**ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ & ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ**

**ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΩΝ ΓΕΩΠΟΝΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

# «Η Χρήση μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων (Drones) στην ελληνική γεωργία »

**Επιβλέπων Καθηγητής: Χρήστος Ι. Δημητριάδης**

**Επίκουρος Καθηγητής**

**ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΜΙΧΑΗΛΙΔΗΣ**

**Θεσσαλονίκη, Ιούνιος 2018**

**ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ & ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ**

**ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΩΝ ΓΕΩΠΟΝΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

# «Η Χρήση μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων (Drones) στην ελληνική γεωργία »

**Επιβλέπων Καθηγητής: Χρήστος Ι. Δημητριάδης**

**Επίκουρος Καθηγητής**

**ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΜΙΧΑΗΛΙΔΗΣ**

**Θεσσαλονίκη, Ιούνιος 2018**

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια εισάγονται συνεχώς νέες πρακτικές και τεχνολογίες στον τομέα της γεωργικής παραγωγής, οι οποίες αντικαθιστούν τον παραδοσιακό τρόπο καλλιέργειας. Οι πρακτικές της Γεωργίας Ακριβείας (ΓΑ) έχουν κατά καιρούς παρουσιάσει την δυνατότητα να βελτιώνουν τα συστήματα παραγωγής. Για τον λόγο αυτό τεχνολογίες, όπως Συστήματα μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (Unmanned Aerial Vehicles-UAVs) και διάφορα εργαλεία τηλεπισκόπησης, έχουν προσαρμοστεί, ώστε να παρέχουν ακριβή δεδομένα για τις καλλιεργούμενες εκτάσεις. Σκοπός της εργασίας είναι να περιγράψει την καινοτόμα τεχνολογία των Μη επανδρωμένων εναέριων συστημάτων (Unmanned Aerial Systems-UAS), να αναλύσει τις χρήσεις τους στην γεωργία, αλλά και να αναφέρει τις έρευνες που διεξήχθησαν στην Ελλάδα όσον αφορά αυτά τα συστήματα και τη Γεωργία Ακριβείας.



**Λέξεις Κλειδιά: UAVs στην Ελλάδα**, **Τηλεπισκόπηση, Γεωργία Ακριβείας**

## ABSTRACT

In recent years, the increasingly growing advanced practices and technologies in the field of agricultural production, have taken over from traditional cultivation techniques. Methods used by Precision Agriculture periodically, have proven to develop the production systems. Therefore, technologies such as the Unmanned Aerial Systems (U.A.S.) and a variety of tools as remote-sensing are modified to provide accurate data from the cultivations. The purpose of this study is to illustrate sufficiently the innovative technology of the U.A.S., analyze its purpose on Agriculture and report researches conducted in Greece, regarding U.A.Vs and precision agriculture.



**Keywords: UAVs in Greece, Remote Sensing, Precision Agriculture**

# Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή ..... 8
2. Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας ..... 10
3. Μη επανδρωμένα ιπτάμενα οχήματα (UAV) στη γεωργία ..... 13
3.1 Ιστορική αναδρομή ..... 13
3.2 Περιγραφή UAS ..... 13
3.2.1 Μη Επανδρωμένα Εναέρια Οχήματα (UAVs) ή Drones ..... 14
3.3 Εξοπλισμός ..... 16
3.4 Νομοθεσία ..... 18
4. Χρήση στην Γεωργία ..... 20
4.1 Τηλεπισκόπηση ..... 20
4.2 Επεξεργασία δεδομένων ..... 22
4.2.1 Βασική επεξεργασία δεδομένων ..... 22
4.2.2 Ανάλυση δεδομένων ..... 23
4.2.3 Δείκτες βλάστησης ..... 24
4.2.4 Σύνοψη ..... 29
4.3 Εφαρμογές UAV στην Ελληνική Γεωργία ..... 30
4.4 Μειονεκτήματα UAV ..... 43
5. Συμπεράσματα ..... 44
6. Βιβλιογραφία ..... 46

## Περιεχόμενες Εικόνες

Εικόνα 1 - Αριστερά: UAV με σταθερές πτέρυγες eBee της εταιρίας SenseFly (Iatrou et al 2017), Δεξιά: UAV με 4 περιστρεφόμενους έλικες (Zhang, Kovacs 2012)..... 15
Εικόνα 2 - Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα-Οπτικό φάσμα (Οικονόμου 2014)..... 16
Εικόνα 3 - Ενεργειακή απορρόφηση στο οπτικό φάσμα από τους χλωροπλάστες (Price 2014) ..... 20
Εικόνα 4 - Απορρόφηση, ανάκλαση και μετάδοση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στο φύλλο (Price 2014)..... 20
Εικόνα 5 - Απορρόφηση(πάνω) και ανάκλαση(κάτω) ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας του φυλλώματος (Γέμτος 2015; Gago et al 2015) ..... 21
Εικόνα 6 - Παράδειγμα προγραμματισμού αποστολής UAV με την χρήση του λογισμικού Pix4Dcapture (Psirofonia et al 2017)..... 22
Εικόνα 7 - Παράδειγμα δημιουργίας Μωσαϊκού (Psirofonia et al 2017)..... 23
Εικόνα 8 - Συμπεριφορά κοντινής υπέρυθρης ακτινοβολίας μέσα στο φύλλωμα (Price 2014)..... 24
Εικόνα 9 - Γραμμική παλινδρόμηση μεταξύ τιμών NDVI από UAV και μετρήσεις από φασματοραδιόμετρο εδάφους ( Primicerio J. et al 2012) ..... 25
Εικόνα 10 - Σύγκριση τιμών NDVI από UAV (eBee) και δορυφόρο (Landsat-8) (Kavvadias et al 2015) ..... 25
Εικόνα 11 - Δείκτες που υπολογίστηκαν για την ανάλυση της ποικιλίας cabernet sauvignon στην περιοχή της Τράπεζας, Νομός Αχαΐας (Oikonomou 2014) ..... 28
Εικόνα 12 - Διάγραμμα ροής εργασιών τηλεπισκόπησης (Wikipedia-Τηλεπισκόπηση) ..... 29
Εικόνα 13 - Πτώση των τιμών του Δείκτη Καροτενοϊδών (CRI2) κατά τα αρχικά στάδια του παθογόνου (0, 1, 2, 3) (Zartaloudis et al 2015)..... 30
Εικόνα 14 - Μωσαϊκό θερμικής εικόνας ( στο κόκκινο η θερμοκρασία είναι αυξημένη λόγω πιθανής προσβολής) ( Zartaloudis et al 2015) ..... 31
Εικόνα 15 - Ορθοφωτοχάρτης ελαιώνα φιλτραρισμένος με τιμές NDVI σε κάθε εικονοστοιχείο (Gertsis et al 2015)..... 32
Εικόνα 16 - Εικόνες από το πέρασμα του UAV μέσα στον ελαιώνα. Εντοπίζονται ξεραμένοι κλαδίσκοι (Psirofonia et al 2017) ..... 32
Εικόνα 17 - Υψηλής ανάλυσης μωσαϊκό. Εντοπισμένα 26 ελαιόδενδρα πιθανόν προσβεβλημένα (Psirofonia et al 2017) ..... 32
Εικόνα 18 - Διάκριση αγροτεμαχίων αμπέλου ανάλογα την ποικιλία (Oikonomou et al 2015)..... 33
Εικόνα 19 - Σύγκριση του LAI από επίγεια μέσα με τιμές του LAI από τρισδιάστατα μοντέλα (RGB) (Kalisperakis et al 2015) ..... 34
Εικόνα 20 - Σύγκριση του LAI από υπεραφασματικά δεδομένα με τιμές του LAI από τρισδιάστατα μοντέλα (RGB) (Kalisperakis et al 2015)..... 34
Εικόνα 21 - Ορθοφωτοχάρτης NDVI (Iatrou G. et al 2017) ..... 35
Εικόνα 22 - Ορθοφωτοχάρτης CRI2 (Iatrou G. et al 2017)..... 35
Εικόνα 23 - Αλγόριθμος φασματικής ανάκλασης βασισμένος σε τιμές λίπανσης αζώτου και Δείκτη Επάρκειας (SI) (Iatrou et al 2013) ..... 36
Εικόνα 24 - UAV με 6 έλικες χρησιμοποιήθηκε για να φωτογραφίσει τον αγρό (Jannoura et al 2015) ..... 37

Εικόνα 25 - Συσχέτιση NGRDI με τον LAI (Jannoura et al 2015)..... 37
Εικόνα 26 - Ορθοφωτοχάρτης NDVI από δεδομένα UAV (Kavvadias et al 2015)..... 38
Εικόνα 27 - Χάρτης από NDVI δορυφόρου (Kavvadias et al 2015)..... 38
Εικόνα 28 - Συσχέτιση ποσοστού μεταβολής βλάστησης με της τιμές NDVI για κάθε αγροτεμάχιο (Kavvadias et al 2017)..... 40
Εικόνα 29 - Συσχέτιση ποσοστού μεταβολής βλάστησής (VCC%) ανάλογα με την κατηγορία λίπανσης (Kavvadias et al 2017)..... 40
Εικόνα 30 - Συσχέτιση τιμών NDVI ανά αγροτεμάχιο με την ανάλογη κατηγορία λίπανσης (Kavvadias et al 2017)..... 40
Εικόνα 31 - Χλωρώσεις φύλλων στης κορυφές του φοίνικα, χαρακτηριστικό της προσβολής του R. Ferrugineus (Psirofonia et al 2017)..... 41
Εικόνα 32 - Υποθετικό σενάριο συνέργειας ηλεκτρονικών παγίδων και ψεκαστικού UAV (Psirofonia et al 2017)..... 42

# 1. Εισαγωγή

Απαραίτητη προϋπόθεση για την μεγιστοποίηση της παραγωγής, την μείωση των εισροών και την ελαχιστοποίηση της μόλυνσης του περιβάλλοντος, ανά καλλιεργητική περίοδο, είναι η προσθήκη καινοτόμων πρακτικών για την καλλιέργεια και παραγωγή αγροτικών προϊόντων. Μια τέτοια πρακτική είναι η Γεωργία Ακριβείας (ΓΑ).

Στη συμβατική γεωργία η διαχείριση του αγρού είναι σχετικά ομοιόμορφη, όσον αφορά την φυτοπροστασία, την θρέψη και την άρδευση. Εν αντιθέσει, η ΓΑ χειρίζεται το κάθε αγροτεμάχιο με βάση τις δικιές του απαιτήσεις. Η ΓΑ χρησιμοποιώντας την πληροφορική και τα ηλεκτρονικά συστήματα, βοηθά τον γεωργό στη λήψη αποφάσεων για την καλύτερη διαχείριση του αγροκτήματος του (Gemtos et al. 2002) και χρησιμοποιεί διάφορες τεχνολογίες για κάθε στάδιο της παραγωγής.

Η τηλεπισκόπηση η οποία είναι κομμάτι της ΓΑ χρησιμοποιείται για την συλλογή και ανάλυση πληροφοριών σχετικά με τα χαρακτηριστικά του φυτού και του αγρού, γενικότερα. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση κατάλληλων αισθητήρων, οι οποίοι βρίσκονται τοποθετημένοι σε δορυφόρους, αεροσκάφη και επίγειες συσκευές (KhanalSami, 2017). Οι πληροφορίες αυτές σχετίζονται με την καταγραφή της ανακλώμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, ενώ τα τελικά αποτελέσματα μέσω εξειδικευμένων λογισμικών τεκμηριώνονται και παρουσιάζονται με παράγωγες εικόνες ή χάρτες (Οικονόμου, 2014), που βασίζονται σε ένα παγκόσμιο σύστημα τοποθεσίας (Global Position System-GPS).

Δορυφορικές εικόνες είναι το κύριο μέσο της τηλεπισκόπησης, όμως το υψηλό κόστος περιορίζει την χρήση τους. Ως αντικαταστάτες λειτουργούν τα μη επανδρωμένα ιπτάμενα οχήματα (UAV), τα οποία με την εμφάνιση τους έχουν προσφέρει νέες λύσεις στην παρακολούθηση και διαχείριση αγροκτημάτων, αφού είναι ικανά να δώσουν, γρήγορα και άμεσα υψηλής ανάλυσης πολυφασματικές και κανονικές εικόνες, με μικρότερο κόστος και μεγαλύτερη ακρίβεια, σε σχέση με τους δορυφόρους. Από τις εικόνες, μέσω λογισμικών, δίνεται η δυνατότητα να παραχθούν ακριβή, τρισδιάστατα γεωγραφικά ψηφιακά μοντέλα και χάρτες (Sinha J. P. Et al., 2016). Επίσης, αναπτύσσονται αλγόριθμοι (δείκτες βλάστησης), οι οποίοι μας δίνουν τιμές ανάλογα με την ανακλαστικότητα του αντικειμένου σε κάθε φασματική ζώνη. Ως αποτέλεσμα, δίνονται πληροφορίες για την κατάσταση της υγείας της καλλιέργειας, την πιθανή έλλειψη θρεπτικών στοιχείων, την ομοιομορφία του φυτρώματος, την εκτίμηση βιομάζας (φυλλικής επιφάνειας), την πιθανή διάβρωση του εδάφους και την ύπαρξη ζιζανίων. Επιπλέον, παρέχεται η δυνατότητα να εκτιμηθεί πιθανή υδατική καταπόνηση, να εντοπισθούν προσβολές εντόμων και ασθένειες παθογόνων, προτού υπάρξουν φανερά

συμπτώματα. Ακόμα, είναι πιθανό να αξιολογηθεί η θρεπτική κατάσταση του αγρού, καθώς και να βελτιωθεί η ποιότητα των παραγόμενων οίνων, αλλάζοντας τον χρόνο συλλογής των καρπών (Iatrou G., et al., 2017). Τέλος, μεγαλύτερα σε μέγεθος UAV, εξοπλισμένα με συστήματα ψεκαστήρων ή άλλα εργαλεία, είναι ικανά να πραγματοποιούν εναέριες καλλιεργητικές φροντίδες.

Σύμφωνα με τους Sinha et al. (2016), ενώ τα UAV ανέρχονται δυναμικά στις γεωργικές πρακτικές, υπάρχουν ακόμη περιορισμοί στην χρήση τους. Για να δημιουργηθούν εύρωστοι χάρτες απόδοσης καλλιέργειας, χρειάζονται αρκετές εναέριες παρακολουθήσεις κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Ωστόσο, η εικόνα που παράγουν εξαρτάται και σε μεγάλο βαθμό από την κατάσταση του καιρού. Το κόστος αγοράς ενός UAV και ενός λογισμικού για την επεξεργασία των δεδομένων, η απαραίτητη εκπαίδευση, η κρατική νομοθεσία για την χρήση τους, είναι κάποια επιπλέον μειονεκτήματα. Γενικότερα, θα πρέπει να τονιστεί πως η υιοθέτηση πρακτικών ΓΑ στις νοτιότερες χώρες της Ευρώπης είναι χαμηλή, λόγω μικρού μεγέθους αγροκτημάτων (Papadopoulos et al. 2014), μειωμένης επαφής των αγροτών με νέες τεχνολογίες, υψηλού κόστους αρχικής επένδυσης (Alexandridis Thomas and Zalidis G. 2017) και ελλιπής επίγνωσης για την ΓΑ.

Τα τελευταία χρόνια έχει γίνει μεγάλη προσπάθεια από αρκετούς προγραμματιστές από όλο τον κόσμο, αλλά και την Ελλάδα, να βελτιστοποιήσουν τα συστήματα των UAV (Misopolinos et al., 2015). Στόχος είναι να παρέχουν υψηλής ποιότητας και χαμηλού κόστους πληροφορίες για την κατάσταση της καλλιέργειας, να βελτιώσουν την δυναμική της συγκεκριμένης τεχνολογίας, όπως επίσης και να αυξήσουν την αξιοπιστία τους προς τους παραγωγούς, με σκοπό την ενσωμάτωση της στις γεωργικές πρακτικές της Ελλάδας.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να αναλύσει την τεχνολογία της τηλεπισκόπησης με χρήση μη επανδρωμένων οχημάτων (UAV), να επισημάνει τα πλεονεκτήματα και τους περιορισμούς αυτής της πρακτικής και πιο συγκεκριμένα να παρουσιάσει την εφαρμογή τους στην ελληνική γεωργία.

## 2. Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας

Βασικός στόχος των ερευνητών είναι η εκτίμηση και η αξιολόγηση των UAV στη ΓΑ. Η έρευνα στοχεύει να αξιολογήσει το αν είναι ικανά να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις της ΓΑ, ώστε να γίνουν ένα βασικό εργαλείο που θα παρέχει υψηλής ακρίβειας δεδομένα για την αύξηση της παραγωγής. Ακόμα, σκοπεύει στην περαιτέρω εξέλιξή τους.

