



Καινοτόμες λύσεις για τη βιώσιμη και περιβαλλοντικά φιλική φυτοπροστασία των οπωροκηπευτικών της Ελλάδας, στην Ευρώπη του μέλλοντος

Παραδοτέο Π5.3.1: Πρωτόκολλα χρήσης ψεκαστικών drones

Πληροφορίες για το έγγραφο

Αριθμός παραδοτέου: Π5.3.1

Ενότητα εργασίας: ΕΕ3

Επικεφαλής δικαιούχος: ΓΠΑ

Συγγραφείς: Σπυριδών Φουντάς, Παναγιώτης Φραντζής, Βασίλειος Ψηρούκης
Έκδοση: 1.1

Είδος Παραδοτέου: Έκθεση

Ημερομηνία παράδοσης: 10 Δεκεμβρίου 2025

Στοιχεία Πράξης

Τίτλος: Καινοτόμες λύσεις για τη βιώσιμη και περιβαλλοντικά φιλική φυτοπροστασία των οπωροκηπευτικών της Ελλάδας, στην Ευρώπη του μέλλοντος

Τίτλος (EN): InnoPP-Innovations in Plant Protection for sustainable and environmentally friendly pest control

Κωδικός πράξης: ΤΑΕΔΡ-0535675

Ακρωνύμιο έργου: InnoPP

Ημερομηνία έναρξης: 15 Μαΐου 2023

Διάρκεια: 28 Μήνες

Συντονιστής Φορέας: Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Συντονιστής/ Επιστημονικός Υπεύθυνος: Ιωάννης Βόντας

Πίνακας Περιεχομένων

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ	4
2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΔΙΕΘΝΟΥΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	5
3. ΈΛΕΓΧΟΣ ΠΡΙΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ	7
3.1 ΈΛΕΓΧΟΣ ΠΡΙΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΤΗΣΗ	7
3.2 ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ	8
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΨΕΚΑΣΜΟΥ	9
4.1 ΤΑΧΥΤΗΤΑ	9
<i>Αμπέλι</i>	9
<i>Σιτάρι</i>	9
<i>Βαμβάκι</i>	9
<i>Ελιά</i>	9
<i>Συμπεράσματα</i>	10
4.2 ΘΕΣΗ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΥΣ	10
<i>Αμπέλι</i>	10
4.3 ΥΨΟΜΕΤΡΟ	11
<i>Αμπέλι</i>	11
<i>Σιτάρι</i>	11
<i>Βαμβάκι</i>	11
<i>Ελιά</i>	11
<i>Συμπεράσματα</i>	12
4.4 ΠΙΕΣΗ ΨΕΚΑΣΜΟΥ	12
<i>Αμπέλι</i>	12
<i>Σιτάρι</i>	12
<i>Βαμβάκι</i>	12
<i>Ελιά</i>	12
<i>Συμπεράσματα</i>	12
4.5 ΑΚΡΟΦΥΣΙΑ	12
<i>Αμπέλι</i>	12
<i>Σιτάρι</i>	13
<i>Βαμβάκι</i>	13
<i>Ελιά</i>	13
<i>Συμπεράσματα</i>	13
5. ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	14
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	15

Περίληψη του Έργου

Το έργο «Καινοτόμες λύσεις για τη βιώσιμη και περιβαλλοντικά φιλική φυτοπροστασία των οπωροκηπευτικών της Ελλάδας, στην Ευρώπη του μέλλοντος» στοχεύει στην ανάπτυξη σύγχρονων και καινοτόμων μεθόδων για την προστασία των καλλιεργειών όπως τα κηπευτικά, τα εσπεριδοειδή και το επιτραπέζιο σταφύλι. Περιλαμβάνει τη δημιουργία προηγμένων διαγνωστικών εργαλείων για την ανίχνευση εχθρών και παθογόνων με τεχνολογίες αιχμής, όπως ηλεκτρονικές παγίδες και βιοαισθητήρες, καθώς και πλατφόρμες αλληλούχισης για τον πλήρη προσδιορισμό των ιωμάτων. Επιπλέον, θα αναπτυχθούν μοντέλα πρόβλεψης επιδημιών και καινοτόμα βιοφυτοπροστατευτικά προϊόντα, τα οποία θα αξιολογηθούν για την ασφάλεια τους σε μη στόχους οργανισμούς. Τέλος, οι νέες τεχνολογίες θα ενσωματωθούν σε συστήματα ολοκληρωμένης διαχείρισης φυτοπροστασίας και θα δοκιμαστούν σε πραγματικές συνθήκες, ενώ θα αξιολογηθούν οι κοινωνικοοικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις τους.

Σύνοψη της ΕΕ5

Η ΕΕ5 εστιάζει στον σχεδιασμό και την ανάπτυξη εφαρμογών φυτοπροστασίας ακριβείας σε συμβατικά και βιολογικά συστήματα, με στόχο τη μείωση της χρήσης γεωργικών φαρμάκων και τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας. Συγκεκριμένα, η ΕΕ5 περιλαμβάνει τη βελτιστοποίηση ψεκαστικών μηχανημάτων και παραμέτρων εφαρμογής, την αξιολόγηση της επικινδυνότητας και η περιβαλλοντικής επίπτωσης των εφαρμογών ακριβείας έναντι των συμβατικών, με έμφαση στα υπολείμματα, την ανάπτυξη και δοκιμασία πρωτοκόλλων ψεκασμών με drones σε πραγματικές συνθήκες. Παράλληλα, αποσκοπεί στην αναβάθμιση της Βάση Δεδομένων Γάλανθος για τη διαχείριση της ανθεκτικότητας, τη δημιουργία βάσης δεδομένων και διαδραστικοί χάρτες για την καταγραφή ιολογικών προβλημάτων, όπως και την ανάπτυξη έξυπνης διαδικτυακής πλατφόρμας για τη βέλτιστη διαχείριση της φυτοπροστασίας.

Συνοπτική παρουσίαση του παραδοτέου Π5.3.1

Το Παραδοτέο 5.3.1 αποτελεί την τεκμηρίωση πρωτοκόλλων και βασικών απαιτήσεων για την ορθή και ασφαλή χρήση ψεκαστικών Συστημάτων μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (ΣμηΕΑ) στην εφαρμογή φυτοπροστατευτικών προϊόντων. Παρουσιάζονται οι διαδικασίες ελέγχου πριν από την πτήση και συντήρησης μετά τον ψεκασμό, καθώς και οι βασικές επιχειρησιακές παράμετροι που επηρεάζουν την ποιότητα εφαρμογής όπως η ταχύτητα πτήσης, η θέση αεροσκάφους σε σχέση με τις γραμμές καλλιέργειας, το υψόμετρο, η πίεση ψεκασμού και η επιλογή ακροφυσίων), με αναφορά σε εφαρμογές ανά καλλιέργεια. Παράλληλα, το παραδοτέο συνοψίζει ευρήματα και τεχνικές αξιολόγησης της εναπόθεσης του ψεκαστικού υγρού σε αμπελώνα, μέσω επιτόπιων δοκιμών και χρήσης υδατοευαίσθητων χαρτιών (WSP) για την αποτύπωση της κάλυψης και φίλτρων για την αποτίμηση της διασποράς, με επεξεργασία των δεδομένων μέσω εξειδικευμένων εργαλείων ανάλυσης και κατάλληλων στατιστικών μεθόδων.

1. Εισαγωγή και Στόχοι

Στη σύγχρονη γεωργία, η ακριβής και αποδοτική εφαρμογή των ΦΠΠ είναι απαραίτητη για τη διασφάλιση της υγείας των καλλιεργειών και την αύξηση της παραγωγής, ελαχιστοποιώντας ταυτόχρονα τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Ενώ οι παραδοσιακές μέθοδοι ψεκασμού αποτέλεσαν τον ακρογωνιαίο λίθο της φυτοπροστασίας, η εισαγωγή των ΣμηΕΑ έχει οδηγήσει σε μια επαναστατική εποχή για τη γεωργία.

