των εντόμων-εχθρών και τη διενέργεια του καταλληλότερου σχεδίου δράσης.

Κλείνοντας, η παρούσα μελέτη παρουσίασε τη δυνατότητα των ΠΑΠ να βοηθήσουν στην ολοκληρωμένη διαχείριση της ελαιοπαραγωγής. Η αποτελεσματικότητά τους στην ανίχνευση και την παρακολούθηση του πληθυσμού του δάκου της ελιάς είναι ισάξια των παγίδων McPhail, με εξαίρεση περιπτώσεις υπερπληθυσμού του δάκου, κατά τις οποίες όμως σε παραγωγικούς ελαιώνες θα πρέπει να έχει ήδη πραγματοποιηθεί αντιμετώπιση. Μελλοντικά, υπάρχουν πολλές δυνατότητες βελτίωσης και αυτοματοποίησης των παγίδων με RGB κάμερες, για ακόμα μεγαλύτερη διευκόλυνση των παραγωγών, όπως με την ενσωμάτωση αισθητήρων θερμοκρασίας και υγρασίας για μία πιο ολοκληρωμένη αναπαράσταση των συνθηκών του ελαιώνα σε πραγματικό χρόνο. Για παράδειγμα, η χρήση αλγόριθμων τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης (machine learning) σε καλλιέργειες βαμβακιού, βοήθησε στην ανίχνευση, ταυτοποίηση και ποσοτικοποίηση εύρους εντόμων-εχθρών (αλευρώδεις, αφίδες, κολεόπτερα κλπ.) τόσο σε φύλλα βαμβακιού όσο και σε κίτρινες κολλητικές παγίδες, αλλά και ανίχνευση ωφέλιμων εντόμων, παρασιτοειδών και αρπακτικών (Kiobias, et al., 2023). Αντίστοιχα, οι Ramalingam et al. (Ramalingam, et al., 2020) χρησιμοποίησαν αντίστοιχα προηγμένες τεχνολογίες (IoT, Internet of Things) για αυτόματη καταμέτρηση όχι μόνο μικρών ή μεγάλων εντόμων-εχθρών αλλά μέχρι και μικρών ερπετών και μυρμηγκιών. Συμπερασματικά, οι ΠΑΠ εξοπλισμένες με RGB κάμερες και συγκριτικά με άλλες ΠΑΠ εξοπλισμένες με άλλου τύπου αισθητήρες, έχουν δώσει πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα τόσο για το δάκο της ελιάς όσο και για τη μύγα της Μεσογείου, ταυτόχρονα και με την ένταξη μεθόδων τελευταίας τεχνολογίας, επιτρέποντας έτσι την έγκαιρη εφαρμογή μεθόδων καταπολέμησης και διαχείρισης εντόμων-εχθρών (Lello, et al., 2023). Η παρούσα εργασία έδωσε πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα που αποτελούν τη βάση για τη συνέχιση της έρευνας προς την κατεύθυνση της βελτιστοποίησης των ΠΑΠ.