Μόλις το 2013 δημοσιεύτηκε μια εργασία από τους Ιατρού Μ., Παπαδόπουλο Α. κ.α., οι οποίοι διεξήγαγαν ένα πείραμα καλαμποκιού χρησιμοποιώντας τηλεπισκοπηκά δεδομένα από UAV. Η εργασία έδειξε πως με την εκτίμηση ενός δείκτη επάρκειας αζώτου (SI), που προκύπτει από την ανάλυση ενός μόνο εδαφικού δείγματος για νιτρικά-Ν, σε συνδυασμό με ειδικούς αλγορίθμους που προκύπτουν από τα τηλεσκοπικά δεδομένα δίνονται χρήσιμες πληροφορίες για την καλύτερη διαχείριση του αζώτου. Ένα πείραμα ακόμα από το Ινστιτούτο Εδαφολογίας Θεσσαλονίκης (Papadopoulos et al 2014) διεξήχθη με σκοπό την συσχέτιση της φασματικής ανακλαστικότητας των φυτών με την εδαφική κατάσταση του αγρού σε Ν, χρησιμοποιώντας τηλεσκοπικά δεδομένα από UAV. Σε ένα πείραμα με τηλεπισκοπηκά δεδομένα μόνο από UAV, για την εκτίμηση της λίπανσης σε καλλιέργεια ντομάτας, εκτιμήθηκε πως χρειάζονται επιπλέον στοιχεία από το έδαφος και την καλλιέργεια για να επιτευχθούν καλύτερα συμπεράσματα (Kavvadias et al. 2017). Σύμφωνα με τους, Γέμτο και Φουντά (2015) τα εργαστήρια Γεωργικής Μηχανολογίας του ΑΠΘ και η Αμερικάνικη Γεωργική Σχολή εφαρμόζουν ανάλυση στοιχείων βασισμένα στην χρήση UAV για την επιτήρηση ορισμένων πειραμάτων τους.

Οι Karakizi et al. (2015), μελέτησαν τις φασματικές διαφοροποιήσεις σε διάφορες ποικιλίες αμπέλου από πέντε διαφορετικές περιοχές, με την χρήση φασματοραδιομέτρου, εναέριων (UAVs) σε συνδυασμό με δορυφορικά και επίγεια δεδομένα. Στόχος ήταν η εκτίμηση των φασματικών δεδομένων για την διάκριση των ποικιλιών της αμπέλου. Οι Karydas et al. (2017), χρησιμοποίησαν πολυφασματικά δεδομένα για μια χαρτογράφηση ενός ελαιώνα σε κλίμακα υποδέντρου. Αυτή η καινοτόμος μεθοδολογία έδειξε μεγάλη ακρίβεια στην χωρική παραλλακτικότητα των ελαιόδεντρων, όπως επίσης και περιπτώσεις στρες σε μερικά σημεία του δέντρου. Ένα μη επανδρωμένο εναέριο όχημα κατασκευάστηκε (Hexacopter UAV) και δοκιμάστηκε σε έναν δενδρώνα ακτινιδίων την Χρυσούπολη Καβάλας (Misopolinos et al 2015). Τα αποτελέσματα υπέδειξαν τους περιορισμούς του UAV και επισήμαναν την ανάγκη για βελτίωση του, ώστε να μπορέσει να εξελιχτεί σε εμπορικά διαθέσιμο προϊόν. Ένα άλλο πείραμα που έλαβε μέρος σε έναν εμπορικό ελαιώνα της Χαλκιδικής και συγκεκριμένα στην Πορταριά (Zartaloudis et al 2015), για το οποίο έγινε χρήση τηλεσκοπικών δεδομένων

από πολυφασματικές και θερμικές κάμερες ενσωματωμένες σε UAV ,όπως και εικόνες από δορυφόρο, κατάφερε να εντοπίσει αρχικά στάδια μόλυνσης από *Verticillium dahliae*. Σε έναν ελαιώνα στην αμερικάνικη Γεωργική σχολή Θεσσαλονίκης, χρησιμοποιήθηκαν πολυφασματικά δεδομένα (NDVI δείκτες) από UAV, αλλά και NDVI δείκτες από εδαφικές μετρήσεις (Gertsis et al 2015). Οι τιμές των δεικτών από τις δύο μετρήσεις ήταν παρόμοιες, ενισχύοντας έτσι την αξιοπιστία των UAV. Στο ίδιο μοτίβο κινήθηκαν και οι Kalisperakis et al. Στην περιοχή της Νεμέας, χρησιμοποιήθηκε ένα UAV με ενσωματωμένες κάμερες (μια υπεραφασματική και μια κοινή RGBκάμερα), για την τηλεπισκόπηση ενός αμπελώνα. Από τις φωτογραφίες που αντλήθηκαν, δημιουργήθηκαν χάρτες αλλά και 3D μοντέλα της καλλιέργειας, ενώ παράλληλα, δεδομένα συλλέχθηκαν επιτόπου από τον αγρό. Τα αποτελέσματα από τις δύο μετρήσεις είχαν πολύ υψηλή συσχέτιση. Από το πείραμα, επίσης, φάνηκε πως είναι εφικτό να υπολογιστεί ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI) από μια απλή κάμερα RGB. Οι Kavvadias et al (2015) από το Πανεπιστήμιο Αθηνών σύγκριναν ξεχωριστά από δύο διαφορετικά λογισμικά τους κανονικοποιημένους δείκτες βλάστης (NDVI), που δόθηκαν από έναν δορυφόρο (Landsat-8) και από ένα UAV (Ebee). Οι τιμές από τα δύο μέσα συνέπιπταν, γεγονός που υποδεικνύει την αξιοπιστία των UAV. Οι Jannoura, R. et al., σε ένα πείραμα το 2015 εξέτασαν την βιομάζα σε καλλιέργειες αρακά και βρώμης με την χρήση UAV. Αρκετοί ήταν οι ερευνητές που ασχολήθηκαν με την εισαγωγή των UAV στην αμπελουργία ακριβείας (Ιατρού κ.α. 2016; Iatrou et al. 2017; Soubry et al. 2017). Αξιόλογα ήταν τα αποτελέσματα τους, αφού από τις εικόνες των UAV που συλλέχθηκαν, δημιουργήθηκαν χάρτες και σε συνδυασμό με ειδικούς αλγορίθμους και δείκτες, δόθηκε η ευκαιρία να εκτιμηθούν περιοχές που δίνουν καλύτερους καρπούς για οινοπαραγωγή.

Οι Katsigiannis et al (2016) παρουσίασαν ένα αυτόνομο UAV εξοπλισμένο με πολυαισθητήρες, με σκοπό να παρέχει πληροφορίες από τηλεπισκόπηση για υδατικά στρες και παράλληλα για την ευρωστία των φυτών. Δοκιμές έγιναν στην Ροδόπη Θράκης με τους δείκτες να δείχνουν αξιοποιήσιμα στοιχεία, όπου, όμως τονίζεται η ανάγκη για περεταίρω βελτίωση των UAV. Δυο μελέτες περιπτώσεων σε καλλιέργεια αραβόσιτου και ρυζιού αντίστοιχα, έδειξαν πως οι δείκτες NDVI, που υπολογίστηκαν από δεδομένα UAV, έδωσαν άριστα αποτελέσματα στον εντοπισμό παθογόνων και προσβολών. Επιπλέον, υπολογίστηκαν και δείκτες που προσδιορίζουν την ωρίμανση καρπών (Πολύχρονος, Περδικάρης 2016).

Οι Tamouridou et al. (2016), χρησιμοποίησαν ένα UAV εξοπλισμένο με μία πολυφασματική κάμερα με στόχο την αξιολόγηση τους στην χαρτογράφηση της χωρικής κατανομής του ζιζανίου *Silybum marianum (L.)*. Τα ποσοστά ταξινόμησης του *S. Marianum* μεταξύ άλλων φυτών είχαν επιτυχία, με υψηλή ακρίβεια και αξιοπιστία. Επίσης, μια διαφορετική προσέγγιση έλαβε μέρος στο

ίδιο πείραμα (Tamouridou et al. 2017), όπου, ανέλυσαν τα δεδομένα της τηλεπισκόπησης με την χρήση ενός Δικτύου Perceptron πολλαπλών στρωμάτων με αυτόματη συνάφεια προσδιορισμού (MLP-ARD) όπου το *S. Marianum* αναγνωρίστηκε με επιτυχία 99.54%. Τέλος, οι Psirofonia et al. (2017) ανέπτυξαν νέες χρήσεις των UAV στον τομέα της γεωργίας και συγκεκριμένα στην φυτοπροστασία. Στόχος ήταν η προώθηση της νέας τεχνολογίας στους τοπικούς παραγωγούς, ως μια πιο οικονομική και αποτελεσματική πρακτική σε σχέση με τα συμβατικά μέσα.

# 3. Μη επανδρωμένα ιπτάμενα οχήματα (UAV) στη γεωργία

## 3.1 Ιστορική αναδρομή

Τα UAV αρχικά δημιουργήθηκαν για στρατιωτικούς σκοπούς. Ο Nicola Tesla έδωσε την αρχική ιδέα για ένα μη επανδρωμένο εναέριο όχημα (Vroegindeweij et al. 2014), πράγμα που οδήγησε στην δημιουργία μη επανδρωμένων ιπτάμενων βομβών το 1915. Κατά την διάρκεια των Α' και Β' παγκοσμίων πολέμων χρησιμοποιήθηκαν και από τις δύο αντιμαχόμενες πλευρές για εναέριες επιθέσεις, καθώς και για την εκπαίδευση της αντιαεροπορικής τους άμυνας. Σπουδαίο ρόλο είχαν και στους μετέπειτα πολέμους, όπως στον πόλεμο του Βιετνάμ και στους πολέμους του Ισραήλ εναντίων των Σύριων. Η χρήση των UAV φάνηκε να προσφέρει πιο φθηνά μαχητικά αεροσκάφη, χωρίς να φέρει απώλειες σε ανθρώπινο δυναμικό. Ως εκ τούτου, οι αμερικανικές δυνάμεις έδειξαν ενδιαφέρον για περεταίρω εξέλιξη της τεχνολογίας με τελικό αποτέλεσμα τα UAV να μετατραπούν σε άριστους κατασκόπους, αλλά και μαχητικά αεροσκάφη, αφού ενσωματώθηκε πολεμικός εξοπλισμός (Γέμτος, Φουντάς 2015).

Από την δεκαετία του 1960 η χρήση των UAV εξαπλώθηκε και σε άλλους τομείς, όπως παρακολούθηση πυρκαγιών, αστική αστυνόμευση, παρακολούθηση συνόρων, εφαρμογές σε αρχαιολογικές έρευνες.

Τα ξεχωριστά χαρακτηριστικά των UAV, γρήγορα προσέγγισαν την επιστήμη της Γεωργίας. Μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα τροποποιήθηκαν από την κυβέρνηση της Ιαπωνίας το 1983, ώστε να πραγματοποιήσουν ψεκασμούς σε ορυζώνες και καλλιέργειες σόγιας, σιταριού (Huang et al. 2013). Το 2002 ξεκίνησαν οι πρώτες τηλεπισκοπήσεις για την παρακολούθηση φυτειών καφέ με την χρήση UAV (Herwitz et al. 2002), όπως και για την παρακολούθηση αμπελώνων στην Καλιφόρνια (Johnson et al., 2003).

## 3.2 Περιγραφή UAS

Ένα μη επανδρωμένο εναέριο σύστημα (UAS), περιλαμβάνει ένα μη επανδρωμένο εναέριο όχημα (UAV), έναν εδαφικό σταθμό χειρισμού-υπολογιστή του οχήματος και ένα σύστημα επικοινωνίας μεταξύ των δύο.

Το πιο σημαντικό τμήμα των UAV είναι το σύστημα αυτοματισμού. Οι περισσότερες τροποποιήσεις που υπόκεινται τα οχήματα αυτά είναι σε αυτό το κομμάτι, διότι ανεβάζει τις δυνατότητες τους και γίνεται πιο πρακτικό στον χειρισμό. Αυτό το σύστημα χωρίζεται σε δύο μέρη.

Το πρώτο μέρος είναι το σύστημα ελέγχου, που συνήθως είναι σύστημα αυτόματου πιλότου (Simeli, Tsagaris 2015). Περιέχει διάφορους αισθητήρες που είναι ενσωματωμένοι πάνω σε μια πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος. Οι αισθητήρες αυτοί είναι συστήματα GPS, GPS πλοήγηση ανάλογα με το υψόμετρο και την ταχύτητα του αέρα, γυροσκόπια πολλαπλών αξόνων για τον προσανατολισμό του οχήματος, επιταχυνσιόμετρα, δείκτες πίεσης, αισθητήρες ατμοσφαιρικής πίεσης, ενεργοποιητές κ.α. Ένα σύστημα αυτοματισμού είναι σχεδιασμένο, ώστε να λειτουργεί απόλυτα ανεξάρτητο. Έτσι, ο αυτόματος πιλότος εκτελεί λειτουργίες με πλήρη αυτονομία όπως, αυτόματη απογείωση-προσγείωση και προγραμματισμένες εντολές στο σύστημα ελέγχου της πτήσης για την αντιμετώπιση προβλημάτων, που είναι το χαμένο σήμα GPS και η εντολή επιστροφής στο σημείο εκκίνησης σε περίπτωση βλάβης. Τέλος, το UAV έχει την δυνατότητα να ελεγχθεί χειροκίνητα από τον εδαφικό σταθμό χειρισμού-υπολογιστή μέσω ασύρματης επικοινωνίας.

Το δεύτερο μέρος είναι το λογισμικό που χρησιμοποιείται από τον εδαφικό σταθμό-υπολογιστή για την επικοινωνία με το UAV. Μέσω του λογισμικού δίνεται η δυνατότητα προγραμματισμού της πτήσης και η παρακολούθηση της πορείας της σε πραγματικό χρόνο. Επίσης, όλα τα δεδομένα που συλλέγονται από την αποστολή του UAV αποθηκεύονται και διαχειρίζονται μέσω αυτού.

Εξωτερικά τα UAV είναι φτιαγμένα από σύνθετα ελαφριά υλικά , με σκοπό να είναι πιο ευέλικτα στον αέρα και να πραγματοποιούν πτήσεις σε μεγάλο υψόμετρο. Το σύστημα τροφοδοσίας τους είναι μια επαναφορτιζόμενη μπαταρία ιόντων λιθίου, όπου μαζί με ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα, διανέμουν ηλεκτρική ενέργεια όπου χρειάζεται στο όχημα.

### 3.2.1 Μη Επανδρωμένα Εναέρια Οχήματα (UAVs) ή Drones

Στο εμπόριο υπάρχει μεγάλη ποικιλία UAV που διαφέρουν σε μέγεθος, σχήμα αλλά και σε ιδιότητες που τα χαρακτηρίζει. Όμως, πολλά είναι ακατάλληλα για να χρησιμοποιηθούν στην ΓΑ. Αυτά που κρίθηκαν κατάλληλα, διαιρέθηκαν σε δύο κατηγορίες. Τα κριτήρια για την κατηγοριοποίηση τους ήταν η ικανότητά τους για α) τηλεπισκόπηση από χαμηλό ύψος και β) εφαρμογές στην γεωργία όπως ψεκασμοί, εξοπλισμός πρόσθετων μελών κ.α.

Στην πρώτη κατηγορία υπάρχουν τα UAV με σταθερά πτερύγια (εικ. 1 Αριστερά). Μοιάζουν με κοινά αεροπλάνα, αφού χρησιμοποιούν τα πτερύγια για την ανύψωση. Σε συνδυασμό με έναν ηλεκτροκινητήρα δίνεται ώθηση και πραγματοποιείτε η πτήση (Senthilnath at al. 2017). Είναι πολύ απλά στην χρήση τους, με πλεονέκτημα των νέων μοντέλων να μην χρειάζεται ειδικούς διαδρόμους προσγείωσης-απογείωσης (εκτοξεύονται με το χέρι). Λόγω του αεροδυναμικού σχεδιασμού τους έχουν ικανοποιητική αυτονομία (έως 25

min), ταξιδεύουν γρήγορα και χρησιμοποιούνται για την χαρτογράφηση μεγάλων εκτάσεων. Η απλότητα του σχεδιασμού τους, όπως και τα σύνθετα υλικά από τα οποία είναι φτιαγμένα, κάνουν αυτού του είδους τα UAV πιο ασφαλή, αφού σε περίπτωση βλάβης ή σύγκρουσης η ζημία του οχήματος και του εξοπλισμού περιορίζεται σημαντικά. Ωστόσο, η ταχύτητα και το ύψος που φτάνουν λειτουργεί ως τροχοπέδη στους ελιγμούς και σε κάποιες περιπτώσεις στην ακρίβεια των δεδομένων που λαμβάνονται. Επίσης, το κόστος τους συγκριτικά με άλλα UAV είναι μεγαλύτερο.

Στην δεύτερη κατηγορία, υπάρχει μια νέα, ταχέως αναπτυσσόμενη τεχνολογία, τα UAV με περιστρεφόμενες έλικες (εικ. 1 Δεξιά). Είναι συνήθως φτιαγμένα από ελαφριά, ανθεκτικά υλικά, όπως ανθρακονήματα, αλουμίνιο κ.α. Υπάρχουν διάφορες παραλλαγές με 4, 6, ή 8 έλικες, αναλόγως του φορτίου με το οποίο εξοπλίζονται. Η κίνηση των ελίκων παράγει κίνηση του αέρα, με αποτέλεσμα την ανύψωση του οχήματος. Χαρακτηριστικό τους είναι η μεγάλη ευελιξία σε ελιγμούς, η δυνατότητα  να διατηρούνται σταθερά στον αέρα, καθώς και η κάθετη προσγείωση και απογείωση από το έδαφος, συλλέγοντας δεδομένα από μικρές εκτάσεις και με μεγαλύτερη ακρίβεια. Επιπλέον, είναι εύκολα στην μεταφορά και ευέλικτα στην λειτουργία. Τα παραπάνω στοιχεία καθιστούν αυτόν τον τύπο UAV πιο πρακτικό για εφαρμογές στην ΓΑ. Παρ' όλα αυτά, η ζημία σε περίπτωση σύγκρουσης είναι μεγάλη. Ακόμα, το κόστος για ένα τέτοιου τύπου UAV αυξάνεται σημαντικά όσο μεγαλώνει το μέγεθος και όταν ενσωματώνεται εξοπλισμός πραγματοποίησης εργασιών όπως π.χ σύστημα ψεκασμού. Λόγο της μικρής αυτονομίας του (15-20min), παρέχει μικρή αποτύπωση χωρικής κάλυψης.