Τα ΣμηΕΑ προσφέρουν καινοτόμες λύσεις βελτιστοποίησης των γεωργικών πρακτικών μέσω της ακρίβειας, της αποδοτικότητας και της ασφάλειας που προσφέρουν κατά την εφαρμογή ΦΠΠ. Το παρόν παραδοτέο επικεντρώνεται στην τεκμηρίωση των βασικών αρχών, απαιτήσεων και επιχειρησιακών παραμέτρων που σχετίζονται με τη χρήση Συστημάτων μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών για την εφαρμογή φυτοπροστατευτικών προϊόντων. Στόχος είναι η καταγραφή και η σύνθεση της διαθέσιμης γνώσης, τόσο από τη διεθνή βιβλιογραφία όσο και από ενδεικτικές εφαρμογές πεδίου, αναφορικά με παράγοντες όπως η ταχύτητα πτήσης, το ύψος εφαρμογής, η θέση του αεροσκάφους σε σχέση με την καλλιέργεια, η πίεση ψεκασμού και η επιλογή ακροφυσίων. Παράλληλα, παρουσιάζονται διαδικασίες ελέγχου πριν από την πτήση και συντήρησης του εξοπλισμού, οι οποίες αποτελούν προϋπόθεση για την ασφαλή και αποτελεσματική εφαρμογή φυτοπροστασίας με ψεκαστικά ΣμηΕΑ.

Αυτή η έρευνα αναδεικνύει τις δυνατότητες των ψεκαστικών ΣμηΕΑ στη σύγχρονη γεωργία, αναδεικνύοντας την ικανότητά τους να αυξάνουν την αποδοτικότητα και να μειώνουν τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο, προωθώντας έτσι πρακτικές φιλικές προς το περιβάλλον. Επιπλέον, τα αποτελέσματα καθιστούν ακόμη πιο σημαντική τη βελτίωση των λειτουργικών παραμέτρων κατά τον ψεκασμό με ΣμηΕΑ, που αποτελεί μία από τις πιο σημαντικές προκλήσεις στη συμβατική προστασία των καλλιεργειών, σε μια προσπάθεια εξέλιξης των αγροτικών πρακτικών.

Ο σκοπός του παρόντος εγγράφου είναι η ανάλυση των προϋποθέσεων, νομοθέτησης πτήσεων και αναγκών που απαιτούνται ώστε να είναι εφικτή η εφαρμογή προϊόντος φυτοπροστασίας μέσω της χρήσης ΣμηΕΑ.

Το παρόν έγγραφο **ακολουθεί την παρακάτω δομή:**

1. Εισαγωγή και Στόχοι: Παρουσιάζεται το πλαίσιο της έρευνας και οι στόχοι του εγγράφου.

2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση Διεθνούς Βιβλιογραφίας: Παρουσιάζεται η βέλτιστη ρύθμιση παραμέτρου για κάθε από τις παρακάτω μεταβλητές μέσω της διεθνούς βιβλιογραφίας.

3. Έλεγχος πριν από την πτήση και: 3.1 Έλεγχος πριν από την πτήση. 3.2 Συντήρηση

4. Αποτελέσματα δοκιμών ψεκασμού: Παρουσιάζει τα αποτελέσματα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης καθώς και τις αντίστοιχες αναφορές.

5. Σύνοψη και Συμπεράσματα: Παρουσιάζει τα συμπεράσματα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης

6. Βιβλιογραφία: Παρατίθενται οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν.

2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση Διεθνούς Βιβλιογραφίας

Τα τελευταία χρόνια, η αειφορία των τροφίμων και η προστασία του καταναλωτή έχουν αποκτήσει ιδιαίτερη σημασία, όπως αποδεικνύεται από το αυξανόμενο ενδιαφέρον των καταναλωτών για την παραγωγή και διανομή φυτικών προϊόντων (Melonίc et al., 2020; Rahman et al., 2021). Η συνεχώς αυξανόμενη παγκόσμια ζήτηση για τρόφιμα και οι σημαντικές απώλειες στις αποδόσεις των καλλιεργειών λόγω βιοτικών παραγόντων (FAO, 2017) καθιστούν απαραίτητη τη χρήση προϊόντων φυτοπροστασίας (PPP), τα οποία παραμένουν κρίσιμα για την προστασία των καλλιεργειών από έντομα, ασθένειες και παθογόνα (Lykogianni et al., 2021). Ωστόσο, η εφαρμογή αυτών των προϊόντων αποτελεί δραστηριότητα υψηλού κινδύνου, καθώς συχνά οδηγεί σε υπολείμματα σε τρόφιμα, ζωοτροφές, υδάτινους πόρους και μη στοχευμένους οργανισμούς, επηρεάζοντας τόσο την ανθρώπινη υγεία όσο και το περιβάλλον (Akran et al., 2023; Chavarri et al., 2004; Syafrudin et al., 2021).

Η παραδοσιακή εφαρμογή των προϊόντων φυτοπροστασίας (PPP) γίνεται κυρίως μέσω γεωργικών οχημάτων με εξοπλισμό ψεκασμού που ακολουθούν προκαθορισμένες διαδρομές στον αγρό, κάτι που ενέχει προκλήσεις σε επίπεδο χρόνου, κόστους και ασφάλειας για τον χειριστή (Dhananjayan & Ravichandran, 2018). Αν και ο εναέριος ψεκασμός με αεροσκάφη και ελικόπτερα μπορεί να θεωρηθεί οικονομικός και αποτελεσματικός για μεγάλης κλίμακας καλλιέργειες, παρουσιάζει περιορισμούς όπως χαμηλή ακρίβεια κατανομής και υψηλές απαιτήσεις σε ύψος πτήσης και χώρους απογείωσης/προσγείωσης, καθιστώντας τον ακατάλληλο για μικρές καλλιέργειες (Baio et al., 2019; Grella et al., 2017; Woods et al., 2001). Οι ανησυχίες αυτές έχουν οδηγήσει σε αυστηρότερες νομοθετικές ρυθμίσεις, με χαρακτηριστικό παράδειγμα την απαγόρευση της εναέριας διανομής PPP από το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, με ελάχιστες εξαιρέσεις (European Parliament, 2009).

Τα Μη Επανδρωμένα Εναέρια Συστήματα (UAS) έχουν πλέον καθιερωθεί ως πολύτιμα εργαλεία στη γεωργία, κυρίως λόγω της ικανότητάς τους να παρέχουν δεδομένα υψηλής χωρικής και χρονικής ανάλυσης (Tsouros et al., 2019; Mogili & Deepak, 2018). Οι εφαρμογές των UAS περιλαμβάνουν τη διαχείριση ύδατος, τη ζωνοποίηση εφαρμογής λιπασμάτων και την ανίχνευση ζιζανίων, συμβάλλοντας στην αύξηση της ακρίβειας και της βιωσιμότητας στις γεωργικές πρακτικές (Radoglou-Grammatikis et al., 2020). Ωστόσο, περιορισμοί όπως οι νομοθεσίες πτήσεων, η ανάγκη παρουσίας χειριστή, η ευπάθεια του συστήματος ελέγχου, και η περιορισμένη αυτονομία πτήσης περιορίζουν την πλήρη αυτοματοποίηση των UAS στον αγρό (Kakaletsis et al., 2022).

Τα τελευταία χρόνια, τα Πολυκόπτερα Μη Επανδρωμένα Συστήματα Ψεκασμού (UASS) έχουν προσελκύσει αυξανόμενο ενδιαφέρον, καθώς μπορούν να εκτελούν ψεκασμούς με ακρίβεια, να κινούνται κοντά στην καλλιέργεια, να προσαρμόζονται σε δύσβατα εδάφη και να περιορίζουν τις επιπτώσεις στους χειριστές και στο περιβάλλον (Qin et al., 2016). Ωστόσο, η αποτελεσματικότητα της εφαρμογής εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως η πίεση αντλίας, το ύψος και η ταχύτητα πτήσης, η χωρητικότητα φορτίου, οι καιρικές συνθήκες, και η επιλογή ακροφυσίων (Chen et al., 2021; Hunter et al., 2020; Wang et al., 2020). Η επιλογή και διαμόρφωση των ακροφυσίων αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για τη μείωση της διασποράς και τη βελτίωση της κάλυψης στόχου, αν και η αγορά των UASS δεν διαθέτει ακόμη πρότυπα σε αυτόν τον τομέα (Lou et al., 2018; Qin et al., 2016).