• Βιβλιογραφία

- Anastasiou, E., Balafoutis, A. T., & Fountas, S. (2023). Trends in Remote Sensing Technologies in Olive Cultivation. *Smart Agricultural Technology*.
- Ascolese, R., Gargiulo, S., Pace, R., Nappa, P., Griffo, R., Nugnes, F., & Bernardo, U. (2022, April 15). E-traps: A valuable monitoring tool to be improve. *EPPO Bulletin*.
- Bjerge, K., Alison, J., Dyrmann, M., Eie Frigaard, C., Mann, H. M., & Høye, T. (2023, March 15). Accurate detection and identification of insects from camera trap images with deep learning. *PLOS Sustainability and Transformation*.
- Blonda , P., Tarantino, C., Scortichini, M., Maggi, S., Tarantino, M., & Adamo, M. (2023). Satellite monitoring of bio-fertilizer restoration in olive groves affected by *Xylella fastidiosa* subsp. *pauca*. *Scientific reports*, 13(5695).
- Daane, K., & Jonhson, M. W. (2010, January 1). Olive Fruit Fly: Managing an Ancient Pest in Modern Times. *Annual Review of Entomology*, 55, σσ. 151-169.
- Diller, Y., Shamsian, A., Shaked, B., Altman, Y., Danziger, B.-C., Manrakhan, A., . . . Nestel, D. (2023). A real-time remote surveillance system for fruit flies of economic importance: sensitivity and image analysis. *Journal of Pest Science*, 96, σσ. 611-622.
- Doitsidis, L., Fouskitakis, G. N., Varikou, K. N., Rigakis, I. I., Chatzichristofis, S. A., Papafilippaki, A. K., & Birouraki, A. E. (2017, May). Remote monitoring of the *Bactrocera oleae* (Gmelin) (Diptera: Tephritidae) population using an automated McPhail trap. *Computers and Electronics in Agriculture*, 137, σσ. 69-78.
- Gorbe, E., & Calatayud, A. (2012). Applications of chlorophyll fluorescence imaging technique in horticultural. *Scientia Horticulturae*, 138, σσ. 24-35.
- Haniotakis, G. E. (2005). Olive pest control: Present status and prospects. *Integrated Protection of Olive Crops*, 28(9), σσ. 1-9.
- Iost Filho, F. H., Heldens, W. B., Kong, Z., & de Lange, E. S. (2019, December 7). Drones: Innovative Technology for Use in Precision Pest Management. *Journal of Economic Entomology*, 113(1), σσ. 1-25.

- Iost Filho, F., de Bastos Pazini, J., Alves, T., Koch, R., & Yamamoto, P. (2022, November 30). How does the digital transformation of agriculture affect the implementation of Integrated Pest Management? *Frontiers in Sustainable Food System*.
- Kiobia, D. O., Mwitwa, C. J., Fue, K. G., Schmidt, J. M., Riley, D. G., & Rains, G. C. (2023, April 20). A Review of Successes and Impeding Challenges of IoT-Based Insect Pest Detection Systems for Estimating Agroecosystem Health and Productivity of Cotton. *Sensors*, 23.
- Lello, F., Dida, M., Mkiramweni, M., Matiko, J., Akol, R., Nsabagwa, M., & Katumba, A. (2023, July 29). Fruit fly automatic detection and monitoring techniques: A review. *Smart Agricultural Technology*, 5.
- Lima, M., Damascena de Almeida Leandro, M., Valero, C., Coronel, L., & Bazzo, C. (2020, May 9). Automatic Detection and Monitoring of Insect pest - review. *10*(161).
- Maes, W. H., & Steppe, K. (2019, February). Perspectives for Remote Sensing with Unmanned Aerial Vehicles in Precision Agriculture. *Trends in plant science*, 24(2).
- Mazomenos, B. E., Pantazi Mazomenou, A., & Stefanou, D. (2022). Attract and kill of the olive fruit fly *Bactrocera oleae* in Greece as a. *Use of pheromones and other semiochemicals in integrated production*.
- McFadden, J., Casalini, F., Griffin, T., & Antón, J. (2022, April). The Digitalisation of Agriculture: A Literature Review and Emerging Policy Issues. *OECD food, agriculture and fisheries papers*, 176.
- Miranda, M., Barceló, C., Valdés, F., Feliu, J., Nestel, D., Papadopoulos, N., . . . Alorda, B. (2019, October 9). Developing and Implementation of Decision Support System (DSS) for the Control of Olive Fruit Fly, *Bactrocera Oleae*, in Mediterranean Olive Orchards. *Agronomy*, 9(620).
- Perez-Aparicio, A., Llorens, J., Rossel-Polo, J., Marti, J., & Gemeno, C. (2021). A cheap electronic sensor automated trap for monitoring the flight activity period of moths. *European journal of entomology*, 118, σσ. 315-321.
- Pontikakos, C. M., Tsiligiridis, T. A., & Drougka, M. E. (2010, March). Location-aware system for olive fruit fly spray control. *Computers and Electronics in Agriculture*, 70(2), σσ. 355-368.
- Potamitis, I., Eliopoulos, P., & Rigakis, I. (2017, August 22). Automated Remote Insect Surveillance at a Global Scale and the Internet of Things. *Robotics*, 6(19).