Ο κάθε τύπος UAV φέρει κάποια πλεονεκτήματα και κάποια μειονεκτήματα. Όμως παρ' όλα τα μειονεκτήματα, η νέες αυτές τεχνολογίες δείχνουν να εντάσσονται πλέον στην ΓΑ.

*Εικόνα 1 - Αριστερά: UAV με σταθερές πτέρυγες eBee της εταιρίας SenseFly (Iatrou et al 2017), Δεξιά: UAV με 4 περιστρεφόμενους έλικες (Zhang, Kovacs 2012)*

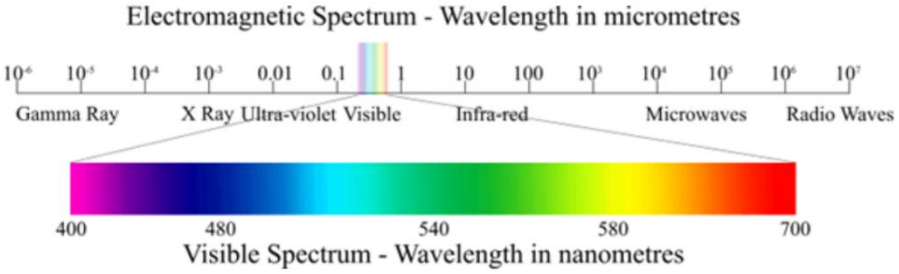
## 3.3 Εξοπλισμός

Ένα UAV από μόνο του δεν προσφέρει οτιδήποτε ουσιαστικό στην γεωργία, αλλά θα πρέπει να συνδυαστεί με κάποια εργαλεία. Έτσι, ένα UAS χρησιμοποίει διάφορους αισθητήρες για την καταγραφή δεδομένων από τον αγρό.

Τυπικά, ένας αισθητήρας είναι «μία συσκευή, που αντιδρά σε φυσικά ερεθίσματα, όπως θερμότητα, ήχος, φως, μαγνητισμός, ή σε μια συγκεκριμένη κίνηση και μεταδίδει την επακόλουθη πληροφορία για μετρήσεις ή ελέγχους» (Merriam-Webster 2017). Τα δεδομένα που λαμβάνονται από τους αισθητήρες χρησιμοποιούνται κυρίως για την αναγνώριση βιοτικών αλλά και αβιοτικών στρες των καλλιεργειών. Σύμφωνα με τους Iatrou et al 2015, εάν τα δεδομένα τηλεπισκόπησης συνδυαστούν με εδαφικά δείγματα, η ανάλυση αυτών των δεδομένων μπορεί να αποδώσει πολύ χρήσιμες πληροφορίες για την παρακολούθηση της καλλιέργειας. Επίσης, δίνεται η δυνατότητα για μια πιθανή εκτίμηση της παραγωγής.

Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται στην τηλεπισκόπηση χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, α) τους παθητικούς και β) τους ενεργητικούς (Γέμπτος, Φουντάς 2015). α) Οι παθητικοί αισθητήρες αιχμαλωτίζουν και καταγράφουν την φυσική ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία του ηλίου που ανακλάται από τα αντικείμενα. Συνήθως αυτήν η κατηγορία αισθητήρων είναι πιο διαδεδομένη για χρήση στην ΓΑ.

Παθητικός αισθητήρας είναι μία κλασική ψηφιακή φωτογραφική μηχανή που καταγράφει την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στο οπτικό φάσμα. Ο φακός καταγράφει την ανακλώμενη ακτινοβολία των αντικειμένων, από τον χώρο που εστιάζει, στην κόκκινη (650 nm), στην πράσινη (510 nm) και στην μπλε (475 nm) ζώνη του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Συνδυάζοντας τα τρία παραπάνω χρώματα έχουμε σαν αποτέλεσμα μια πραγματική έγχρωμη εικόνα (εικ. 2).




*Εικόνα 2 - Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα-Οπτικό φάσμα (Οικονόμου 2014)*

Οι οπτικοί παθητικοί αισθητήρες, που χρησιμοποιούνται στην τηλεπισκόπηση, ταξινομούνται ανάλογα με της δυνατότητες τους να λαμβάνουν δεδομένα σε διάφορες φασματικές ζώνες. Μια πολυφασματική κάμερα έχει την δυνατότητα να καταγράφει πληροφορίες από 3-10 φασματικές ζώνες, γεγονός που υποδεικνύει την ευρύτατη χρήση της στην ΓΑ. Βέβαια, το κόστος αυξάνεται όσο πιο περίπλοκη είναι η κάμερα, όπως δηλαδή συμβαίνει με τις υπερφασματικές κάμερες, οι οποίες έχουν την δυνατότητα να καταγράφουν από 3 έως 25 φασματικές ζώνες. Όμως, οι υπερφασματικές κάμερες μειονεκτούν κατά πολύ στο βάρος καθώς και στην ανάλυση των δεδομένων. Τέλος, σημαντικά εργαλεία είναι οι θερμικές και οι υπέρυθρες κάμερες. Η φασματική ζώνη που καταγράφουν αυτοί οι αισθητήρες είναι πολύ σημαντική, διότι τα φυτά αντανακλούν μεγάλες τιμές σε αυτό το σημείο. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας των UAV στην γεωργία, οδήγησε στην βελτίωση των παθητικών αισθητήρων, όπως και το κόστος τους, με σκοπό να καλύψει τις ανάγκες της ΓΑ.

β) Οι ενεργητικοί αισθητήρες έχουν ενσωματωμένη μία πηγή φωτός, η οποία χρησιμοποιείται για να φωτίζει τα αντικείμενα και να καταγράφει την ανάκλασή τους. Μια τέτοια συσκευή είναι ένα σύστημα LiDAR. Το LiDAR εκπέμπει υπέρυθρο φως (905 nm) και καταγράφει την ένταση της ανάκλασης σε συνδυασμό με την απόσταση. Είναι ένας αισθητήρας κατάλληλος στην καταγραφή δεδομένων ανύψωσης, αφού μπορεί και καταγράφει στοιχεία κάτω από την επιφάνεια του φυλλώματος. Μειονεκτεί, όμως, στην δυνατότητα ενσωμάτωσής του στα UAV, λόγω βάρους, αλλά και στο ότι τα δεδομένα που καταγράφει δεν είναι τόσο ακριβή. Άλλοι ενεργητικοί αισθητήρες είναι συστήματα RADAR (Radio Detection and Ranging) και συστήματα scatterometer.

Οι αισθητήρες αξιολογούνται για τις δυνατότητες τους ανάλογα με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των δεδομένων που μεταδίδουν. Αυτές οι ιδιότητες μπορούν να αναφέρονται στην χωρική ανάλυση της εικόνας (μέγεθος του pixel σε πραγματικές διαστάσεις), την φασματική ανάλυση (το εύρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος) και την ραδιομετρική ανάλυση (ο διαχωρισμός αντικειμένων σε πολύ κοντινές φασματικές ζώνες).

Επιπλέον εργαλεία που μπορούν να προστεθούν, είναι διάφορα συστήματα ψεκασμών και πρόσθετα μέλη ρομποτικής για δειγματοληψίες. Βέβαια, κάτι τέτοιο προϋποθέτει, μεγαλύτερου όγκου οχήματα και προηγμένης τεχνολογίας εξειδίκευση. Τέλος, βασική συσκευή για τα UAV αλλά και για την λειτουργία της ΓΑ, αποτελούν τα συστήματα πλοήγησης μέσω δορυφόρων (GNSS ή GPS). Όλα τα δεδομένα από τα εργαλεία που αναφέρθηκαν αποθηκεύονται σε μια κάρτα μνήμης (MicroSD). Αξίζει εδώ να σημειωθεί ότι ένα UAS χρησιμοποιείται για την συλλογή δεδομένων, όμως η ερμηνεία τους μένει στον χρήστη.

## 3.4 Νομοθεσία

Την 1 Ιανουαρίου του 2017, τέθηκε σε ισχύ ο κανονισμός της Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας (ΥΠΑ), που δημοσιεύθηκε σε ΦΕΚ (3152/Β/30.9.2016) και ρύθμιζε όλα τα θέματα ασφαλείας, ιδιωτικότητας, δικαιωμάτων και υποχρεώσεων σχετικά με την λειτουργία των UAS. Η δομή του κανονισμού είναι διαμορφωμένη στα πλαίσια των αρχών του Ευρωπαϊκού Οργανισμού για την Ασφάλεια της Αεροπορίας (EASA) και του Διεθνούς Οργανισμού Πολιτικής Αεροπορίας (ICAO), κατά τρόπο ώστε να γίνει ευχερής η πλήρης ενσωμάτωση των ευρωπαϊκών κανονισμών που αναμένεται να διαμορφωθούν στο μέλλον.

Σύμφωνα με τον παραπάνω νόμο, τα UAV χωρίζονται σε κατηγορίες ανάλογα με το βάρος τους, είτε αφορούν ψυχαγωγική χρήση είτε εμπορική :

- Κατηγορία A0 : UAV μέχρι 1 kg.
- Κατηγορία A1 : UAV από 1 kg μέχρι 4 kg.
- Κατηγορία A2 : UAV από 4 kg  έως 25 kg
- Ειδική κατηγορία από 25 kg και άνω, αποκλειστικά για επαγγελματική χρήση.

Οποιοδήποτε UAV έχει εμβέλεια τηλεχειρισμού άνω των 50 μέτρων θα πρέπει να είναι εγγεγραμμένο σε ειδικό ηλεκτρονικό μητρώο της ΥΠΑ.

Όσον αναφορά τις κατηγορίες A0, A1, δεν χρειάζεται να κατέχει άδεια ο χειριστής, ενώ απαραίτητη είναι η άδεια για την κατηγορία A2, όπως και στην ειδική κατηγορία. Γενικά όμως, όταν το UAV προορίζεται για επαγγελματική χρήση η άδεια είναι υποχρεωτική για όλες τις κατηγορίες (A0, A1, A2). Επίσης, μόνο για την ειδική κατηγορία άνω των 25 kg και για επαγγελματική χρήση, είναι απαραίτητο ένα ειδικό πτυχίο γλωσσομάθειας αγγλικών.

Ένα σχέδιο πτήσης είναι υποχρεωτικό να κατατεθεί μέσα από την ηλεκτρονική εφαρμογή της ΥΠΑ, όταν πρόκειται για αποστάσεις μεγαλύτερες των 50 μέτρων από τον χειριστή. Διαφορετικά για αποστάσεις μικρότερες των 50 μέτρων, είτε αυτές αφορούν επαγγελματική, είτε ψυχαγωγική χρήση, δεν είναι υποχρεωτικό. Επιπλέον, η ασφάλιση έναντι τρίτων είναι υποχρεωτική για τις κατηγορίες επαγγελματικής χρήσης A0, A1, A2 καθώς και για την ειδική κατηγορία άνω των 25 kg. Για τις κατηγορίες ψυχαγωγίας A0 και A1 δεν είναι απαραίτητη η ασφάλιση, ενώ είναι υποχρεωτική για την κατηγορία A2, όταν αυτήν προορίζεται για ψυχαγωγική χρήση.

Ένα UAV απαγορεύεται να πετά σε απόσταση μικρότερη των 50 μέτρων από πρόσωπα ή συγκεντρώσεις προσώπων. Ο νόμος αφορά όλες τις κατηγορίες, αλλά εξαιρούνται τα drones επαγγελματικής χρήσης, τα οποία χρειάζονται ειδική άδεια από την ΥΠΑ και ένα μηχανισμό ασφάλειας (αλεξίπτωτο).

Απαγορεύεται η πτήση σε υψόμετρο των 120 m από το σημείο απογείωσης και 500 m σε απόσταση από τον χειριστή, εκτός εάν έχει δοθεί ειδική άδεια για υπέρβαση των ορίων από την ΥΠΑ.

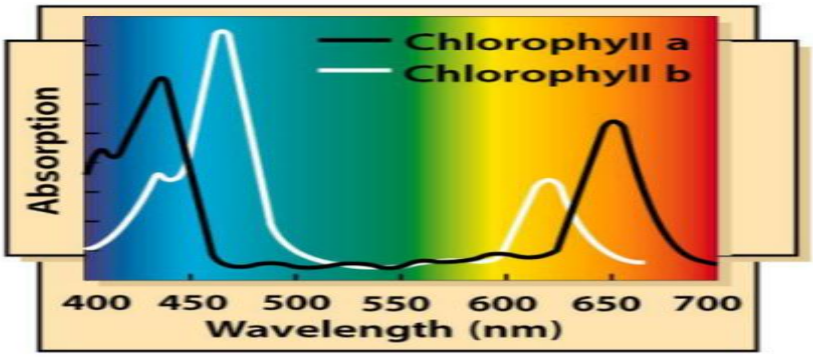
Απαγορεύεται επίσης, η πτήση σε απόσταση μικρότερη των 8 km από αεροδρόμια, καθώς και από περιοχές ειδικών παροχών, όπως φυλακές και στρατόπεδα. Τέλος, είναι παράνομη η πτήση επί χρηματική αμοιβή από χειριστές που δεν είναι δηλωμένοι επαγγελματίες.

# 4. Χρήση στην Γεωργία

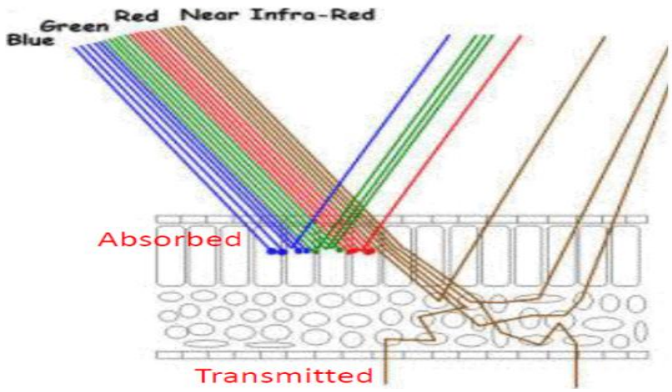
## 4.1 Τηλεπισκόπηση

Η πιο βασική πρακτική των UAV στην γεωργία είναι η εφαρμογή τηλεπισκοπήσεων. Τηλεπισκόπηση είναι η καταγραφή της ενέργειας η οποία ανακλάται ή εκπέμπεται από ένα αντικείμενο. Συγκεκριμένα, στην ΓΑ τα αντικείμενα είναι τα φυτά, κυρίως το πράσινο μέρος αυτών, αλλά και σε πολλές περιπτώσεις και το έδαφος.

Όταν φως μέσω της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας αλληλοεπιδρά κυρίως με το φωτοσυνθετικά ενεργό μέρος του φυτικού ιστού απορροφάται από αυτό και ανακλάται διαφορετικά, ανάλογα τα μήκη κύματος και τα χαρακτηριστικά του φυτικού ιστού (εικ. 4). Τα πράσινα φυτά χρησιμοποιούν ειδικά όργανα που αιχμαλωτίζουν φως, τους χλωροπλάστες. Από εκεί παράγεται η χλωροφύλλη α και β (εικ. 3). Αυτά τα όργανα λοιπόν, όταν είναι ενεργά (φωτοσυνθετικά), έχουν την ιδιότητα να ανακλούνε μεγαλύτερες τιμές στην πράσινη ζώνη (510 nm) του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, με αποτέλεσμα ο άνθρωπος να έχει την εντύπωση του πράσινου χρώματος στο φύλλο.




*Εικόνα 3 - Ενεργειακή απορρόφηση στο οπτικό φάσμα από τους χλωροπλάστες (Price 2014)*



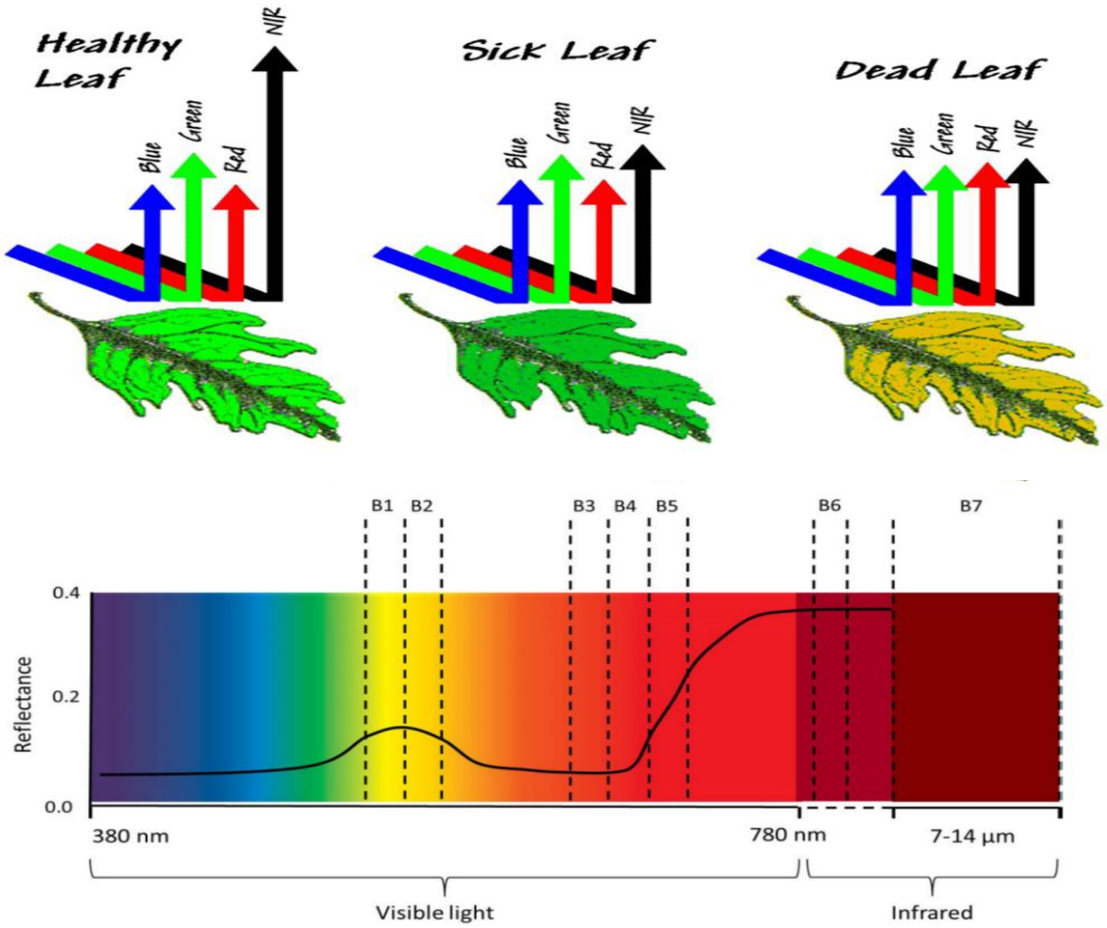

*Εικόνα 4 - Απορρόφηση, ανάκλαση και μετάδοση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στο φύλλο (Price 2014)*

Το ίδιο συμβαίνει και με άλλα μήκη κύματος τις ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με τη διαφορά, όμως σε αυτήν την περίπτωση τα αποτελέσματα

να μην είναι φανερά στον άνθρωπο, ο οποίος αισθάνεται ένα πολύ μικρό μέρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (350-700 nm). Έτσι, η ανάκλαση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στο υπέρυθρο (<700nm) που απορροφάται, ανακλάται και διαχέεται σε μεγάλο βαθμό (εικ. 5), μπορεί και δίνει πληθώρα πληροφοριών.