Τα τελευταία χρόνια, η ραγδαία ανάπτυξη των μη επανδρωμένων συστημάτων εναέριου ψεκασμού (UASS) για φυτοπροστασία έχει προσελκύσει μεγάλο ενδιαφέρον και έχει προωθηθεί ευρέως (Wand et al., 2021; Calderone et al.). Οι πλατφόρμες αυτές προσφέρουν αρκετά πλεονεκτήματα έναντι των συμβατικών συστημάτων, όπως υψηλή επιχειρησιακή αποδοτικότητα, μεγάλη ταχύτητα και, σε ορισμένες περιπτώσεις,

χαμηλότερη διασπορά ψεκαστικού νέφους. Επιπλέον, τα πιθανά οφέλη τους περιλαμβάνουν τη δυνατότητα εφαρμογής σε περιοχές όπου δεν φτάνουν ψεκαστήρες με τρακτέρ και τη μείωση των αναγκών σε εργατικό δυναμικό, αντικαθιστώντας σε κάποιες περιπτώσεις τους χειροκίνητους ψεκαστήρες πλάτης (He et al., 2018; Sarri et al., 2019).

Οι πρώτες εφαρμογές των UASS για τον ψεκασμό φυτοπροστατευτικών προϊόντων χρονολογούνται περίπου από το 1990. Η αρχική υλοποίηση της τεχνολογίας αυτής ήταν αργή, καθώς αντιμετώπιζε αρκετούς περιορισμούς, τόσο τεχνολογικούς όσο και σχετικούς με κινδύνους και αβεβαιότητες κατά την εφαρμογή. Ωστόσο, μέχρι σήμερα, τα UASS έχουν παρουσιάσει σημαντικές εξελίξεις στη φέρουσα ικανότητα φορτίου, τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας, τη διαμόρφωση ακροφυσίων και το σχεδιασμό της πλατφόρμας (Byers et al., 2024). Τα πολυκόπτερα κυριαρχούν στην αγορά UASS, αντιπροσωπεύοντας πάνω από το 70% του συνόλου (Hu et al., 2022). Οι εξελίξεις στην τεχνολογία των μπαταριών έχουν αυξήσει σημαντικά τη διάρκεια λειτουργίας των UASS, με τους σημερινούς χρόνους πτήσης να φτάνουν κατά μέσο όρο τα 25–30 λεπτά, μια βελτίωση περίπου 12 λεπτών σε σχέση με τα προηγούμενα μοντέλα (Zhang et al., 2022). Ομοίως, η φέρουσα ικανότητα φορτίου έχει αυξηθεί από τα 12 κιλά σε προηγούμενες διαμορφώσεις και σήμερα ξεπερνά τα 50 κιλά. Αυτή η αύξηση επιτρέπει στα UASS να μεταφέρουν και να εφαρμόζουν μεγαλύτερες ποσότητες φυτοπροστατευτικών προϊόντων.

Η παρούσα μελέτη στοχεύει στην ανάλυση των προϋποθέσεων, νομοθέτησης πτήσεων και αναγκών που απαιτούνται ώστε να είναι εφικτή η εφαρμογή προϊόντος φυτοπροστασίας μέσω της χρήσης ΣμηΕΑ.

3. Έλεγχος πριν από την πτήση και συντήρηση

3.1 Έλεγχος πριν από την πτήση

Πριν από κάθε πτήση με ψεκαστικό ΣμηΕΑ είναι απαραίτητος ένας λεπτομερής έλεγχος, προκειμένου να διασφαλιστεί η ασφάλεια του εξοπλισμού, η αποτελεσματικότητα του ψεκασμού και η συμμόρφωση με τους κανόνες πτήσης. Αρχικά, πρέπει να πραγματοποιηθεί οπτική επιθεώρηση του drone για πιθανές ρωγμές, φθορές ή χαλαρά εξαρτήματα. Οι έλικες πρέπει να είναι ακέραιοι, χωρίς σπασίματα ή φθορά, και οι βραχίονες και το σασί πρέπει να είναι ευθυγραμμισμένα και σταθερά. Οι μπαταρίες του ΣμηΕΑ καθώς και του αντίστοιχου τηλεχειριστηρίου πρέπει ελέγχονται ως προς το επίπεδο φόρτισης και τη φυσική τους κατάσταση, αποφεύγοντας τη χρήση φουσκωμένων ή κατεστραμμένων μονάδων. Η δεξαμενή ψεκασμού πρέπει να είναι καθαρή, χωρίς διαρροές, και να περιέχει το κατάλληλο μείγμα διαλύματος, τόσο σε ποσότητα όσο και σε συγκέντρωση.

Εξίσου σημαντικός είναι ο έλεγχος των ηλεκτρονικών και του λογισμικού. Πρέπει να διασφαλιστεί ότι το GPS και οι αισθητήρες όπως το IMU (Μονάδα Αδρανειακής Μέτρησης) και η πυξίδα λειτουργούν σωστά, και ότι έχει πραγματοποιηθεί επαναβαθμονόμηση εάν απαιτείται. Το ενσωματωμένο λογισμικό που ελέγχει τη βασική λειτουργία του hardware (firmware) του ΣμηΕΑ, του τηλεχειριστηρίου και της εφαρμογής πλοήγησης πρέπει να είναι ενημερωμένο. Η αποστολή πτήσης πρέπει να έχει προγραμματιστεί σωστά, με τις κατάλληλες ρυθμίσεις για το ύψος, την ταχύτητα και την περιοχή κάλυψης. Τέλος, επιβεβαιώνεται η σταθερή και ασφαλής σύνδεση με το τηλεχειριστήριο.

Ο έλεγχος των καιρικών συνθηκών είναι καθοριστικός. Οι πτήσεις θα πρέπει να αποφεύγονται σε περίπτωση ισχυρών ανέμων (άνω των 6 m/s), βροχής, ομίχλης ή εξαιρετικά υψηλής/χαμηλής θερμοκρασίας. Η ορατότητα πρέπει να είναι επαρκής, και καλό είναι να προγραμματίζεται η πτήση σε συνθήκες ήπιας ηλιοφάνειας ή συννεφιάς, για την αποφυγή προβλημάτων στον αισθητήρα ή την κάμερα του ΣμηΕΑ. Επίσης, ο φυσικός έλεγχος του χώρου πτήσης είναι απαραίτητος. Εντοπίζονται και αποφεύγονται εμπόδια όπως δέντρα, καλώδια, στυλοί ή κτήρια. Εάν η πτήση θα πραγματοποιηθεί κοντά σε ξένες ιδιοκτησίες, πρέπει να έχει ληφθεί σχετική άδεια. Επιπλέον, ελέγχεται εάν υπάρχουν περιορισμοί πτήσης στην περιοχή (π.χ. ενεργά NOTAM) μέσω του επίσημου ιστότοπου της Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας (ΥΠΑ) ή του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Ασφάλειας της Αεροπορίας (EASA), ενώ καθορίζεται ένα σταθερό, επίπεδο και καθαρό σημείο απογείωσης και προσγείωσης.

Η ασφάλεια του χειριστή και των παρευρισκόμενων δεν πρέπει να παραβλέπεται. Ο χειριστής οφείλει να φοράει τα κατάλληλα μέσα ατομικής προστασίας, όπως γάντια, μάσκα και προστατευτικά γυαλιά, λόγω της χρήσης φυτοφαρμάκων. Κοντά στο σημείο πτήσης πρέπει να υπάρχουν κουτί πρώτων βοηθειών και πυροσβεστήρας, ενώ δοκιμάζεται και ο μηχανισμός απομακρυσμένης διακοπής λειτουργίας του ΣμηΕΑ (kill switch). Κατά την πτήση, πρέπει να διατηρείται ασφαλής απόσταση από ανθρώπους ή ζώα.

Τέλος, συνιστάται η χρήση μίας σύντομης λίστας πριν την απογείωση, για να διασφαλιστεί ότι όλα τα βασικά σημεία έχουν ελεγχθεί. Σε αυτό περιλαμβάνονται η

μπαταρία του ΣμηΕΑ, του τηλεχειριστηρίου, οι έλικες, η δεξαμενή και τα ακροφύσια ψεκασμού, η σύνδεση με την εφαρμογή και η κατάσταση των καιρικών συνθηκών.