- Potamitis, I., Rigakis, I., Vidakis, N., Petousis, M., & Weber, M. (2018, May 8). Affordable Bimodal Optical Sensors to Spread the Use of Automated Insect Monitoring. *Journal of sensors*, 2018.
- Preti, M., Moretti, C., Scarton, G., Giannotta, G., & Angeli, S. (2021). Developing a smart trap prototype equipped with camera for tortricid pests remote monitoring. *Bulletin of Insectology*, 74(1), σσ. 147-160.
- Preti, M., Verheggen, F., & Angeli, S. (2021). Insect pest monitoring with camera-equipped traps: strengths. *Journal of Pest Science*, 94, σσ. 203-217.
- Qing, Y., Jin, F., Jian, T., Wei-gen, X., Xu-hua, Z., Bao-jun, Y., . . . Li-jun, W. (2020, October). Development of an automatic monitoring system for rice light-trap pests based on machine vision. *Journal of Integrative Agriculture*, 19(10).
- Ramalingam, B., Mohan, R., Pookkuttath, S., Gómez, B., Borusu, C., Teng, T., & Tamilselvam, Y. (2020, September 15). Remote Insects Trap Monitoring System Using Deep Learning Framework and IoT. *Sensors*, 20.
- Rolfe, S., & Scholes, J. (2010, September 3). Chlorophyll fluorescence imaging of plant–pathogen interactions. *Protoplasma*, 247, σσ. 163-175.
- Ruczyński, I., Hałat, Z., Zegarek, M., Borowik, T., & Dechmann, D. K. (2019, March 18). Camera transects as a method to monitor high temporal and spatial ephemerality of flying nocturnal insects. *Methods in ecology an evolution.*, 11, σσ. 294-302.
- Rydhmer, K., Bick, E., Still, L., Strand, A., Luciano, R., Helmreich, S., . . . Nikolajsen, T. (2022). Automating insect monitoring using unsupervised near-infrared sensors. *Scientific reports*.
- Shaked, B., Amore, A., Ioannou, C., Valdes, F., Alorda, B., Papanastasiou, S., . . . Nestel, D. (2017, June 27). Electronic traps for detection and population monitoring of adult fruit flies (Diptera: Tephritidae). *Journal of applied entomology*, σσ. 1-9.
- Suto, J. (2022). Codling Moth Monitoring with Camera-Equipped Automated Traps: A Review. *Agriculture*, 12.
- Ünlü, L., Akdemir, B., Ögür, E., & Şahin, İ. (2019, February 18). Remote Monitoring of European Grapevine Moth, *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae) Population Using Camera-Based Pheromone Traps in Vineyards. *Turkish Journal of Agriculture -Food Science and Technology*, 7(4), σσ. 652-657.

- van Klink, R., August, T., Bas, Y., Zizka, V. M., Astrom, J., & Bowler, D. E. (2022, July 7). Emerging technologies revolutionise insect ecology and monitoring. *Trends in ecology & evolution.*, 37(10).
- Victoriano, M., Oliveira, L., & Oliveira, H. P. (2023). *Pattern Recognition and Image Analysis IbPRIA 2023. Lecture Notes in Computer Science.* Springer.
- Zhang, C., & Kovacs, J. M. (2012, July 31). The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. *Precision Agriculture*, 13, σσ. 693-712.
- Κυριτσάκης, Α. (2007). *Ελαιόδο Συμβατικό και βιολογικό, βρώσιμη ελιά - πάστα ελιάς.* Θεσσαλονίκη: Έμβρυο.
- Ποντίκης, Κ. (2000). *Ειδική Δενδροκομεία <<Ελαικομεία>> .* Αθήνα: Σταμούλης.
- Τζάμος, Ε. (2007). *Φυτοπαθολογία.* Αθήνα: Σταμούλη.
- Τζανακάκης, Μ., & Κατσόγιαννος, Β. (2003). *Έντομα καρποφόρων δέντρων και αμπέλου.* Αγρότυπος ΑΕ.