Έχει παρατηρηθεί, επίσης, πως κάθε αντικείμενο ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του αντιδρά διαφορετικά με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Αυτό μας δίνει την δυνατότητα να διακρίνουμε αντικείμενα μεταξύ τους. Για αυτόν τον λόγο χρησιμοποιούνται οι φασματικές κάμερες, οι οποίες μέσω τον φασματικών υπογραφών αποκαλύπτουν πληροφορίες για την κατάσταση των φυτών και άλλων αντικειμένων-στόχων.

Ανάλογα, λοιπόν, με το χαρακτηριστικό που επιθυμεί ο χρήστης να μελετήσει, επιλέγει τον καταλληλότερο τύπο αισθητήρα, ώστε να ληφθεί η μέγιστη, αλλά και η επιθυμητή ποσότητα πληροφοριών.




*Εικόνα 5 - Απορρόφηση(πάνω) και ανάκλαση(κάτω) ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας του φυλλώματος (Γέμτος 2015; Gago et al 2015)*

## 4.2 Επεξεργασία δεδομένων

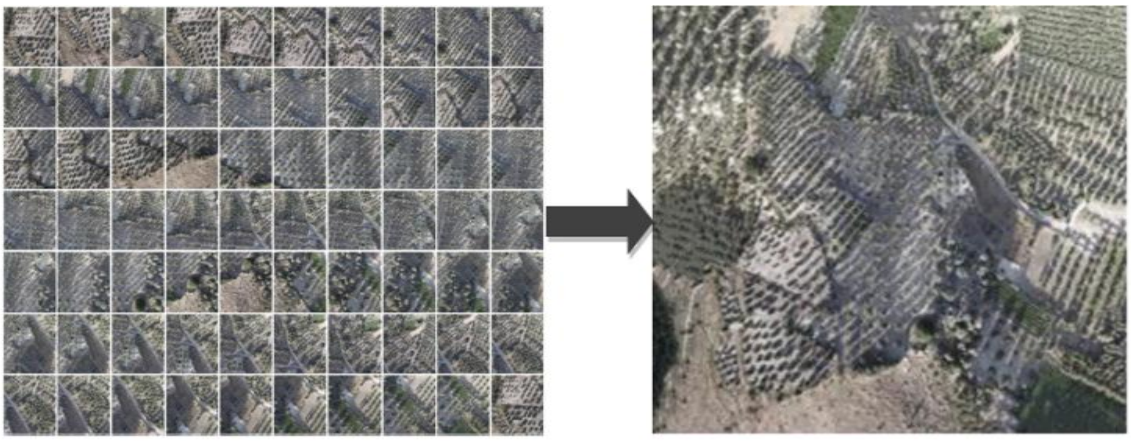
Όπως ήδη έχει αναφερθεί, ένα UAV κατά την διάρκεια της αποστολής του, εκτελεί λήψεις φωτογραφιών από ένα ορισμένο ύψος. Σκοπός των δεδομένων που λαμβάνονται είναι η δημιουργία χαρτών για την παρακολούθηση και την εκτίμηση των καλλιεργειών (εικ. 6).

*Εικόνα 6 - Παράδειγμα προγραμματισμού αποστολής UAV με την χρήση του λογισμικού Pix4Dcapture (Psirofonia et al 2017)*

### 4.2.1 Βασική επεξεργασία δεδομένων

Τα δεδομένα αυτά εισάγονται σε ένα πρόγραμμα (λογισμικό) για την επεξεργασία και ανάλυση τους. Αρχικά οι αεροφωτογραφίες υπόκεινται ένα είδος προ-επεξεργασίας, που βασίζεται στις αρχές της επιστήμης της φωτογραμμετρίας. Σκοπός της επεξεργασίας είναι η διόρθωση γεωμετρικών σφαλμάτων, αλλοιώσεων και μεταβολών της εικόνας, που μπορεί να οφείλονται στην κλίση του εδάφους μιας περιοχής, σε μια κουνημένη φωτογραφία λόγω της κίνησης του οχήματος κατά την λήψη ή και στην επίδραση της φυσικής ατμοσφαιρικής ακτινοβολίας.

Επίσης, στις γεωμετρικές διορθώσεις οι εικόνες συντονίζονται στο σύστημα συντεταγμένων από το GPS, απαλείφονται εκτροπές του φακού και φιλτράρονται. Επιπλέον, σε αυτό το στάδιο εφαρμόζονται τεχνικές στερεοσκοπίας. Αυτή η τεχνική σχετίζεται με την σύνδεση των φωτογραφιών, ώστε να δίνουν μια τρισδιάστατη αντίληψη των αντικειμένων. Λόγω αυτής της τεχνικής δίνεται η δυνατότητα παραγωγής προϊόντων ψηφιακού μοντέλου ανάγλυφου [Digital Elevation Model (DEM)], το οποίο δίνει ορθοφωτοχάρτες με διακριτή διαφορά υψομέτρου. Έπειτα, τα διορθωμένα στερεοζεύγη εικόνων τοποθετούνται διαδοχικά για την δημιουργία ενός συνολικού χάρτη της περιοχής (Μωσαϊκά-Ορθοφωτοχάρτες, εικ. 7).

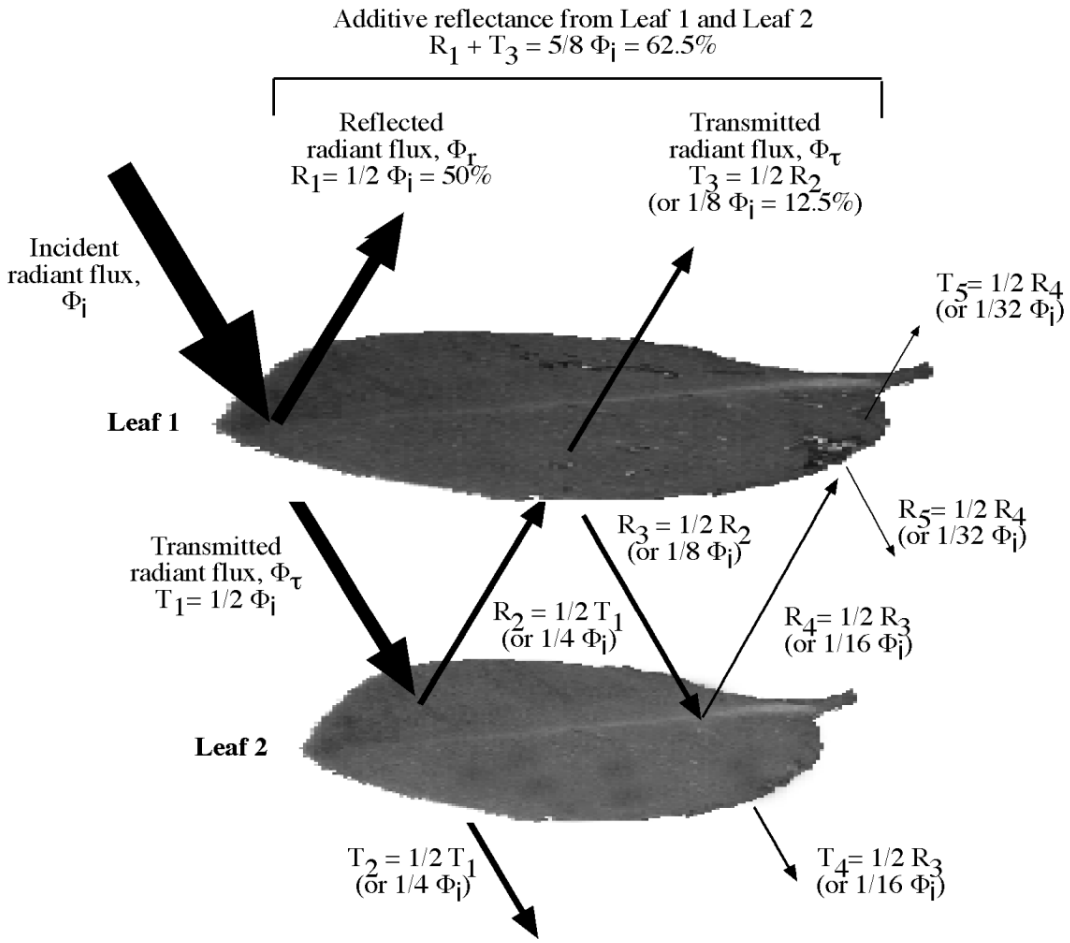


*Εικόνα 7 - Παράδειγμα δημιουργίας Μωσαϊκού (Psirofonia et al 2017)*

### 4.2.2 Ανάλυση δεδομένων

Ένας ορθοφωτοχάρτης υψηλής χωρικής ανάλυσης, μπορεί να παραχθεί από αεροφωτογραφίες, μέσω μίας απλής ψηφιακής κάμερας RGB. Ο χρήστης ερμηνεύοντας τον χάρτη, αρχικά, αποκτά μια πλήρη εικόνα τις καλλιέργειας και εντοπίζονται προβλήματα όπως, διαβρώσεις στο έδαφος, απορροή υδάτων, προβλήματα σποράς και βιωσιμότητας των φυτών. Επίσης, μπορεί να εκτιμηθεί το ποσοστό σποράς ανά γραμμή, η παρουσία ζιζανίων, το ύψος των φυτών (τρισδιάστατο μοντέλο) και η λίπανση. Ακόμα, μπορεί να γίνει και επισκόπηση στην ανθοφορία.

Η υγιής βλάστηση των φυτών έχει μια πολύ διακριτή αλληλεπίδραση με συγκεκριμένα τμήματα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Όπως επισημάνθηκε παραπάνω, τα φυτά απορροφούν ηλιακή ενέργεια για να την διαδικασία της φωτοσύνθεσης και ανακλούν ενέργεια στην πράσινη ζώνη. Παράλληλα, η ενέργεια στο κοντινό υπέρυθρο ανακλάται σε μεγάλες τιμές στο ενδιάμεσο του φυλλώματος. Αυτό συμβαίνει, διότι αρκετή ενέργεια από την κοντινή υπέρυθρη ζώνη μεταδίδεται μέσα στο φύλλωμα, με αποτέλεσμα όσο μεγαλύτερο είναι το φύλλωμα του φυτού, τόσο μεγαλύτερη να είναι η ανάκλαση (εικ. 8). Όλες αυτές οι φασματικές πληροφορίες μπορούν να συνδυαστούν, να χρησιμοποιηθούν σε αλγόριθμους και να παραγάγουν ορισμένους δείκτες. Όταν οι δείκτες αφορούν την βλάστηση, ονομάζονται δείκτες βλάστησης. Επί της ουσίας, οι δείκτες παράγουν μία τιμή για κάθε εικονοστοιχείο (pixel) της εικόνας, η οποία δείχνει τον βαθμό και την ποσότητα της υγιούς βλάστησης.




*Εικόνα 8 - Συμπεριφορά κοντινής υπέρυθρης ακτινοβολίας μέσα στο φύλλωμα (Price 2014)*

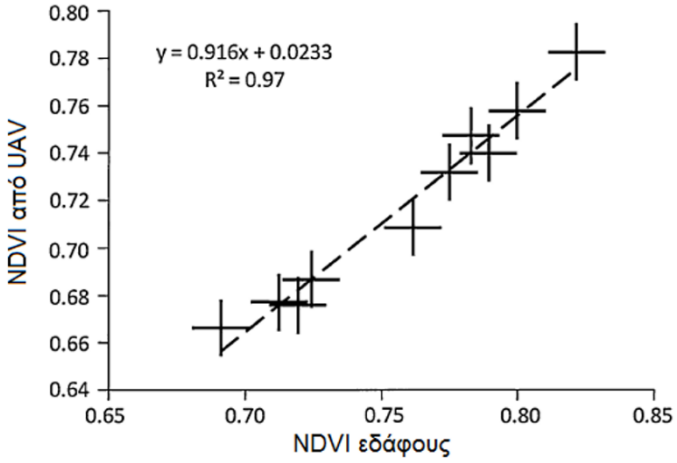
### 4.2.3 Δείκτες βλάστησης

Οι δείκτες βλάστησης είναι ο συνδυασμός (αλγεβρικές εξισώσεις) δύο ή παραπάνω μηκών κύματος (400 nm έως 2500 nm), που είναι σχεδιασμένοι προκειμένου να δίνουν βλαστικές πληροφορίες.

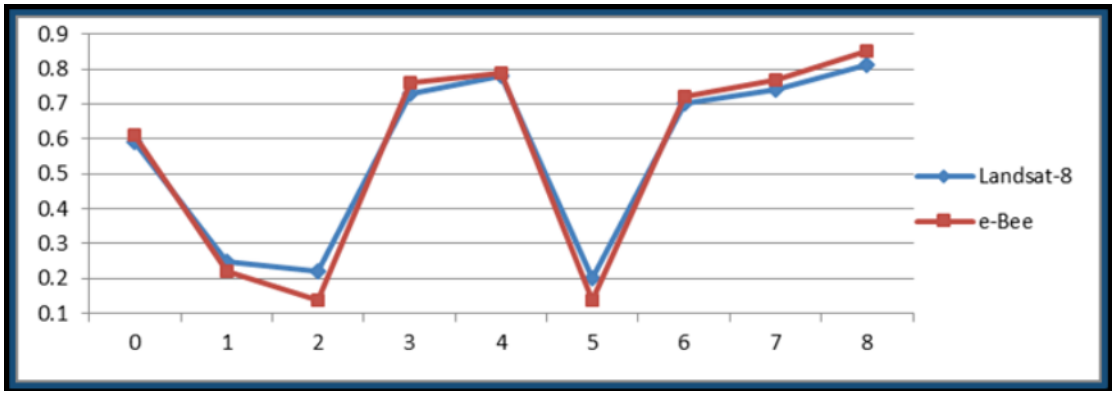
Ο πιο σημαντικός δείκτης που χρησιμοποιείται στην γεωργία είναι ο Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Βλάστησης (Normalized Difference Vegetation Index). Ο NDVI χρησιμοποιεί δύο φασματικές ζώνες, την κόκκινη (RED) και την ζώνη του κοντινού υπέρυθρου (NIR). Ο δείκτης, στοχεύει στην ανάδειξη της ανακλώμενης πράσινης ζώνης, διαχωρίζοντας την από άλλα αντικείμενα. Παίρνει τιμές από -1 έως 1, όπου αρνητικές τιμές ή κοντά στο μηδέν, υποδεικνύουν μη-βλαστικά αντικείμενα όπως νερό, πάγο, δρόμους και φυτά με μεγάλο στρες. Αντίθετα, θετικές τιμές αναδεικνύουν βλάστηση και πιο υψηλές τιμές υποδείχνουν υγιή βλάστηση. Ο τύπος του είναι:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Κατά καιρούς έχουν διεξαχθεί μελέτες για την αξιοπιστία του δείκτη. Χαρακτηριστικές είναι αυτή των Primicerio et al (2012) (εικ. 9), αλλά και αυτή των Kavvadias et al (2015) (εικ. 10), στις οποίες συγκρίνονται τιμές του δείκτη από τηλεπισκοπηκά δεδομένα, στοιχεία που λήφθηκαν από φασματόμετρο εδάφους και δορυφόρο. Οι εικόνες δείχνουν την υψηλή συσχέτιση των τιμών από τα διαφορετικά μέσα.