3.2 Συντήρηση

Μετά από κάθε πτήση ψεκασμού με χρήση ΣμηΕΑ, είναι απαραίτητο να ακολουθείται μια οργανωμένη διαδικασία συντήρησης, ώστε να διασφαλίζεται η ομαλή και ασφαλής λειτουργία του εξοπλισμού. Το πρώτο βήμα είναι ο σχολαστικός καθαρισμός. Αμέσως μετά τον ψεκασμό, πρέπει να αδειάζεται πλήρως η δεξαμενή του ψεκαστικού υγρού, απορρίπτοντας τα υπολείμματα με τρόπο ασφαλή και σύμφωνα με τους κανονισμούς. Στη συνέχεια, η δεξαμενή ξεπλένεται με καθαρό νερό τουλάχιστον δύο έως τρεις φορές. Αν έχει χρησιμοποιηθεί ισχυρό διάλυμα, ενδείκνυται και η χρήση ειδικού καθαριστικού ή εξουδετερωτικού, σύμφωνα πάντα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Τα ακροφύσια και οι σωληνώσεις πρέπει επίσης να καθαρίζονται προσεκτικά, είτε με ξέπλυμα είτε με πεπιεσμένο αέρα, ώστε να απομακρυνθούν τυχόν υπολείμματα. Τέλος, ολόκληρη η εξωτερική επιφάνεια του ΣμηΕΑ πρέπει να σκουπιστεί με μαλακό, ελαφρώς υγρό πανί, αποφεύγοντας την απευθείας χρήση νερού στα ηλεκτρονικά μέρη.

Αφού ολοκληρωθεί ο καθαρισμός, ακολουθεί ένας βασικός οπτικός και λειτουργικός έλεγχος. Οι έλικες θα πρέπει να επιθεωρούνται για ρωγμές, φθορά ή παραμορφώσεις. Τα μοτέρ πρέπει να περιστρέφονται ομαλά χωρίς αντίσταση ή ασυνήθιστο θόρυβο, ενώ είναι σημαντικό να ελεγχθούν για σκουριά ή υγρασία. Ο σκελετός του ΣμηΕΑ πρέπει να ελέγχεται για ρωγμές, λυγισμένα σημεία ή χαλαρές βίδες. Η δεξαμενή και η αντλία του ψεκαστικού πρέπει να είναι στεγανές και να λειτουργούν χωρίς προβλήματα στην πίεση ή στον ρυθμό ροής. Παράλληλα, ελέγχεται η σωστή λειτουργία των ακροφυσίων με δοκιμαστικό ψεκασμό νερού, ενώ οι ηλεκτρονικές συνδέσεις εξετάζονται για χαλαρά καλώδια, υγρασία ή σημάδια διάβρωσης. Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται στις μπαταρίες. Αφού πρώτα τις αφήσουμε να κρυώσουν μετά την πτήση, τις ελέγχουμε για παραμορφώσεις, φούσκωμα ή διαρροές. Οι επαφές τους καθαρίζονται με στεγνό πανί και εφόσον δεν πρόκειται να επαναχρησιμοποιηθούν άμεσα, συνιστάται να αποφορτιστούν μερικώς (περίπου στο 50–60%) και να αποθηκευτούν σε δροσερό, ξηρό περιβάλλον, μακριά από απευθείας επαφή με μέταλλα ή πηγές θερμότητας.

Στο τέλος κάθε ημέρας πτήσης, καλό είναι να γίνεται έλεγχος και των λογισμικών. Αν απαιτείται, αποθηκεύονται τα δεδομένα πτήσης και ψεκασμού για τεκμηρίωση ή ανάλυση, ενώ ελέγχεται η έκδοση του firmware ώστε να διασφαλίζεται ότι το ΣμηΕΑ λειτουργεί με τις πιο πρόσφατες βελτιώσεις από τον κατασκευαστή. Εάν υπάρχουν παρατηρήσεις για τη λειτουργία του ΣμηΕΑ (όπως θόρυβοι, αστοχίες, πτώση απόδοσης), αυτές καταγράφονται για μελλοντικό έλεγχο ή επισκευή. Είναι επίσης ιδιαίτερα χρήσιμο να τηρείται ημερολόγιο συντήρησης. Σε αυτό καταγράφονται η ημερομηνία και η διάρκεια των πτήσεων, η ποσότητα ψεκαστικού διαλύματος που χρησιμοποιήθηκε, τυχόν προβλήματα που παρατηρήθηκαν και ενέργειες που έγιναν (π.χ. αντικατάσταση έλικα, καθαρισμός φίλτρων). Το ημερολόγιο είναι πολύτιμο όχι μόνο για την εσωτερική οργάνωση του χειριστή ή της ομάδας, αλλά και σε περιπτώσεις τεχνικού ελέγχου ή πιστοποίησης.

Τέλος, ανάλογα με τις ώρες πτήσης και τη συχνότητα χρήσης, συνιστάται και η περιοδική προληπτική συντήρηση. Κάθε 10–20 ώρες λειτουργίας καλό είναι να γίνεται

πιο λεπτομερής καθαρισμός, έλεγχος ή και αντικατάσταση φίλτρων. Ανά 50–100 ώρες προτείνεται να αντικαθίστανται οι έλικες και να ελέγχονται πιο σχολαστικά τα μοτέρ. Σε επαγγελματικά ή εντατικά χρησιμοποιούμενα ΣμηΕΑ, συνιστάται επίσης μία ετήσια συντήρηση από εξειδικευμένο τεχνικό, σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή.

4. Αποτελέσματα δοκιμών ψεκασμού

4.1 Ταχύτητα

Η τυπική ταχύτητα πτήσης για ψεκασμό με ΣμηΕΑ είναι 3 έως 6 μέτρα ανά δευτερόλεπτο (m/s). Χαμηλότερες ταχύτητες, 3 με 4 m/s, προτιμώνται όταν οι καλλιέργειες είναι πυκνές ή ψηλές, όταν υπάρχει μεγάλη φυλλική επιφάνεια που πρέπει να καλυφθεί ή όταν απαιτείται πιο πυκνή και ομοιόμορφη κάλυψη για αυξημένη αποτελεσματικότητα του φυτοπροστατευτικού προϊόντος. Χαμηλή ταχύτητα βοηθά επίσης στη μείωση μετατόπισης των σταγονιδίων εκτός στόχου (drift), ειδικά σε συνθήκες ελαφρού ανέμου. Αντίθετα, υψηλότερες ταχύτητες, περίπου 5–6 m/s, χρησιμοποιούνται σε πιο ανοιχτά ή ομοιόμορφα χωράφια (π.χ. σιτηρά ή χαμηλής βλάστησης καλλιέργειες), ή όταν το ΣμηΕΑ διαθέτει υψηλή παροχή (lt/min) από τα ακροφύσια, ώστε να διατηρείται ο επιθυμητός όγκος εφαρμογής ανά εκτάριο (lt/ha) χωρίς να μειώνεται η πυκνότητα κάλυψης.

Η διατήρηση σταθερής ταχύτητας σε όλη τη διαδρομή είναι κρίσιμη για ομοιόμορφη κάλυψη και αποφυγή είτε υπερδοσολογίας είτε υποδοσολογίας. Σε προγραμματισμένες πτήσεις, οι αυτόματοι πιλότοι των ΣμηΕΑ ρυθμίζουν την ταχύτητα για να ευθυγραμμίζεται με την επιλεγμένη παροχή και τον επιθυμητό όγκο ψεκασμού ανά εκτάριο. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα δοκιμών ανα καλλιέργεια ως προς την ταχύτητα ψεκασμού.

Αμπέλι

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, οι πτήσεις με ταχύτητα 2 m/s προσδιορίστηκαν επίσης ως βέλτιστες για αυξημένη κάλυψη του φυλλώματος και μείωση της μετατόπισης των σταγονιδίων εκτός στόχου (Sassu. et al., 2024, Wen et al. 2019).

Σιτάρι

Η ταχύτητα πτήσης του ψεκαστικού ΣμηΕΑ 5 m/s με τρία ακροφύσια συμμετρικά τοποθετημένα και στις δύο πλευρές του ΣμηΕΑ σε διαστήματα 625 mm (Wang et al., 2019).

Βαμβάκι

Οι βελτιστοποιημένες επιχειρησιακές παράμετροι του UAV περιλαμβάνουν ταχύτητα πτήσης στα 3 m/s καθώς μειώνουν σημαντικά την παρέκκλιση του ψεκασμού, εξασφαλίζοντας ότι περισσότερο φυτοφάρμακο θα φτάσει στην περιοχή-στόχο και λιγότερο θα μολύνει τις μη στοχευόμενες περιοχές (Rajesh et al., 2024).

Ελιά

Σε αυτή τη μελέτη, επιλέχθηκαν τρία μοντέλα ψεκαστικών UAV με περιστροφικές πτέρυγες για ψεκασμό στην ελιά με μέγιστες ταχύτητες ψεκασμού 10 και 12 m/s (Morales-Rodríguez et al., 2022).

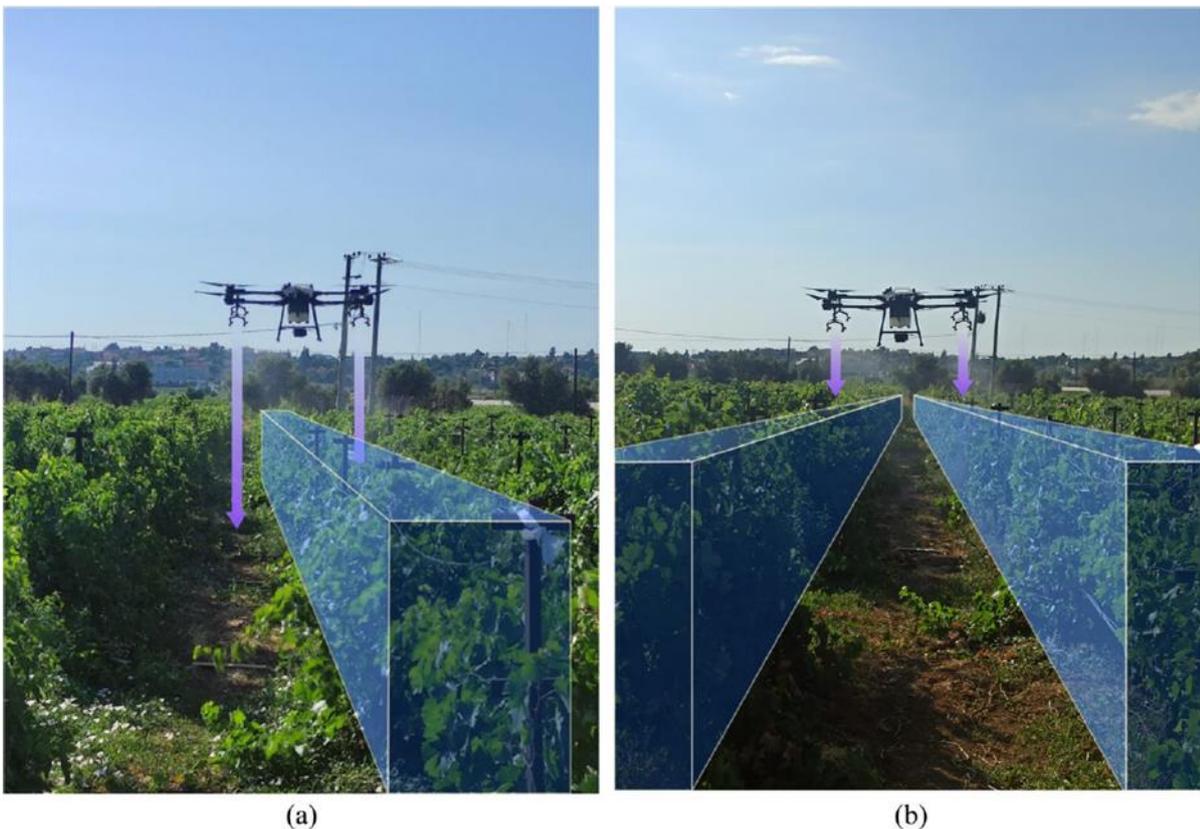
Συμπεράσματα

Η βέλτιστη ταχύτητα ψεκασμού με τη χρήση ΣμηΕΑ για το ψεκασμό αμπελιού είναι τα 2 m/s ενώ για το σιτάρι και το βαμβάκι η ταχύτητα είναι τα 5 και τα 3 m/s αντίστοιχα. Τέλος για την ελιά η ταχύτητα που πρέπει να ρυθμιστεί το ψεκαστικό ΣμηΕΑ είναι 3 m/s.

4.2 Θέση Αεροσκάφους

Αμπέλι

Όσο αφορά το ψεκασμό στον αμπελώνα, οι δυνατές θέσεις ψεκασμού του ΣμηΕΑ χωρίζονται σε πτήση πάνω από το διαχωριστικό κενό μεταξύ των γραμμών καλλιέργειας (Overrow) και σε πτήση πάνω πάνω από τις γραμμές καλλιέργειας (Interrow) όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 1.



Εικόνα 1. Η δυνατές θέσεις του ΣμηΕΑ κατά το ψεκασμό αμπελώνα με τις μεταχειρίσεις Overrow (α) και Interrow (β) αντίστοιχα. Οι σειρές-στόχοι της καλλιέργειας επισημαίνονται από τα τρισδιάστατα μπλε διαφανή σχήματα καθώς και η κατεύθυνση των σταγονιδίων ψεκασμού.

Η πτήση πάνω από το διαχωριστικό κενό μεταξύ των γραμμών καλλιέργειας, με τα ακροφύσια ακριβώς πάνω από την κόμη της καλλιέργειας, αποτελεί την καλύτερη ρύθμιση για να διευκολυνθεί η διείδυση των σταγονιδίων στο εσωτερικό της κόμης, ώστε να φτάσουν στα χαμηλότερα μέρη, που γενικά προσβάλλονται περισσότερο από την ασθένεια, και να μειωθεί η διασπορά εκτός στόχου (Sassu. et al., 2024).

Επιπλέον, η απόδοση ψεκασμού αξιολογήθηκε με χαρτιά ευαίσθητα στο νερό (WSP) τοποθετημένα μέσα στο φύλλωμα και στο έδαφος κατά μήκος των διαδρόμων, αποκτήθηκε μέσω ενός κώδικα MATLAB, ικανό να εξαγάγει διάφορες ιδιότητες σταγονιδίων από τα WSP, όπως η κατανομή της απόθεσης σταγονιδίων στις σειρές-

στόχους και εκτός στόχων για τις εξεταζόμενες μεταβλητές, δηλαδή την καλυπτόμενη περιοχή, τα σταγονίδια ανά cm², ο αριθμός μέσης διαμέτρου (NMD) και ο ρυθμός διείσδυσης μέσω του φυλλώματος. Η παραπάνω μελέτη πραγματοποιήθηκε από το εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας.

4.3 Υψόμετρο

Το ΣμηΕΑ πρέπει να πετά 1,5 έως 3 μέτρα πάνω από την κορυφή της καλλιέργειας για να επιτύχει καλή κάλυψη και να περιορίσει την απώλεια σταγονιδίων λόγω drift. Σε χαμηλές καλλιέργειες, όπως σιτηρά ή βαμβάκι, το ιδανικό ύψος τοποθετείτε σε φάσμα μεταξύ 1,5–2,5 μέτρα από το πάνω μέρος της φυλλικής επιφάνειας, ώστε οι σταγόνες να φτάνουν με την απαραίτητη κινητική ενέργεια για να προσκολληθούν στο φύλλωμα. Σε δένδροκαλλιέργειες, το ύψος καθορίζεται από το ύψος των δέντρων και τις ζώνες που πρέπει να καλυφθούν στα 2–4 μέτρα πάνω από το ανώτερο φύλλωμα, ή πραγματοποιούνται σταδιακά περάσματα σε διαφορετικά ύψη για να καλυφθούν καλύτερα όλα τα επίπεδα της κόμης.

Επιπλέον, όσο πιο κοντά βρίσκεται το ΣμηΕΑ στην καλλιέργεια, τόσο πιο αποδοτικά αξιοποιείται ο όγκος του ψεκαστικού διαλύματος, αφού λιγότερες σταγόνες χάνονται στο περιβάλλον. Ταυτόχρονα, πρέπει να αποφεύγεται η υπερβολικά χαμηλή πτήση (κάτω από 1 μέτρο) που μπορεί να προκαλέσει υπερδοσολογία σε συγκεκριμένα σημεία ή ζημιές από την ισχύ του ρεύματος αέρα που δημιουργούν οι έλικες (rotor wash), ειδικά σε ευαίσθητες καλλιέργειες.

Τέλος, σε περιοχές με επικλινές έδαφος ή ανωμαλίες, είναι σημαντικό το ΣμηΕΑ να χρησιμοποιεί αισθητήρες υψομέτρου ή lidar για αυτόματη προσαρμογή του ύψους και διατήρηση σταθερής απόστασης από το φύλλωμα σε όλη τη διαδρομή, εξασφαλίζοντας έτσι ομοιόμορφη εφαρμογή.

Αμπέλι

Όσον αφορά τους αμπελώνες, τα υψόμετρα που μας δίνουν επαρκές αποτέλεσμα ψεκασμού κυμαίνεται μεταξύ 2 και 2.5 m. Η θέση πτήσης ύψους 2 m έδειξε την καλύτερη απόδοση, με τη χαμηλότερη διασπορά εκτός στόχου και στο έδαφος (Sassu et al., 2024).