*Εικόνα 9 - Γραμμική παλινδρόμηση μεταξύ τιμών NDVI από UAV και μετρήσεις από φασματοραδιόμετρο εδάφους ( Primicerio J. et al 2012)*




*Εικόνα 10 - Σύγκριση τιμών NDVI από UAV (eBee) και δορυφόρο (Landsat-8) (Kavvadias et al 2015)*

Παρόμοια με τον NDVI, υπολογίζεται ο Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Βλάστησης στο Πράσινο χρώμα (Green Normalized Difference Vegetation Index). Ο GNDVI χρησιμοποιεί την πράσινη ζώνη (Green), αντί της κόκκινης (RED) που χρησιμοποιεί ο NDVI. Έτσι ο GNDVI σχετίζεται με την

απορροφημένη ακτινοβολία της φωτοσύνθεσης και είναι πιο ευαίσθητος στην καταγραφή της συγκεντρωμένης χλωροφύλλης του φυλλώματος. Ο δείκτης παίρνει τιμές από 0 έως 10. Ο τύπος του είναι:

$$GNDVI = \frac{NIR - GREEN}{NIR + GREEN}$$

Επιπλέον, για την μέτρηση της χλωροφύλλης μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ο Δείκτης Χλωροφύλλης Βλάστησης (Chlorophyll Vegetation Index). Ο τύπος του είναι:

$$CVI = \frac{NIR}{GREEN} * \frac{RED}{GREEN}$$

Δείκτης που μπορεί να υπολογιστεί με δεδομένα μόνο από τρία χρώματα, όπως ο NDVI και ο GNDVI, είναι και ο Δείκτης Εδαφικής Ρύθμισης Βλάστησης (Soil-Adjusted Vegetation Index). Χρησιμοποιείται για να απαλείψει την επίδραση του εδάφους σε περιοχές που η βλάστηση είναι φτωχή. Ο δείκτης παίρνει τιμές από -1 έως 1 και ο τύπος του είναι:

$$SAVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED + L} + (1 + L)$$

όπου L: μεταβλητή που παίρνει τιμές από 0 (πλήρης φυτοκάλυψη) έως 1 (καθόλου φυτοκάλυψη).

Ο Δείκτης Νερού Κανονικοποιημένης Διαφοράς (Normalized Vegetation Moisture Index) αντί να χρησιμοποίει την κόκκινη (RED) ζώνη που επηρεάζεται από την χλωροφύλλη, χρησιμοποίει μια περιοχή μικροκυμάτων (1500-1700 nm) στην οποία το νερό έχει μεγάλη απορρόφηση. Με αυτόν τον τρόπο, ο δείκτης είναι ικανός να φανερώνει αρδευόμενες καλλιέργειες ή μη. Ο τύπος του NVMI είναι:

$$NVMI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$$

όπου SWIR μία περιοχή μικροκυμάτων.

Επιπλέον σημαντικοί δείκτες που χρησιμοποιούνται και σήμερα στην γεωργία είναι ο Δείκτης φυλλικής επιφάνειας (Leaf Area Index, LAI) και ο ενισχυμένος δείκτης βλάστησης (Enhanced Vegetation Index, EVI). Οι τιμές του LAI δείχνουν το ποσοστό φυλλώματος και της βιομάζας και παρέχει την δυνατότητα για πρόβλεψη των αποδόσεων της καλλιέργειας. Ο EVI αναπτύχθηκε για την ρύθμιση του NDVI σε περιοχές με υψηλές τιμές βλάστησης. Ο τύπος του είναι:

$$EVI = 2.5 * \frac{NIR - RED}{NIR + 6 * RED - 7{,}5 * BLUE + 1}$$

Οι μέθοδοι υπολογισμού του LAI διαφέρουν ανάλογα με τον τύπο των δεδομένων που χρησιμοποιείται (Zheng , Moskal 2009). Μια εμπειρική εξίσωση που μπορεί να δοθεί για τον υπολογισμό του LAI από τηλεπισκοπηκά δεδομένα είναι η παρακάτω:

$$LAI = (3{,}618 * EVI - 0.118)$$

Όλοι οι παραπάνω δείκτες έχουν ευρύτατη χρήση στην ΓΑ και στην εξαγωγή πληροφοριών από τηλεπισκόπηση. Ωστόσο, δεν είναι μόνο αυτοί, καθώς συνολικά οι δείκτες που χρησιμοποιούνται υπολογίζονται πάνω από 150. Αυτό συμβαίνει, διότι τα δεδομένα που λαμβάνονται από τηλεπισκόπηση διαφέρουν κάθε φορά ανάλογα με το περιβάλλον (στάδιο βλάστησης, έδαφος, καιρικά φαινόμενα, φυσική ακτινοβολία). Θεωρητικά, οι δείκτες προσαρμόζονται σε οποιοδήποτε περιβάλλον (Silleos et al 2008). Όμως, ερευνητές εξάγουν συνεχώς νέους δείκτες με σκοπό να απομονώσουν κάποιο στοιχείο μελέτης για μεγαλύτερη ακρίβεια πληροφορίας.

Στον παρακάτω πίνακα (εικ. 11) απεικονίζονται δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν σε μία ολοκληρωμένη έρευνα για την εξαγωγή πληροφοριών από αμπελώνα στην περιοχή της Τράπεζας (Νομός Αχαΐας). Το πείραμα σκόπευε να εξετάσει την ανακλαστικότητα διάφορων ποικιλιών αμπέλου (Οικονόμου 2014). Η παρουσίαση του πίνακα στοχεύει στο να γίνει κατανοητή η διαδικασία παραγωγής δεικτών.

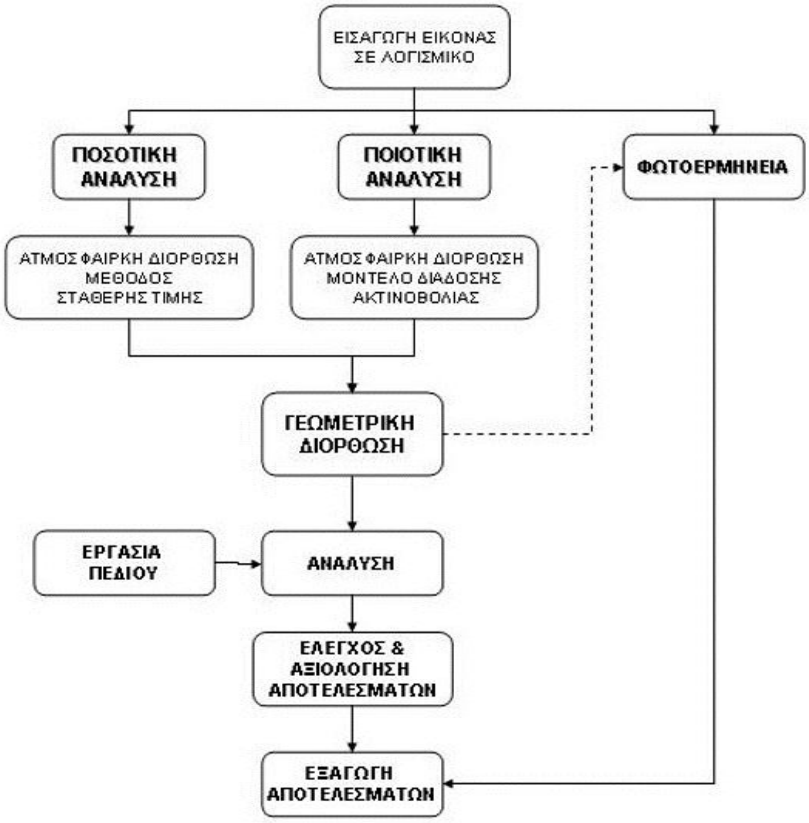
| | | | |
|---|---|---|---|
| XANTHOPHYLL INDICES | 1 | photochemical refletance index 570 | PRI570=(R570-R531)/(R570+R531) |
| | 2 | photochemical refletance index 510 | PRI515=(R515-R531)/(R515+R531) |
| CHLOROPHYLL a+b INDICES | 3 | red edge | ZM=R750/R710 |
| | 4 | Vogelmann | VOG1=R740/R720 |
| | 5 | Gitelson and Merzlyak indices 1 | GM1=R750/R550 |
| | 6 | Gitelson and Merzlyak indices 2 | GM2=R750/R700 |
| | 7 | pigment specific simple ratio chlorophyll a | PSSRa=R800/R675 |
| | 8 | pigment specific simple ratio chlorophyll b | PSSRb=R800/R650 |
| | 9 | transformed chlorophyll absorption in reflectance index(tcar) | TCARI=3*[ ( R700-R670) - 0,2*( R700-R550)*(R700/R670) ] |
| | 10 | tcarl/optimized soil adjusted vegetation index | TCARI/OSAVI=TCARI/[ (1+0,16)*(R800-R670)/(R800+R670+0,16) ] |
| R/G/B INDICES | 11 | redness index | R=R700/R670 |
| | 12 | greenness index | G=R570/R670 |
| | 13 | blue index | B=R450/R490 |
| | 14 | blue/green indices 1 | BGI1=R400/R550 |
| | 15 | blue/green indices 2 | BGI2=R450/R550 |
| | 16 | blue/red indices 1 | BRI1=R400/R690 |
| | 17 | blue/red indices 2 | BRI2=R450/R690 |
| | 18 | Lichtenhaler indices | LIC3=R440/R740 |
| CAROTENOID INDICES | 19 | structure-intensive pigment index | SIPI=( R800-R445)/(R800+R680) |
| | 20 | pigment specific simple ratio carotenoids | PSSRc=R800/R500 |
| | 21 | R520/R500 | R520/R500 |
| | 22 | R515/R570 | R515/R570 |
| | 23 | R515/R670 | R515/R670 |
| FLUORESCENCE | 24 | DPI | (DR688· DR710) / (DR697)^2 |
| | 25 | DR730 / DR706 | DR730 / DR706 |
| | 26 | DR705 / DR722 | DR705 / DR722 |
| | 27 | (R675· R690) / (R683)^2 | (R675· R690) / (R683)^2 |
| | 28 | R750 / R800 | R750 / R800 |
| | 29 | R685 / R655 | R685 / R655 |
| | 30 | R690 / R655 | R690 / R655 |
| | 31 | R680 / R630 | R680 / R630 |
| | 32 | R685 / R630 | R685 / R630 |
| | 33 | R687 / R630 | R687 / R630 |
| | 34 | R690 / R630 | R690 / R630 |
| PLANT DISEASE INDEX | 35 | healthy index | HI= (R534-R698)/(R534+R698) - 0,5*R704 |

*Εικόνα 11 - Δείκτες που υπολογίστηκαν για την ανάλυση της ποικιλίας cabernet sauvignon στην περιοχή της Τράπεζας, Νομός Αχαΐας (Oikonomou 2014)*

### 4.2.4 Σύνοψη

Τα δεδομένα της τηλεπισκόπησης που λαμβάνονται, είτε αποθηκεύονται στον προσωπικό υπολογιστή του χρήστη, είτε σε ψηφιακή πλατφόρμα. Στη συνέχεια, επεξεργάζονται από ειδικό λογισμικό. Κάθε φωτογραφία επιδέχεται τις απαραίτητες διορθώσεις σε κάθε εικονοστοιχείο της και συγχρονίζεται με το παγκόσμιο σύστημα συντεταγμένων. Μετά από μια σειρά τεχνικών που βασίζεται στην επιστήμη της φωτογραμμετρίας, παράγονται ορθοφωτοχάρτες υψηλής χωρικής ανάλυσης και ακρίβειας, οι οποίοι αποτυπώνουν την γεωγραφική περιοχή που εξετάζεται.

Με την εφαρμογή ειδικών δεικτών δίνεται η δυνατότητα εξαγωγής πληθώρας πληροφοριών που σχετίζονται με την κατάσταση της καλλιέργειας. Επιπλέον, τεχνικές στατιστικής εφαρμόζονται για περεταίρω ανάλυση. Διάφορα λογισμικά είναι διαθέσιμα στο εμπόριο με τα πιο γνωστά τα ATLAS, Pix4D Mapper, Drone2Map, ENVI, κ.α. όπως και κάποια δωρεάν διαθέσιμα λογισμικά όπως OpenEV, Opticks, Orfeo toolbox, MatLab κ.ά.



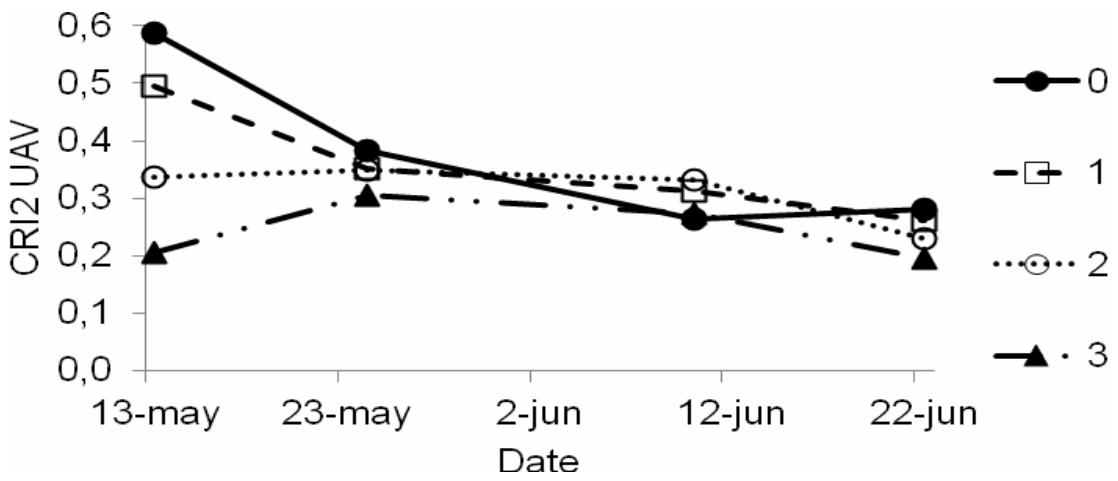

*Εικόνα 12 - Διάγραμμα ροής εργασιών τηλεπισκόπησης (Wikipedia-Τηλεπισκόπηση)*

## 4.3 Εφαρμογές UAV στην Ελληνική Γεωργία

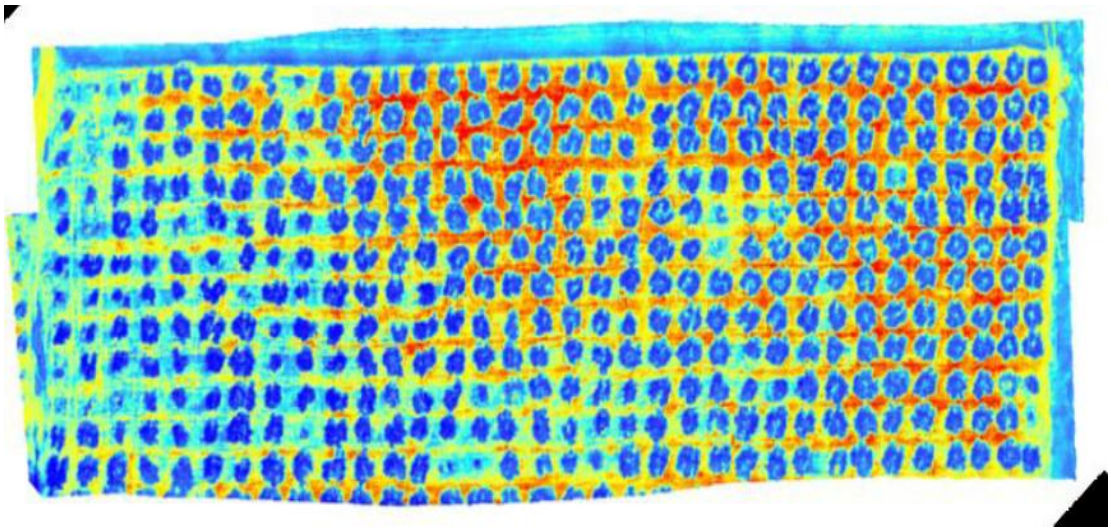
### ΕΛΙΑ

**Οι Zartaloudis et al (2015)**, για να χαρτογραφήσουν τα διάφορα στάδια προσβολής ελαιώνα από το παθογόνο *Verticillium dahliae* χρησιμοποίησαν εικόνες από UAV και δορυφόρο. Το UAV εξοπλίστηκε με θερμική κάμερα (7.5-13.5 μm), κανονική RGB κάμερα και μία υπεραφασματική (450-800 nm). Εικόνες του ελαιώνα επίσης λήφθηκαν από τον δορυφόρο WorldView 2. Έπειτα, στην ανάλυση υπολογίστηκαν μία σειρά από δείκτες σχετικά με την καλλιέργεια. Τα δεδομένα από το UAV και από τον δορυφόρο αναλύθηκαν ποσοτικά με τη χρήση της μη ισορροπημένης διαδικασίας ANOVA για πιθανότητα 0.05, ελέγχοντας τα επίπεδα μόλυνσης του παθογόνου (Zartaloudis et al 2014). Τα αποτελέσματα της ANOVA έδειξαν σημαντική συσχέτιση των τιμών του Δείκτη Ανάκλασης των Καροτενοϊδών (CRI2) (εικ. 13) με τα αρχικά επίπεδα μόλυνσης του παθογόνου, γιατί κατά τα αρχικά στάδια της προσβολής το φύλλωμα έχασε το βαθύ πράσινο χρώμα του και οι μεταβολές αυτές δόθηκαν με τον δείκτη CRI2.

Σημαντικό ήταν, επίσης, πως τα αρχικά στάδια του παθογόνου ταυτίστηκαν με αυτά των δεδομένα του δορυφόρου. Τα δεδομένα της θερμικής κάμερας δεν είχαν μεγάλη συσχέτιση, πιθανότατα λόγω της μεγάλης εξάρτησής τους από τις περιβαντολογικές συνθήκες. Όμως, τα δεδομένα της θερμικής κάμερας έδειξαν μεταβολές στην θερμοκρασία από προσβεβλημένα δένδρα (εικ. 14). Αυτό συνέβη γιατί οι μηχανισμοί άμυνας του δένδρου έκλεισαν αυτόματα τα στομάτια του, με αποτέλεσμα της αύξηση της θερμοκρασίας στα προσβεβλημένα τμήματα του δένδρου.