Σιτάρι

Τα αποτελέσματα του πειράματος δείχνουν ότι το βέλτιστο ύψος πτήσης για την εφαρμογή φυτοφαρμάκων με ΣμηΕΑ είναι 1,5 m πάνω από την καλλιέργεια σιταριού ή την περιοχή (Višacki et al., 2025).

Βαμβάκι

Παρατηρήθηκε ότι τα βέλτιστα σενάρια για τα τρία αεροσκάφη υπό τις συνθήκες χρήσης στην παρούσα μελέτη περιλαμβάνουν την εφαρμογή του μείγματος δεξαμενής σε βαμβάκι με ύψος πτήσης του ΣμηΕΑ 1,5 m (Liao et al., 2019).

Ελιά

Το μη επανδρωμένο αεροσκάφος ψέκασε σε δύο διαμορφώσεις με συγκεκριμένο ύψος 1 m πάνω από την κορυφή του θόλου, για να πετάξει πάνω από τη σειρά και γύρω από τη σειρά (Gertsis et al., 2022; Sánchez-Fernández et al., 2024).

Συμπεράσματα

Το βέλτιστο υψόμετρο ψεκασμού με ΣμηΕΑ εξαρτάται από το είδος της καλλιέργειας και τη δομή του φυλλώματος. Για το αμπέλι, το ύψος πτήσης των 2 m πάνω από την κορυφή της κόμης παρέχει την καλύτερη απόδοση, με μειωμένη διασπορά εκτός στόχου. Στο σιτάρι και στο βαμβάκι, το βέλτιστο ύψος προσδιορίζεται στα 1,5 m πάνω από την καλλιέργεια, ενώ στην ελιά απαιτείται χαμηλότερο ύψος, περίπου 1 m, ή εφαρμογές σε περισσότερα του ενός επίπεδα της κόμης.

4.4 Πίεση Ψεκασμού

Αμπέλι

Η πίεση λειτουργίας ορίστηκε στα 3 bar, καθώς προκαταρκτικές εργαστηριακές δοκιμές επιβεβαίωσαν ότι αυτή η τιμή είναι η βέλτιστη για να εξασφαλιστεί η σωστή διάνοιξη του ακροφυσίου, ο σταθερός σχηματισμός ψεκασμού και η ομοιογενής κατανομή του μεγέθους των σταγονιδίων (Biglia et al., 2025).

Σιτάρι

Η αντλία μεμβράνης (Pulandi Electromechanical Equipment Co., Ltd., Shijiazhuang, Κίνα) εκτέλεσε ψεκασμό με πίεση των ακροφυσίων στα 4 bar (Wang et al., 2019).

Βαμβάκι

Για την προστασία της καλλιέργειας βαμβακιού, η αποτελεσματικότερη ομοιομορφία ψεκασμού και κάλυψη επιτυγχάνεται με ένα ακροφύσιο κοίλου κώνου σχεδιασμένο για πίεση λειτουργίας στα 6.26 bar πίεσης (Rajesh et al., 2024).

Ελιά

Η εφαρμογή πραγματοποιήθηκε σε χαμηλή πίεση (2–3 bar) χωρίς νεφελοποίηση του προϊόντος. Από τα ακροφύσια δημιουργήθηκαν μεγάλες σταγόνες (4–6 mm) (D'Alessandro et al., 2024).

Συμπεράσματα

Η πίεση ψεκασμού επηρεάζει άμεσα τον σχηματισμό των σταγονιδίων και τη σταθερότητα του ψεκαστικού νέφους. Για τον ψεκασμό αμπελιού, η βέλτιστη πίεση είναι τα 3 bar, ενώ για το σιτάρι η αποτελεσματικότερη εφαρμογή επιτεύχθηκε στα 4 bar. Στο βαμβάκι απαιτούνται υψηλότερες πιέσεις, περίπου 6,26 bar, ενώ στην ελιά προτιμώνται χαμηλότερες πιέσεις της τάξης των 2–3 bar για τον περιορισμό της διασποράς εκτός στόχου.

4.5 Ακροφύσια

Αμπέλι

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το UAV εξοπλισμένο με ακροφύσια AIXR11003 και το πιστόλι ψεκασμού είχε τα μεγαλύτερα σταγονίδια, ενώ ο ψεκαστήρας πλάτης παρήγαγε τα μικρότερα (Sarrì et al., 2019).

Σιτάρι

Η βέλτιστη αποτελεσματικότητα ελέγχου επιτεύχθηκε με πιο χοντρά ακροφύσια (ακροφύσια LU120-02, -03) σε όγκο $>16,8 \text{ L ha}^{-1}$ με συστηματικό εντομοκτόνο και σε $28,1 \text{ L ha}^{-1}$ με εντομοκτόνο επαφής και μυκητοκτόνο (Wang et al., 2019).

Βαμβάκι

Το ΣμηΕΑ είναι ένα τετρακόπτερο που μεταφέρει μια δεξαμενή 16 λίτρων χρησιμοποιώντας διπλές περισταλτικές αντλίες υψηλής πίεσης που τροφοδοτούν τέσσερα ακροφύσια επίπεδου ανεμιστήρα (Teejet XR11001 - δύο ανά αντλία) τοποθετημένα ακριβώς κάτω από τους τέσσερις ρότορες (Cavalaris et al., 2022).

Ελιά

Το σύστημα ψεκασμού UAV είναι ένα πρωτότυπο εξάκοπτερο εξοπλισμένο με σύστημα RTK-GNSS (Here3+, HexAero Pte. Ltd, SG), δεξαμενή 16 λίτρων και τέσσερα πράσινα ακροφύσια κοίλου κώνου (KZ-80 06, Ningbo Licheng Agricultural Spray Technology Co., Ltd, Υuyao, CN) τοποθετημένα ακριβώς κάτω από τους εμπρόσθιους ρότορες (Sánchez-Fernández et al., 2024).

Συμπεράσματα

Η επιλογή ακροφυσίων αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την αποτελεσματικότητα του ψεκασμού με ΣμηΕΑ. Στον αμπελώνα, τα ακροφύσια τύπου air-induction (π.χ. AIXR11003) αποδείχθηκαν καταλληλότερα λόγω της μειωμένης διασποράς και της καλύτερης εναπόθεσης. Στο σιτάρι, η χρήση πιο χονδρών ακροφυσίων (LU120-02 και LU120-03) οδήγησε σε βελτιωμένη αποτελεσματικότητα. Για το βαμβάκι προτιμήθηκαν ακροφύσια επίπεδου ανεμιστήρα, ενώ στην ελιά χρησιμοποιήθηκαν ακροφύσια κοίλου κώνου για τη δημιουργία μεγαλύτερων σταγονιδίων και τη μείωση της περιβαλλοντικής έκθεσης.

5. Σύνοψη και συμπεράσματα

Με βάση τα αποτελέσματα των πειραματικών δοκιμών και τη συνολική ανάλυση των επιχειρησιακών παραμέτρων ψεκασμού, καθίσταται σαφές ότι η αποτελεσματική και ασφαλής χρήση ψεκαστικών Συστημάτων μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (ΣμηΕΑ) προϋποθέτει τον ορθό σχεδιασμό της εφαρμογής και τη σωστή προσαρμογή των ρυθμίσεων στις ιδιαιτερότητες κάθε καλλιέργειας. Η επιλογή της ταχύτητας πτήσης, του ύψους εφαρμογής, της πίεσης ψεκασμού και των ακροφυσίων θα πρέπει να γίνεται με βάση τις βέλτιστες επιχειρησιακές παραμέτρους που προσδιορίστηκαν από τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης και της σχετικής βιβλιογραφίας, όπως η ταχύτητα πτήσης, το ύψος εφαρμογής, η πίεση ψεκασμού και ο τύπος των ακροφυσίων, με στόχο τη βελτίωση της εναπόθεσης εντός της καλλιέργειας και τον περιορισμό της απώλειας του ψεκαστικού διαλύματος στο έδαφος ή εκτός στόχου.

Ιδιαίτερη έμφαση πρέπει να δίνεται στη διατήρηση σταθερών συνθηκών πτήσης κατά τη διάρκεια της εφαρμογής, καθώς η μεταβολή της ταχύτητας ή του υψομέτρου μπορεί να οδηγήσει σε ανομοιομορφία εναπόθεσης και σε φαινόμενα υποδοσολογίας ή υπερδοσολογίας. Στην περίπτωση του αμπελώνα, τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης καταδεικνύουν ότι η πτήση πάνω από το διάστημα μεταξύ των γραμμών καλλιέργειας και σε κατάλληλο ύψος από την κορυφή της κόμης συμβάλλει στη βελτιωμένη διείσδυση των σταγονιδίων στο εσωτερικό του φυλλώματος και στη μείωση των απωλειών στο έδαφος. Παράλληλα, η ασφάλεια του χειριστή και η προστασία του περιβάλλοντος αποτελούν βασικές συνιστώσες της εφαρμογής φυτοπροστατευτικών προϊόντων με ΣμηΕΑ. Η τήρηση των προβλεπόμενων διαδικασιών ελέγχου πριν από την πτήση, η χρήση κατάλληλων μέσων ατομικής προστασίας και η συμμόρφωση με το ισχύον κανονιστικό πλαίσιο για τις πτήσεις και τη χρήση φυτοπροστατευτικών προϊόντων είναι απαραίτητες προϋποθέσεις για την αποφυγή κινδύνων και ανεπιθύμητων επιπτώσεων σε μη στόχους οργανισμούς.

Τέλος, η συστηματική συντήρηση και ο σχολαστικός καθαρισμός του εξοπλισμού μετά από κάθε εφαρμογή διασφαλίζουν τη μακροχρόνια αξιοπιστία του συστήματος και τη σταθερότητα της απόδοσής του. Η καταγραφή των δεδομένων πτήσης και ψεκασμού, καθώς και η περιοδική αξιολόγηση της εναπόθεσης με τη χρήση κατάλληλων μεθόδων, αποτελούν σημαντικά εργαλεία για τη συνεχή βελτίωση των πρακτικών εφαρμογής και την τεκμηρίωση της αποτελεσματικότητας των ΣμηΕΑ σε συνθήκες αγρού.

6. Βιβλιογραφία

1. Akpan, G. E., Ndukwu, M. C., Etim, P. J., Ekop, I. E., & Udoh, I. E. (2023). Food Safety and Agrochemicals: Risk Assessment and Food Security Implications. In M. C. Ogwu & S. Chibueze Izah (Eds.), *One Health Implications of Agrochemicals and their Sustainable Alternatives* (Vol. 34, pp. 301–333). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-99-3439-3_11.
2. B. Zhang, Z. Song, F. Zhao, C. Liu, Overview of propulsion systems for unmanned aerial vehicles, *Energies*. (Basel) 15 (2022) 455.
3. Baio, F. H. R., Antuniassi, U. R., Castilho, B. R., Teodoro, P. E., & Silva, E. E. D. (2019). Factors affecting aerial spray drift in the Brazilian Cerrado. *PLoS ONE*, 14(2), e0212289. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212289>.
4. Biglia, A., Mozzanini, E., Gioelli, F., Sopegno, A., Alcatrão, L. E., Suci, N. A., ... & Grella, M. (2025). Assessing the potential efficacy and efficiency of UASS vine-targeted spray application across growth stages. *Smart Agricultural Technology*, 101532.
5. C. Byers, S. Virk, G.C. Rains, S. Li, Spray Deposition and Uniformity Assessment of Unmanned Aerial Application Systems (UAAS) at Varying Operational Parameters, *Front. Agron.* 6 (2024) 1418623.
6. C. Wang, A. Herbst, A. Zeng, S. Wongsuk, B. Qiao, P. Qi, J. Bonds, V. Overbeck, Y. Yang, W. Gao, X. He, Assessment of spray deposition, drift and mass balance from unmanned aerial vehicle sprayer using an artificial vineyard, *Sci. Total Environ.* 777 (2021), <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146181>.
7. Calderone, G., Ferro, M. V., & Catania, P. *Smart Agricultural Technology*.
8. Cavalaris, C., Karamoutis, C., & Markinos, A. (2022). Efficacy of cotton harvest aids applications with unmanned aerial vehicles (UAV) and ground-based field sprayers—A case study comparison. *Smart Agricultural Technology*, 2, 100047.
9. Chavarri, M. J., Herrera, A., & Ariño, A. (2004). Pesticide residues in field-sprayed and processed fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84(10), 1253–1259. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1791>.
10. Chen, H., Lan, Y., Fritz, B. K., Clint Hoffmann, W., Liu, S., et al. (2021). Review of agricultural spraying technologies for plant protection using unmanned aerial vehicle (UAV). *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 14(1), 38–49. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20211401.5714>.
11. D. Sarri, L. Martelloni, M. Rimediotti, R. Lisci, S. Lombardo, M. Vieri, Testing a multi-rotor unmanned aerial vehicle for spray application in high slope terraced vineyard, *J. Agric. Eng.* 50 (2019) 38–47, <https://doi.org/10.4081/jae.2019.853>.
12. D'Alessandro, A., Coletta, M., Torresi, A., Dell'Ambrogio, G., Renaud, M., Ferrari, B. J., & La Terza, A. (2024). Evaluation of the impact of plant protection products (PPPs) on non-target soil organisms in the olive orchard: Drone (aerial) spraying vs. tractor (ground) spraying. *Sustainability*, 16(24), 11302.
13. De Castro, A., Torres-Sánchez, J., Peña, J., Jiménez-Brenes, F., Csillik, O., & López-Granados, F. (2018). An automatic random forest-OBIA algorithm for early weed mapping between and within crop rows using UAV imagery. *Remote Sensing*, 10(3), 285. <https://doi.org/10.3390/rs10020285>.
14. Dhananjayan, V., & Ravichandran, B. (2018). Occupational health risk of farmers exposed to pesticides in agricultural activities. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 4, 31–37. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.07.005>.
15. Dhananjayan, V., Jayakumar, S., & Ravichandran, B. (2020). Conventional Methods of Pesticide Application in Agricultural Field and Fate of the Pesticides in the Environment and Human Health. In K. R. Rakhimol, S. Thomas, T. Volova, & K. Jayachandran (Eds.), *Controlled Release of Pesticides for Sustainable Agriculture*

- (pp. 1–39). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23396-9_1.
16. European Parliament, C. of the E. (2009). Directive 2009/128/EC of the European Parliament and Of the Council of 21 October 2009 establishing a framework for Community action to achieve the sustainable use of pesticides (Text with EEA relevance). Official Journal of the European Union, 1–16.
 17. FAO. (2017). The future of food and agriculture: Trends and challenges. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
 18. Gertsis, A., & Karampekos, L. (2022). Evaluation of spray coverage and other spraying characteristics from ground and aerial sprayers (drones: UAVs) used in a high-density planting olive grove in Greece. In *Information and Communication Technologies for Agriculture—Theme IV: Actions* (pp. 255-268). Cham: Springer International Publishing.
 19. Grella, M., Gallart, M., Marucco, P., Balsari, P., & Gil, E. (2017). Ground deposition and airborne spray drift assessment in vineyard and orchard: The influence of environmental variables and sprayer settings. *Sustainability*, 9(5), 728. <https://doi.org/10.3390/su9050728>.
 20. He, S. Xiao, H. Fang, T. Dong, Y. Tang, P. Nie, J. Wu, S. Luo, Development situation and spraying decision of spray nozzle for plant protection UAV, *Trans. Chine. Soc Agric. Eng.* 34 (2018) 113–124.
 21. Hunter, J. E., Gannon, T. W., Richardson, R. J., Yelverton, F. H., & Leon, R. G. (2020). Coverage and drift potential associated with nozzle and speed selection for herbicide applications using an unmanned aerial sprayer. *Weed Technology*, 34(2), 235–240. <https://doi.org/10.1017/wet.2019.101>.
 22. Kakaletsis, E., Symeonidis, C., Tzelepi, M., Mademlis, I., Tefas, A., Nikolaidis, N., & Pitas, I. (2022). Computer vision for autonomous UAV flight safety: An overview and a vision-based safe landing pipeline example. *ACM Computing Surveys*, 54(9), 1–37. <https://doi.org/10.1145/3472288>.
 23. Kayad, A., Sozzi, M., Gatto, S., Whelan, B., Sartori, L., & Marinello, F. (2021). Ten years of corn yield dynamics at field scale under digital agriculture solutions: A case study from North Italy. *Computers and Electronics in Agriculture*, 185, 106126. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106126>.
 24. Kestur, R., Omkar, S. N., & Subhash, S. (2020). Unmanned Aerial System Technologies for Pesticide Spraying. In A. K. Chakravarthy (Ed.), *Innovative Pest Management Approaches for the 21st Century* (pp. 47–60). Springer.
 25. Liao, J., Zang, Y., Luo, X., Zhou, Z., Lan, Y., Zang, Y., ... & Hewitt, A. J. (2019). Optimization of variables for maximizing efficacy and efficiency in aerial spray application to cotton using unmanned aerial systems. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 12(2), 10-17.
 26. Lou, Z., Xin, F., Han, X., Lan, Y., Duan, T., & Fu, W. (2018). Effect of unmanned aerial vehicle flight height on droplet distribution, drift and control of cotton aphids and spider mites. *Agronomy*, 8(9), 187. <https://doi.org/10.3390/agronomy8090187>.
 27. Lykogianni, M., Bempelou, E., Karamaouna, F., & Aliferis, K. A. (2021). Do pesticides promote or hinder sustainability in agriculture? The challenge of sustainable use of pesticides in modern agriculture. *Science of the Total Environment*, 795, 148625. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148625>.
 28. Maimaitiyiming, M., Sagan, V., Sidike, P., Maimaitijiang, M., Miller, A. J., & Kwasniewski, M. (2020). Leveraging very-high spatial resolution hyperspectral and thermal UAV imageries for characterizing diurnal indicators of grapevine physiology. *Remote Sensing*, 12(19), 3216. <https://doi.org/10.3390/rs12193216>.
 29. Melović, B., Cirović, D., Backovic-Vulić, T., Dudić, B., & Gubiniova, K. (2020). Attracting green consumers as a basis for creating sustainable marketing strategy on the organic market—relevance for sustainable agriculture business