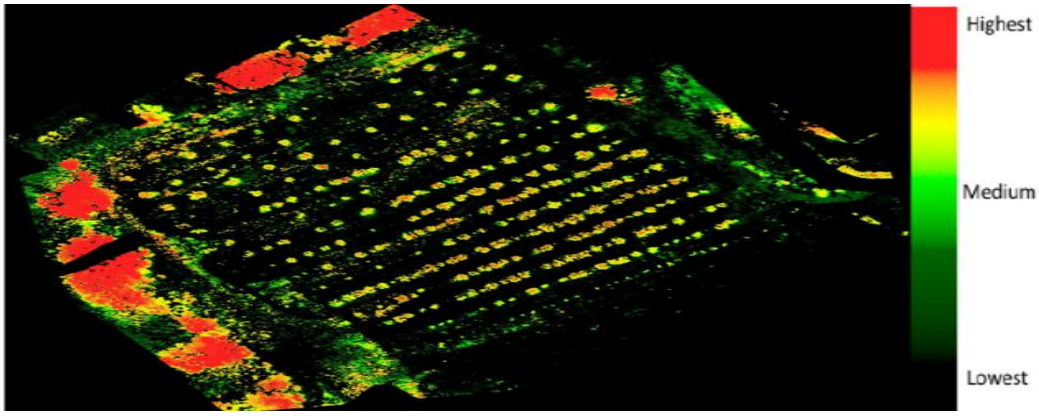

*Εικόνα 13 - Πτώση των τιμών του Δείκτη Καροτενοϊδών (CRI2) κατά τα αρχικά στάδια του παθογόνου (0, 1, 2, 3) (Zartaloudis et al 2015)*



*Εικόνα 14 - Μωσαϊκό θερμικής εικόνας ( στο κόκκινο η θερμοκρασία είναι αυξημένη λόγω πιθανής προσβολής) ( Zartaloudis et al 2015)*

**Οι Karydas et al (2017)**, χρησιμοποίησαν UAV εξοπλισμένο με μία πολυφασματική κάμερα (510-710 nm). Σκοπός της έρευνας ήταν να διαχωρίσουν τα ελαιόδεντρα από λοιπές βλαστήσεις, καθώς και να εντοπίσουν το αρχικό στρες των δένδρων σε κλίμακα υπο-δένδρου. Σε λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε, παράχθηκαν οι δείκτες CRI2, NDVI και ένας χάρτης ανύψωσης ανάγλυφου (DSM), όπου διαχώρισαν αντικείμενα μεταξύ τους (έδαφος, γρασίδι, άλλα δένδρα). Αυτός ο διαχωρισμός με την βοήθεια ειδικού λογισμικού (eCognition Developer) και με μερική βοήθεια χειριστή έδωσε συνολική ακρίβεια διαχωρισμού 93%.

**Οι Gertsis et al (2015)**, σε πείραμα στην αμερικάνικη γεωργική σχολή, χρησιμοποίησαν UAV για την καταγραφή ενός πειραματικού ελαιώνα. Σκοπός του πειράματος ήταν να υπολογιστεί ο δείκτης NDVI και να συσχετιστεί με τιμές του δείκτη από επίγειες μετρήσεις. Επιπλέον, έγινε προσπάθεια να δημιουργηθούν Ζώνες Διαχείρισης, για εφαρμογές ΓΑ. Το UAV εξοπλίστηκε με μια πολυφασματική κάμερα. Για τις μετρήσεις εδάφους του NDVI χρησιμοποιήθηκε αισθητήρας χειρός (Trimble® GreenSeeker). Τα αποτελέσματα έδειξαν πως οι τιμές από UAV ήταν πιο λεπτομερείς. Επίσης, με την βοήθεια του ορθοφωτοχάρτη (εικ. 15) συσχετίζονται οι έρευνες με τη δημιουργία Ζωνών Διαχείρισης.




*Εικόνα 15 - Ορθοφωτοχάρτης ελαιώνα φιλτραρισμένος με τιμές NDVI σε κάθε εικονοστοιχείο (Gertsis et al 2015)*

**Οι Psirofonia et al (2017)**, στο Ηράκλειο Κρήτης, χρησιμοποίησαν UAV για την καταγραφή εικόνων και βίντεο από ελαιώνα. Σκοπός του πειράματος ήταν η προσπάθεια εντοπισμού του βακτηρίου *Xylella fastidiosa.* Με την επεξεργασία των δεδομένων που λήφθηκαν (συντονισμός συντεταγμένων, δημιουργία μωσαϊκού), εντοπίστηκαν 26 δένδρα ‘’ύποπτα’’ να είναι προσβεβλημένα από το παθογόνο (εικ. 16,17)

*Εικόνα 16 - Εικόνες από το πέρασμα του UAV μέσα στον ελαιώνα. Εντοπίζονται ξεραμένοι κλαδίσκοι (Psirofonia et al 2017)*

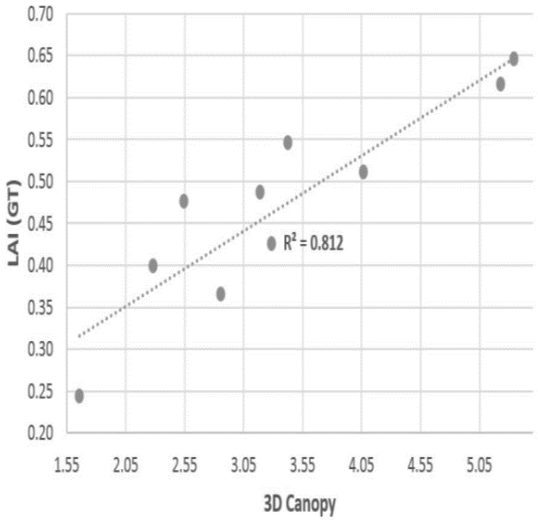
*Εικόνα 17 - Υψηλής ανάλυσης μωσαϊκό. Εντοπισμένα 26 ελαιόδενδρα πιθανόν προσβεβλημένα (Psirofonia et al 2017)*

## ΑΜΠΕΛΙ

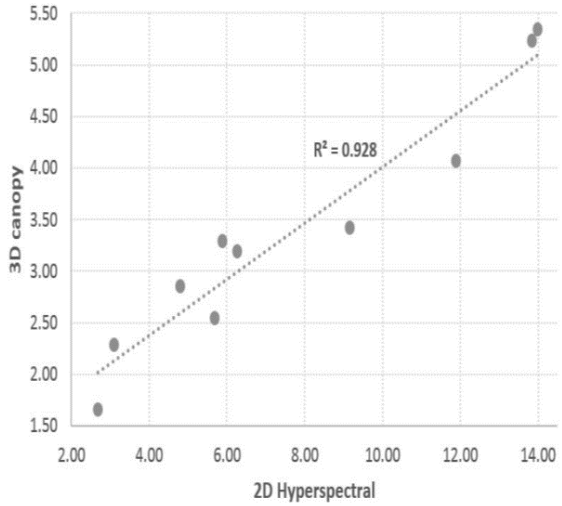
**Οι Oikonomou et al (2015)**, διεξήγαγαν τριετή έρευνα σε πάνω από πέντε περιοχές με αμπελώνες. Σκοπός ήταν να αναγνωριστούν οι φασματικές ιδιότητες των αισθητήρων και ο διαχωρισμός των ποικιλιών της αμπέλου. Δεδομένα από δορυφόρο, UAV και επίγειες μετρήσεις φασματικών υπογραφών μετρήθηκαν, αναλύθηκαν και συγκρίθηκαν. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων από επίγεια όργανα, δορυφόρο και UAV, είχαν υψηλή συσχέτιση (84%). Επιπλέον, από την έρευνα αποδείχθηκε πως διαφορετικές ποικιλίες της αμπέλου μπορούν να διαχωριστούν μέσω της ανακλαστικότητάς τους. Ακόμα και διαφορετικοί κλώνοι τις ίδιας ποικιλίας (π.χ. Syrah) διαχωρίστηκαν, ενώ αρχικά θεωρούνταν ποικιλίες Riesling. Στην παρακάτω εικόνα (18) δίνεται ένα παράδειγμα της έρευνας.

*Εικόνα 18 - Διάκριση αγροτεμαχίων αμπέλου ανάλογα την ποικιλία (Oikonomou et al 2015)*

**Οι Kalisperakis et al (2015)**, θέλησαν να εκτιμήσουν τον υπολογισμό του Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας (LAI) από τρία διαφορετικά αποτελέσματα δεδομένων, μέσω UAV, και να συγκρίνουν τα αποτελέσματα με τον LAI που υπολογίσθηκε απευθείας από τον αγρό. Σε έναν αμπελώνα, στην περιοχή της Νεμέας, χρησιμοποιήθηκε UAV εξοπλισμένο με μία υπεραφασματική κάμερα (380-1000 nm) και με μία απλή εμπορική RGB κάμερα. Στην συνέχεια τα δεδομένα επεξεργάστηκαν σε λογισμικό. Δημιουργήθηκαν τρισδιάστατα μοντέλα DSM του αγρού και μωσαϊκά από την RGB κάμερα. Από τα υπεραφασματική δεδομένα υπολογίστηκαν οι δείκτες NDVI και GRVI. Έπειτα, για κάθε δεδομένο υπολογίστηκε ξεχωριστά ο LAI και συγκρίθηκε με τις τιμές του εδαφικού υπολογισμένου LAI (εικ. 19). Τα αποτελέσματα έδωσαν συσχέτιση των εναέριων δεδομένων με των επίγειων ποσοστού άνω των 74%. Επίσης, όσον αφορά τα εναέρια δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν, η έρευνα έδειξε πως ο LAI μπορεί να δώσει ποιοτικά αποτελέσματα, είτε από μια απλή κάμερα, είτε από μια υπεραφασματική, αφού οι τιμές είχαν συσχέτιση άνω 90%.

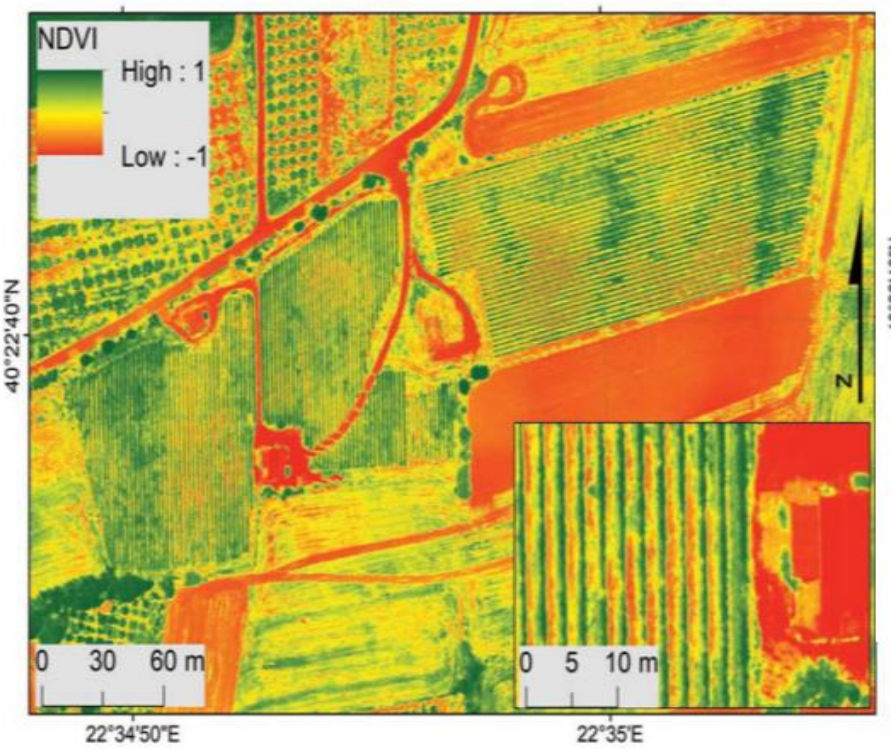



*Εικόνα 19 - Σύγκριση του LAI από επίγεια μέσα με τιμές του LAI από τρισδιάστατα μοντέλα (RGB) (Kalisperakis et al 2015)*

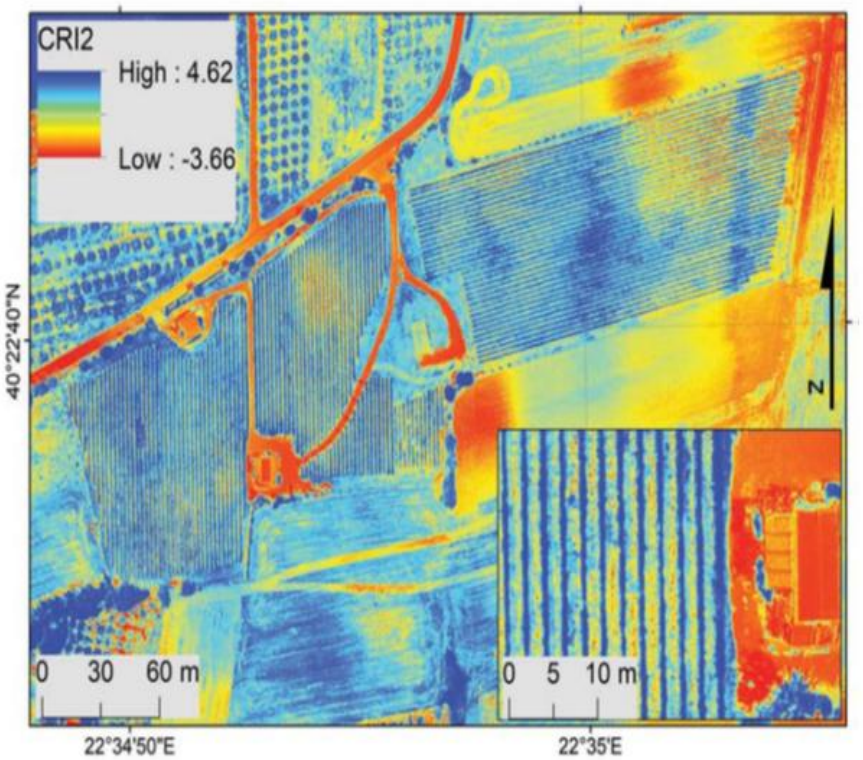



*Εικόνα 20 - Σύγκριση του LAI από υπεραφασματικά δεδομένα με τιμές του LAI από τρισδιάστατα μοντέλα (RGB) (Kalisperakis et al 2015)*

**Οι Iatrou G. et al (2017)**, χρησιμοποίησαν δεδομένα από UAV με σκοπό να εκτιμήσουν το ποσοστό ωρίμανσης των καρπών σε αμπελώνα. Εικόνες λήφθηκαν από UAV και στην συνέχεια παράχθηκαν ορθοφωτοχάρτες. Υπολογίστηκαν οι δείκτες NDVI (εικ. 21) (σχετίζεται με την βιομάζα) και ο CRI2 (εικ. 22) (συνδέεται αντιστρόφως με την ωρίμανση των καρπών, δηλαδή μικρές τιμές του δείκτη δείχνουν ωριμότητα των καρπών). Τα αποτελέσματα έδειξαν πως μια τέτοια πρακτική για την απόφαση συγκομιδής των καρπών μπορεί να αποφέρει καλύτερη ποιότητα οίνου και καλύτερη διαχείριση του κάθε αγροτεμάχιου.




*Εικόνα 21 - Ορθοφωτοχάρτης NDVI (Iatrou G. et al 2017)*




*Εικόνα 22 - Ορθοφωτοχάρτης CRI2 (Iatrou G. et al 2017)*

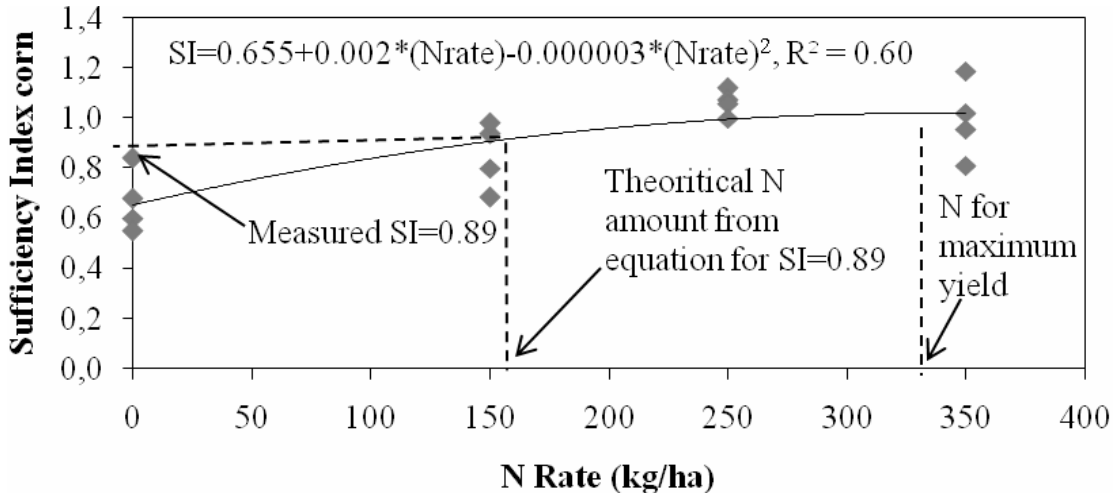
Παρόμοιες μελέτες για την εκτίμηση ωρίμανσης των καρπών έγιναν και από τους **Soubry et al (2017)** και από τους **Ιατρού Γ. κ. α. (2016)**.