- development. *Foods*, 9(11), 1552. <https://doi.org/10.3390/foods9111552>.
30. Mogili, U. R., & Deepak, B. B. V. L. (2018). Review on application of drone systems in precision agriculture. *Procedia Computer Science*, 133, 502–509. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.07.063>.
31. Morales-Rodríguez, P. A., Cano Cano, E., Villena, J., & López-Perales, J. A. (2022). A comparison between conventional sprayers and new UAV sprayers: A study case of vineyards and olives in extremadura (Spain). *Agronomy*, 12(6), 1307.
32. P. Hu, R. Zhang, J. Yang, L. Chen, Development status and key technologies of plant protection UAVs in China: a review, *Drones* 6 (2022) 354.
33. Pádua, L., Marques, P., Adão, T., Guimarães, N., Sousa, A., Peres, E., & Sousa, J. J. (2019). Vineyard variability analysis through UAV-based vigour maps to assess climate change impacts. *Agronomy*, 9(10), 581. <https://doi.org/10.3390/agronomy9100581>.
34. Park, S., Ryu, D., Fuentes, S., Chung, H., Hernández-Montes, E., & O'Connell, M. (2017). Adaptive estimation of crop water stress in nectarine and peach orchards using high-resolution imagery from an unmanned aerial vehicle (UAV). *Remote Sensing*, 9(8), 828. <https://doi.org/10.3390/rs9080828>.
35. Peña, J. M., Torres-Sánchez, J., De Castro, A. I., Kelly, M., & López-Granados, F. (2013). Weed mapping in early-season maize fields using object-based analysis of unmanned aerial vehicle (UAV) images. *PLoS ONE*, 8(10), e77151. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0077151>.
36. Qin, W.-C., Qiu, B.-J., Xue, X.-Y., Chen, C., Xu, Z.-F., & Zhou, Q.-Q. (2016). Droplet deposition and control effect of insecticides sprayed with an unmanned aerial vehicle against plant hoppers. *Crop Protection*, 85, 79–88. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.03.018>.
37. Quantick, H. R. (1979). Safety aspects of the aerial application of pesticides. *The Aeronautical Journal*, 83(821), 175–182. <https://doi.org/10.1017/S0001924000095749>.
38. Radoglou-Grammatikis, P., Sarigiannidis, P., Lagkas, T., & Moscholios, I. (2020). A compilation of UAV applications for precision agriculture. *Computer Networks*, 172, 107148. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2020.107148>.
39. Rahman, S. M. E., Mele, M. A., Lee, Y.-T., & Islam, M. Z. (2021). Consumer preference, quality, and safety of organic and conventional fresh fruits, vegetables, and cereals. *Foods*, 10(1), 105. <https://doi.org/10.3390/foods10010105>.
40. Rajesh, P., Mohankumar, A. P., Kavitha, R., Suthakar, B., & Ganesan, K. (2024). Optimizing the impact of spray characteristics of hybrid drone on spray deposition in cotton crops. *CURRENT SCIENCE*, 127(3), 297.
41. Sánchez-Fernández, L., Barrera-Báez, M., Martínez-Guanter, J., & Pérez-Ruiz, M. (2024). Reducing environmental exposure to PPPs in super-high density olive orchards using UAV sprayers. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1272372.
42. Sarri, D., Martelloni, L., Rimediotti, M., Lisci, R., Lombardo, S., & Vieri, M. (2019). Testing a multi-rotor unmanned aerial vehicle for spray application in high slope terraced vineyard. *Journal of Agricultural Engineering*, 50(1), 38–47. <https://doi.org/10.4081/jae.2019.853>.
43. Sassu, A., Motta, J., Deidda, A., Ghiani, L., Carlevaro, A., Garibotto, G., & Gambella, F. (2023). Artichoke deep learning detection network for site-specific agrochemicals UAS spraying. *Computers and Electronics in Agriculture*, 213, 108185. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.108185>.
44. Sassu, A., Psiroukis, V., Bettucci, F., Ghiani, L., Fountas, S., & Gambella, F. (2024). Unmanned aerial system plant protection products spraying performance evaluation on a vineyard. *Precision Agriculture*, 25(4), 2082–2112.
45. Seo, B., Lee, J., Lee, K.-D., Hong, S., & Kang, S. (2019). Improving remotely-sensed crop monitoring by NDVI-based crop phenology estimators for corn and

- soybeans in Iowa and Illinois, USA. *Field Crops Research*, 238, 113–128. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.03.015>.
46. Syafrudin, M., Kristanti, R. A., Yuniarto, A., Hadibarata, T., Rhee, J., Al-onazi, W. A., et al. (2021). Pesticides in drinking water—A review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(2), 468. <https://doi.org/10.3390/ijerph18020468>.
47. Tsouros, D. C., Bibi, S., & Sarigiannidis, P. G. (2019). A review on UAV-based applications for precision agriculture. *Information*, 10(11), 349. <https://doi.org/10.3390/info10110349>.
48. Van Den Berg, H., Gu, B., Grenier, B., Kohlschmid, E., Al-Eryani, S., Da Silva Bezerra, H. S., et al. (2020). Pesticide lifecycle management in agriculture and public health: Where are the gaps? *Science of the Total Environment*, 742, 140598. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140598>.
49. Višacki, V., Sedlar, A., Turšijan, L., Vasić, F., Burg, P., & Pavlović, L. (2025). Impact of Altitude, Nozzle Type and Remote Sensing on Pesticide Deposition Quality and Efficiency in Wheat Crop Protection.
50. Wang, G., Han, Y., Li, X., Andaloro, J., Chen, P., Hoffmann, W. C., et al. (2020). Field evaluation of spray drift and environmental impact using an agricultural unmanned aerial vehicle (UAV) sprayer. *Science of the Total Environment*, 737, 139793. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139793>.
51. Wang, G., Lan, Y., Qi, H., Chen, P., Hewitt, A., & Han, Y. (2019). Field evaluation of an unmanned aerial vehicle (UAV) sprayer: effect of spray volume on deposition and the control of pests and disease in wheat. *Pest management science*, 75(6), 1546-1555.
52. Wen, S., Han, J., Ning, Z., Lan, Y., Yin, X., Zhang, J., & Ge, Y. (2019). Numerical analysis and validation of spray distributions disturbed by quad-rotor drone wake at different flight speeds. *Computers and Electronics in Agriculture*, 166, 105036. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105036>.
53. Woods, N., Craig, I. P., Dorr, G., & Young, B. (2001). Spray drift of pesticides arising from aerial application in cotton. *Journal of Environmental Quality*, 30(3), 697–701. <https://doi.org/10.2134/jeq2001.303697x>.
54. Zhang, L., Zhang, H., Niu, Y., & Han, W. (2019). Mapping maize water stress based on UAV multispectral remote sensing. *Remote Sensing*, 11(6), 605. <https://doi.org/10.3390/rs11060605>.