**ΣΙΤΗΡΑ & ΨΥΧΑΝΘΗ**

**Οι Iatrou et al (2013)**, πειραματίστηκαν σε μια καλλιέργεια καλαμποκιού με σκοπό να ελέγξουν αν η τηλεπισκόπηση από UAV μπορεί να έχει έγκαιρη διάγνωση έλλειψης αζώτου. Επιπλέον, θέλησαν να κατασκευάσουν έναν αλγόριθμο που να συνδέει την αζωτούχο λίπανση με τον δείκτη βλάστησης της καλλιέργειας. Η διαδικασία του πειράματος σχετίστηκε με την διαφορετική χορήγηση αζώτου σε 4 διαφορετικές δόσεις. Στην συνέχεια δεδομένα λήφθηκαν από UAV και δημιουργήθηκαν ορθοφωτοχάρτες NDVI. Οι τιμές του NDVI παρουσίασαν αύξηση σε περιοχές που είχαν λιπανθεί περισσότερο με N. Επιπλέον, εξισώσεις (εικ. 23) δημιουργήθηκαν για περιοχές που έδωσαν καλύτερη συσχέτιση, με αποτέλεσμα την παραγωγή ενός δείκτη επάρκειας αζώτου (SI). Γενικά, για να είναι εφικτός ο προσδιορισμός της θρεπτικής κατάστασης σε N από τηλεσκοπικά δεδομένα, θα πρέπει να υπάρχει τουλάχιστον μία ζώνη που λιπαίνεται επαρκώς. Το συμπέρασμα των ερευνητών στην συγκεκριμένη εργασία ήταν πως με τον δείκτη επάρκειας αζώτου και με μία ανάλυση νιτρικών στο έδαφος, δίνεται η δυνατότητα να παραλείπεται αυτή η ζώνη εγκατάστασης.

Ο δείκτης επάρκειας αζώτου δίνεται:

SI = 0.655 + 0.002 × (Nrate) – 0.000003 × (Nrate)2, R2 = 0.60



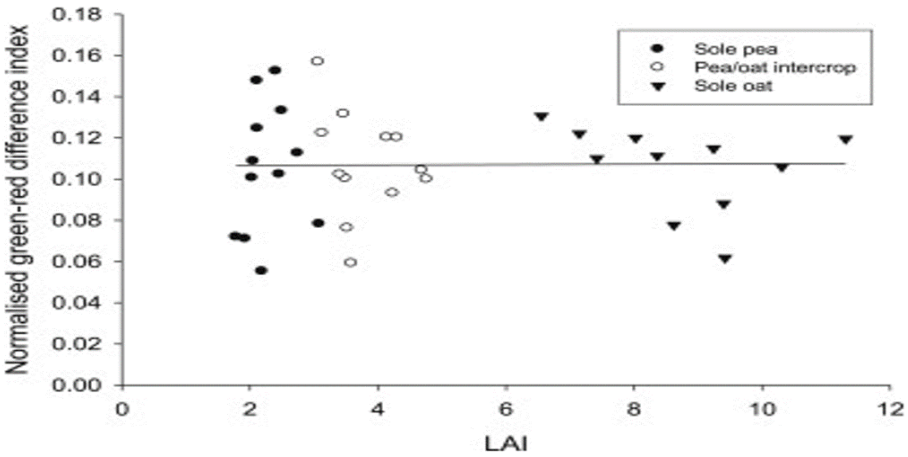

*Εικόνα 23 - Αλγόριθμος φασματικής ανάκλασης βασισμένος σε τιμές λίπανσης αζώτου και Δείκτη Επάρκειας (SI) (Iatrou et al 2013)*

**Οι Jannoura et al (2015)**, προσπάθησαν να εκτιμήσουν την βιομάζα από καλλιέργειες βρώμης και αρακά με την χρήση μόνο πραγματικών εικόνων από μια απλή RGB κάμερα (εικ. 24). Από τα δεδομένα, υπολογίστηκε ο Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Πράσινου-Κόκκινου και συγκρίθηκε με τον Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας (LAI) (εικ. 25).

$$NGRDI = \frac{GREEN - RED}{GREEN + RED}$$

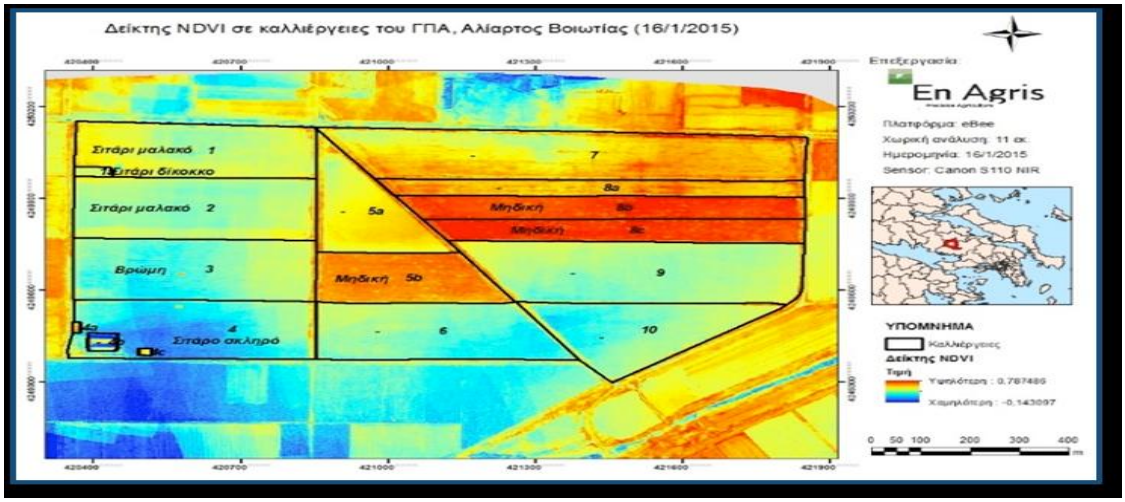
Άλλοι δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι NDVI και VI, με τον τελευταίο να μην έδωσε συσχέτιση με την βιομάζα, καθώς χρειάζονται δεδομένα από το κοντινό υπέρυθρο. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως με την χρήση του δείκτη NGRDI από κανονικές εικόνες δίνεται η δυνατότητα να υπολογιστεί η βιομάζα της καλλιέργειας και η διακύμανση της απόδοσης, αφού οι δύο δείκτες NGRDI και LAI είχαν καλή συσχέτιση. Επιπλέον οι ερευνητές επισήμαναν πως οι εκτίμηση της βιομάζας είναι πιο ευαίσθητη να καταγραφεί από δεδομένα στο κοντινό υπέρυθρο(NIR).

*Εικόνα 24 - UAV με 6 έλικες χρησιμοποιήθηκε για να φωτογραφίσει τον αγρό (Jannoura et al 2015)*

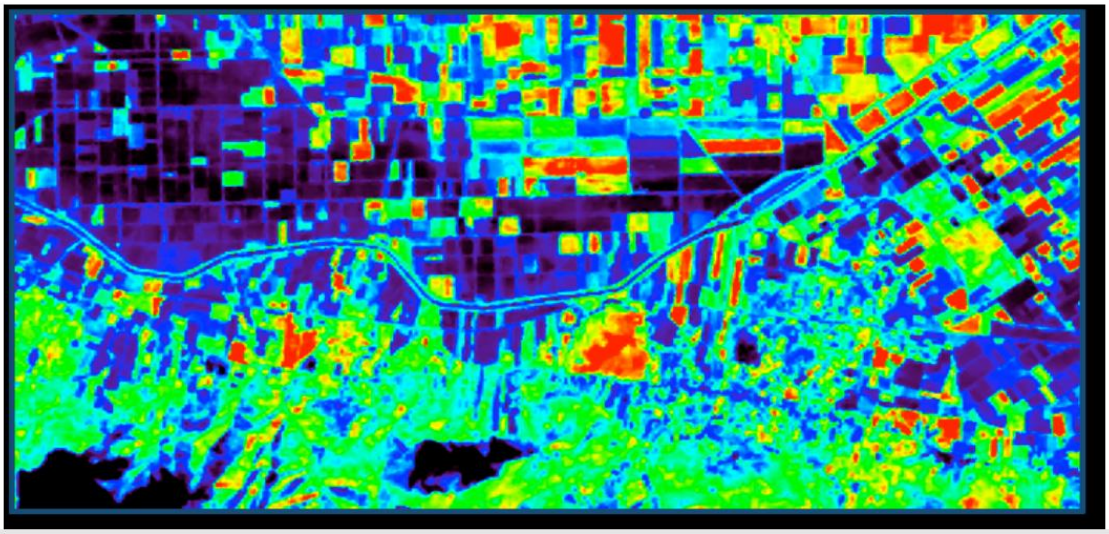



*Εικόνα 25 - Συσχέτιση NGRDI με τον LAI (Jannoura et al 2015)*

**Οι Kavvadias et al (2015)**, σύγκριναν τηλεπισκοπικά δεδομένα από UAV και από δορυφόρο. Το πείραμα έγινε σε πειραματικό αγρό σιτηρών του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών. Οι αισθητήρες που έφεραν τα δύο μέσα ήταν πολυφασματικές κάμερες. Τα δεδομένα επεξεργάστηκαν και δημιουργήθηκαν ορθοφωτοχάρτες NDVI (εικ. 26,27) με τις τιμές των δεικτών σε κάθε εικονοστοιχείο να συγκρίνονται (βλ. εικ. 10). Τα αποτελέσματα έδωσαν καλή συσχέτιση των τιμών, πράγμα που δείχνει την αξιοπιστία των UAV για χρήση στην Γεωργία.




*Εικόνα 26 - Ορθοφωτοχάρτης NDVI από δεδομένα UAV (Kavvadias et al 2015)*



*Εικόνα 27 - Χάρτης από NDVI δορυφόρου (Kavvadias et al 2015)*

## ΡΟΔΙΑ

**Οι Katsigiannis et al (2016)**, παρουσίασαν ένα UAS πλήρως αυτοματοποιημένο για την παροχή δεδομένων άρδευσης και γενικότερα ανέδειξαν τα πλεονεκτήματα ενός τέτοιου συστήματος για την μείωση τον εισροών. Οι δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν από τα τηλεπισκοπηκά δεδομένα είναι ο NDVI και ο Δείκτης Υδατικού Στρες (crop water stress index) με τύπο:

$$CWSI = \frac{T_{canopy} - T_{wet}}{T_{dry} - T_{wet}}$$

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο NDVI δεν δίνει επιτόπου πληροφορίες για την υδατική κατάσταση της καλλιέργειας παρά μόνο μακροπρόθεσμα. Όμως, οι ερευνητές θεώρησαν πως η χρήση θερμικών αισθητήρων θα μπορέσει να δώσει άριστα αποτελέσματα στην διαχείριση των αρδεύσεων, καθώς η άνοδος της θερμοκρασίας στην επιφάνεια των φυτών, λόγω διαπνοής, γίνεται φανερή μέσω αυτών.

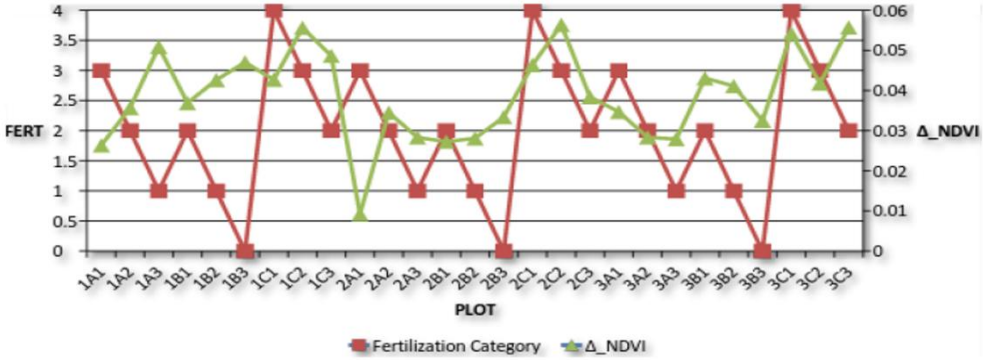
## ΑΚΤΙΝΙΔΙΑ

**Οι Misopolinos et al (2015)**, θέλησαν να δοκιμάσουν την τεχνολογία των UAS κα να συνοψίσουν τα προβλήματα σχετικά με τα λειτουργικά προβλήματα τους. Το UAV εξοπλίστηκε με μία θερμική και μία πολυφασματική κάμερα και δοκιμάστηκε σε έναν δενδρώνα ακτινιδίων στην Χρυσούπολη Καβάλας. Κατά την αποστολή του, το UAV σύλλεξε 103 φωτογραφίες οι οποίες επεξεργάστηκαν σε λογισμικό (Agisoft Photoscan) για την παραγωγή μωσαϊκού. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως τα δεδομένα ήταν υψηλής χωρικής ανάλυσης και πιο βελτιωμένα από τα υπόλοιπα συστήματα (δορυφόροι, κ.ά.). Όμως, η μικρή διάρκεια πτήσης φάνηκε να είναι περιοριστικός παράγοντας για τα UAS, που σύμφωνα με τους συγγραφείς χρειάζονται περαιτέρω ανάπτυξη.

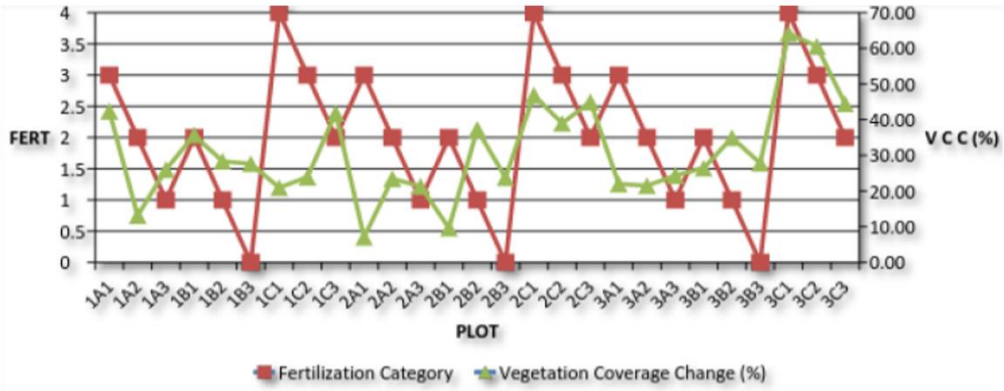
## ΤΟΜΑΤΑ

**Οι Kavvadias et al (2017)**, χρησιμοποίησαν τηλεπισκοπικά δεδομένα από UAV για την παραγωγή ορθοφωτοχαρτών NDVI και DSM. Σκοπός της έρευνας ήταν να ελέγξουν την συσχέτιση των τιμών του δείκτη NDVI με την ανάπτυξη των φυτών που έχουν λιπανθεί. Το πείραμα έλαβε μέρος στο Ελευθέριο Λάρισας σε καλλιέργεια βιομηχανικής τομάτας. Διαφορετικές δόσεις εφαρμόστηκαν σε διάφορα αγροτεμάχια και μελετήθηκαν. Η ανάλυση έδειξε πως αγροτεμάχια με τις υψηλότερες τιμές NDVI είχαν και το μεγαλύτερο ποσοστό λίπανσης και παρατηρήθηκε πως υπήρξε γενικότερη συσχέτιση μεταξύ των δύο παραγόντων. Αντίθετα, αγροτεμάχια με χαμηλά ποσοστά

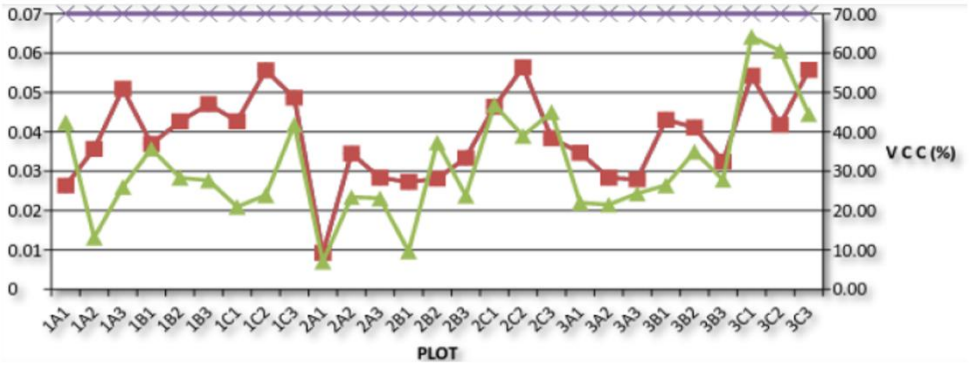
λίπανσης έδειξαν υψηλές τιμές NDVI. Συμπερασματικά, τα αποτελέσματα έδειξαν πως τιμές του NDVI δείχνουν μικρή συσχέτιση με την δόση λίπανσης. Αρκετά μεγάλη συσχέτιση έδειξαν οι τιμές του ρυθμού ανάπτυξης της βλάστησης μετά από μια δόση λίπανσης. Αυτό είναι λογικό να συμβαίνει, αν και οι τιμές στο δείκτη NDVI μπορεί να μην ανέβουν, λόγω της ιδιότητας κάποιων καλλιεργειών (όπως η τομάτα), να μεταφέρουν την ανάπτυξη στον καρπό από ένα σημείο και μετά.




*Εικόνα 28 - Συσχέτιση ποσοστού μεταβολής βλάστησης με της τιμές NDVI για κάθε αγροτεμάχιο (Kavvadias et al 2017)*




*Εικόνα 29 - Συσχέτιση ποσοστού μεταβολής βλάστησής (VCC%) ανάλογα με την κατηγορία λίπανσης (Kavvadias et al 2017)*




*Εικόνα 30 - Συσχέτιση τιμών NDVI ανά αγροτεμάχιο με την ανάλογη κατηγορία λίπανσης (Kavvadias et al 2017)*

## ΖΙΖΑΝΙΑ

**Οι Tamouridou et al (2016)**, διεξήγαγαν πείραμα με σκοπό να χαρτογραφήσουν το ζιζάνιο *S. Marianum* με την χρήση τηλεπισκόπησης από UAV. Τα δεδομένα ήταν από πολυφασματική κάμερα και σκοπό αποτελούσε η χαρτογράφηση της περιοχής. Στην συνέχεια, αναγνωρίστηκαν τεμάχια του ζιζανίου στο χάρτη και με την βοήθεια στατιστικών ταξινομητών ( ML classifier) ταξινομήθηκε το ζιζάνιο *S. Marianum.* Το ποσοστό αναγνώρισης του ζιζανίου δεν έφτασε το 87%, αριθμός που δείχνει την δυνατότητα αναγνώρισης ζιζανίων μεταξύ άλλων βλαστήσεων.

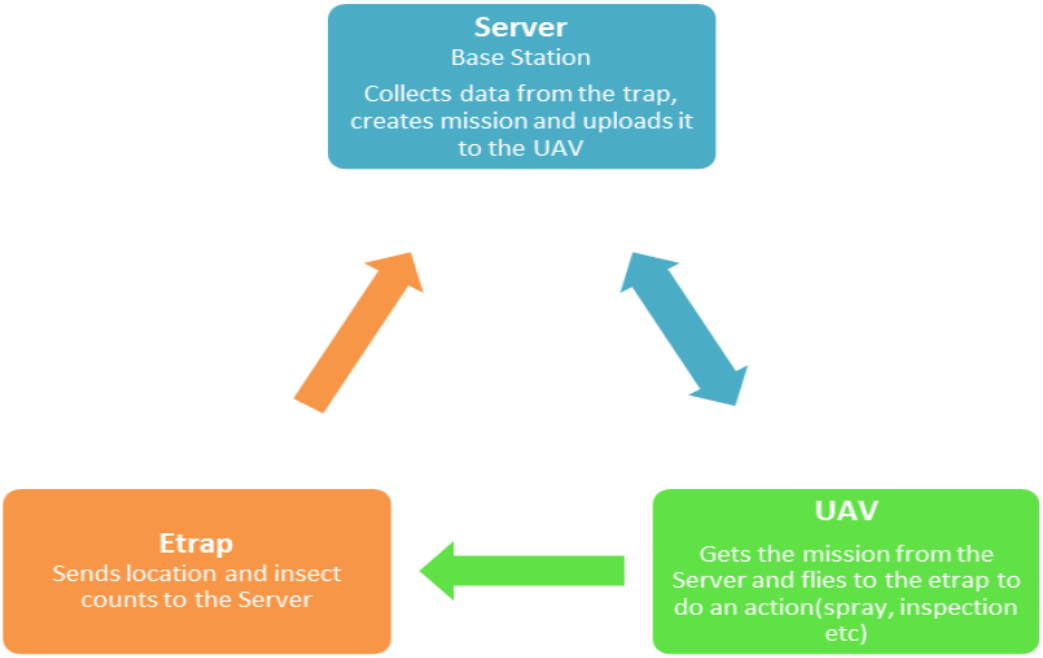
Επιπλέον, σε άλλες δημοσιεύσεις (Tamouridou et al 2017α) (Tamouridou et al 2017β), οι ίδιοι ερευνητές παρουσίασαν μια άλλη προσέγγιση για τον σκοπό αναγνώρισης του ζιζανίου, χρησιμοποιώντας διαφορετικούς στατιστικούς ταξινομητές αυτή την φορά, όπως τους OC-SVM, OC-SOM, OC-PCA, Autoencoder, αλλά και τον MLP-ARD classifier. Με αυτόν τον τρόπο τα ποσοστά αναγνώρισης είχαν μεγάλη επιτυχία αφού ο MLP-ARD διέκρινε το *S. Marianum* με ποσοστό επιτυχίας 99.55%. Επιπλέον, οι OC-SVM, OC-SOM, OC-PC, Autoencoder είχαν ποσοστά επιτυχίας 96.05%, 94.65%, 90% και 94.30% αντίστοιχα.

## ΦΟΙΝΙΚΟΔΕΝΔΡΑ

Τέλος, **οι Psirofonia et al (2017)**, χρησιμοποίησαν UAV και πραγματικές εικόνες και βίντεο για την καταγραφή της βλάστησης των φοινικόδεντρων στην Κρήτη (εικ.31). Σκοπός του πειράματος ήταν να αναγνωρίσουν ορατά σημάδια προσβολής στο φύλλωμα του δένδρου. Η προσβολή είναι από το κόκκινο σκαθάρι των φοινίκων (*Rhynchophorus Ferrugineus),* το οποίο είναι σε έξαρση και έχει δημιουργήσει μεγάλη ζημία στην περιοχή.

*Εικόνα 31 - Χλωρώσεις φύλλων στης κορυφές του φοίνικα, χαρακτηριστικό της προσβολής του R. Ferrugineus (Psirofonia et al 2017)*

Οι ίδιοι ερευνητές πρότειναν ένα σενάριο που προτείνει την συνεργεία ηλεκτρονικών παγίδων (E-traps) μαζί με UAV εξοπλισμένα με ψεκαστικό σύστημα (εικ 32). Με ασύρματη κλήση η ηλεκτρονική παγίδα καλεί το UAV και μεταδίδει της συντεταγμένες. Στην συνέχεια το UAV πετάει προς τις συντεταγμένες που δέχθηκε ψεκάζει την περιοχή και επιστρέφει στην βάση του. Μία πρωτοποριακή πρακτική ΓΑ που τα αποτελέσματα της δεν έχουν ακόμα δημοσιευθεί.




*Εικόνα 32 - Υποθετικό σενάριο συνέργειας ηλεκτρονικών παγίδων και ψεκαστικού UAV (Psirofonia et al 2017)*

## 4.4 Μειονεκτήματα UAV

Ο κατάλογος των πλεονεκτημάτων της χρήσης UAVs στη Γεωργία είναι μακρύς. Στον αντίποδα όμως, υπάρχουν και μειονεκτήματα όπως:

Υπάρχουν οικονομικά UAVs στο εμπόριο που προορίζονται για ψυχαγωγικούς και επαγγελματικούς σκοπούς, όπως και διάφορες κάμερες. Παρ΄ όλα αυτά, δεν είναι όλα κατάλληλα για να χρησιμοποιηθούν στη ΓΑ (Huang et al 2015). Μια φθηνή κάμερα και ένα απλό UAV περιορίζουν σημαντικά της πληροφορίες που λαμβάνονται. Το ελαφρύ βάρος του UAV συντελεί σε αστάθεια του συστήματος, με αποτέλεσμα οι εικόνες να είναι θολές (Zhang et al 2012 και Abdullah et al 2015). Επιπλέον, οι κάμερες πρέπει να είναι υψηλής χωρικής ανάλυσης για ακρίβεια των δεδομένων, χαρακτηριστικό που δεν φέρουν οι απλές κάμερες.

Εμπορικά UAV είναι πλέον διαθέσιμα στη ΓΑ. Ωστόσο, το κατάλληλο λογισμικό και η απαραίτητη εκπαίδευση αυξάνουν σημαντικά το κόστος αγοράς ενός τέτοιου συστήματος και αποτελούν τροχοπέδη για έναν μέσο αγρότη. Σημαντικά μεγάλο είναι το κόστος για ένα UAV όταν εξοπλίζεται με εξαρτήματα όπως ένα σύστημα ψεκασμού. Τα UAV πλέον έχουν αποκτήσει πολύ μεγάλη αυτονομία και τα συστήματα αυτόματων πιλότων έχουν εξελιχθεί σε σχέση με λίγα χρόνια πριν. Εξακολουθεί όμως να χρειάζεται χειριστής για την εξαγωγή πληροφοριών σχετικά με την καλλιέργεια (Sinha et al 2016). Επίσης, η ανάλυση των δεδομένων είναι χρονοβόρα και χρειάζεται γνωστικό υπόβαθρο.

Οι καιρικές συνθήκες φαίνεται να είναι περιοριστικός παράγοντας για την χρησιμοποίηση των UAV. Κατά την διάρκεια βροχοπτώσεων, έντονων ανέμων ή ακόμα και έντονης ηλιοφάνειας τα δεδομένα που λαμβάνονται δεν δίνουν αντικειμενικές πληροφορίες, αφού οι αισθητήρες είναι ευαίσθητοι στην υγρασία και στην καταγραφή κάποιας άλλης ενέργειας. Βέβαια, με την βοήθεια συγκεκριμένων δεικτών τέτοια προβλήματα διορθώνονται, όμως η διαδικασία είναι βραδεία. Επίσης, όταν βρίσκεται εν πτήση ένα UAV, ο χειριστής δεν δύναται να το προφυλάξει επαρκώς. Έτσι, υπάρχει πάντοτε ο κίνδυνος να υπάρξει σύγκρουση με άλλο αντικείμενο, είτε να υπάρξει βλάβη στην μηχανή, είτε να προσκρούσει στο έδαφος. Σε αυτήν την περίπτωση συνήθως δεν υπάρχει αποζημίωση και η οικονομική ζημία είναι μεγάλη.

Μειονέκτημα για την Ελλάδα είναι οι μικρές καλλιεργούμενες εκτάσεις που έχουν μεμονωμένα οι αγρότες, αφού η χρήση μίας τέτοιας πρακτικής προϋποθέτει μεγάλες εκτάσεις για να είναι βιώσιμη (Katsigiannis et al 2016). Έχει υπολογιστεί ότι το ελάχιστο μέγεθος για επένδυση στη χρήση UAV είναι 5 ha, (Πρ. πληρ., 2018). Επίσης, η χαμηλή ενημέρωση πάνω σε θέματα ΓΑ και η αρνητικότητα των αγροτών να δεχθούν καινοτόμες πρακτικές, φέρνει σε μεγαλύτερη απόσταση την ενσωμάτωση της ΓΑ στην Ελληνική Γεωργία. Επίσης, η νέα νομοθεσία ίσως αποφέρει μερικούς περιορισμούς σε ορισμένους χρήστες ανάλογα την περιοχή που ίπταται το όχημα.

# 5. Συμπεράσματα

Ένα UAV προγραμματίζεται να εκτελέσει μια ορισμένη αποστολή. Για την τηλεπισκόπηση, αυτή είναι η λήψη αεροφωτογραφιών. Η αποστολή είναι μικρής διάρκειας και τα δεδομένα είναι αρκετά για να αποτυπώσουν μια συνολική εικόνα του αγρού. Στην συνέχεια, ο χειριστής για να διαχειριστεί αυτές τις πληροφορίες τις εξάγει σε ένα ειδικό λογισμικό για επεξεργασία. Τα δεδομένα διορθώνονται και γεωαναφέρονται σε ένα σύστημα GPS. Βασική επεξεργασία των δεδομένων στην τηλεπισκόπηση είναι η παραγωγή φωτομωσαϊκών και ορθοφωτοχαρτών.

Με την χρήση πολυφασματικών και υπερφασματικών αισθητήρων και με την κατάλληλη ανάλυση των δεδομένων, δίνονται πληροφορίες για την ευρωστία της καλλιέργειας, την περιεκτικότητα της βιομάζας, την θρεπτική κατάσταση του αγρού και εντοπίζονται περιπτώσεις στρες. Επίσης, δίνονται πληροφορίες για ασθένειες παθογόνων και προσβολές εντόμων. Θερμικές κάμερες χρησιμοποιούνται για την παρατήρηση της υδατικής κατάστασης της καλλιέργειας. Με την σωστή ερμηνεία των δεδομένων ο παραγωγός μπορεί να έχει συνολική εικόνα για την καλλιέργεια και δίνεται η πιθανότητα πρόβλεψης της απόδοσης της. Επιπλέον, δεδομένου της χωρικής παραλλακτικότητας του αγρού, η λειτουργία των φροντίδων απαντάτε σε στοχευμένα αγροτεμάχια και όχι σε ολόκληρο τον αγρό. Μια τέτοια πρακτική όχι μόνο μειώνει το κόστος και εξοικονομεί χρόνο, αλλά έχει και μεγάλη οικολογική σημασία αφού μειώνεται η χρήση αγροχημικών. Ακόμα, με τον σωστό εξοπλισμό και την σωστή εξειδίκευση, σιγά-σιγά ο παραγωγός αρχίζει να εντάσσει και άλλες καινοτομίες με τη χρήση UAV όπως ψεκασμούς, ασύρματες επικοινωνίες και άλλους αυτοματισμούς.

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας έχει βελτιώσει αρκετά τα Συστήματα Εναέριων Συστημάτων (UAS). Οι λειτουργίες αυτοματισμού και αυτονομίας έχουν αναβαθμιστεί και το κόστους για ένα τέτοιο σύστημα έχει μειωθεί. Ένα UAV, πλέον μπορεί και χρησιμοποιηθεί πιο εύκολα σε σχέση με παλαιότερα. Το ίδιο ισχύει και για την εξαγωγή δεδομένων της τηλεπισκόπησης, λόγω της βελτίωσης τον λογισμικών που χρησιμοποιούνται. Ακόμα, τα δεδομένα που λαμβάνονται από τηλεπισκόπηση είναι υψηλής χωρικής ακρίβειας και έχουν δείξει πως εύκολα μπορούν να αντικαταστήσουν τις παλιές πρακτικές. Σε αυτό έχει συνδράμει η βελτίωση των αισθητήρων, αφού στο εμπόριο υπάρχουν νέα μοντέλα με το κατάλληλο βάρος και την καλύτερη δυνατή χωρική ανάλυση.

Παρά τις δυσκολίες ένταξης πρακτικών ΓΑ στην Ελλάδα, ερευνητές και παραγωγοί εργάζονται πάνω στο θέμα με σκοπό να υλοποιήσουν αυτήν την προσπάθεια. Πειράματα και έρευνες μέχρι σήμερα έχουν αποδείξει πως τα UAS είναι κατάλληλα για τηλεπισκόπηση από χαμηλό ύψος και μπορούν να

αντικαταστήσουν τις συνήθεις πρακτικές. Με την συνεχή παρακολούθηση και μοντελοποίηση των καλλιεργειών γίνεται να αναστραφούν πρακτικές κακής λίπανσης, άρδευσης και φυτοπροστασίας που μειώνουν την παραγωγή. Επίσης μπορεί να βελτιωθεί η ποιότητα των παραγόμενων ελληνικών προϊόντων ( Iatrou G. 2017).

Μέσω προσωπικών πληροφοριών από τον Βασίλη Πολύχρονο, τεχνικό διευθυντή της εταιρίας GeoSense και από τον Δρ. Γ. Ιατρού της εταιρίας ΟΙΚΟΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΕ, δόθηκαν πιο ακριβείς πληροφορίες όσον αφορά την χρήση των UAV στην ΓΑ. Το κόστος απόκτησης μιας τέτοιας τεχνολογίας είναι οικονομικά ασύμφορο για έναν μέσο παραγωγό στην Ελλάδα, αφού οι τιμές για κατάλληλο UAV κυμαίνονται από 3000 έως 8000 €, για τον εξοπλισμό των αισθητήρων κοντά στα 3.700€ και για την αγορά του λογισμικού με την απαραίτητη εκπαίδευση κοντά στα 3.500€. Παρόλα αυτά, η αγορά ενός τέτοιου συστήματος θα ήταν θετική με την δημιουργία ομάδων παραγωγών (Clusters). Επίσης, έχει παρατηρηθεί πως το κόστος αγοράς του συστήματος εξαλείφεται μέσα σε δύο χρόνια, καθώς με την σωστή ερμηνεία των δεδομένων υπάρχει αύξηση της απόδοσης από 10% έως 30%. Η διεθνής εταιρία senseFly παρατήρησε ότι για κάθε εκτάριο υπάρχει μείωση κόστους 120€. Επιπλέον, με την σωστή ερμηνεία των δεδομένων ο παραγωγός έχει την δυνατότητα να προβλέψει ποια χρονική στιγμή θα βγει στην αγορά. Τέλος, η τεχνολογία έχει δείκτη αξιοπιστίας των δεδομένων κοντά στο 90%, έχει πολύ μικρό κόστος συντήρησης, είναι άμεσα διαθέσιμη για χρήση και μπορεί να ελέγξει το μοντέλο φυτοπροστασίας που χρησιμοποιήθηκε.

Με τη βελτίωση των συστημάτων για υψηλής ανάλυσης δεδομένα, αλλά και την ανάμειξη γνώσεων από άλλα επιστημονικά πεδία, η συγκεκριμένη τεχνολογία μπορεί να γίνει βασικό στοιχείο στην γεωργία. Άλλωστε, η τεχνολογία αυξήθηκε γρήγορα τα τελευταία χρόνια και αναμένεται περεταίρω εξέλιξη (Simelli, Tsagaris. 2015).

# 6. Βιβλιογραφία

**Ελληνική**


1. Γέμτος, Θ., & Φουντάς, Σ. (2015). Γεωργία Ακριβείας. 130-145, 220-238. Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγρμάματα και Βοηθήματα.
2. Ιατρού, Γ. (2017). Προφορική μαρτυρία του Δρ. της εταιρίας ΟΙΚΟΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΕ. Θεσσαλονίκη.
3. Ιατρού, Γ., Gewehr, S., Ιατρού, Μ., & Ζαρταλούδης, Ζ. (2016). Χαρτογράφηση ζωνών ωρίμανσης σταφυλιών με χρήση εικόνων πολυφασματικής κάμερας προσαρμοσμένης σε μη επανδρωμένο αεροσκάφος. *Αγροτικά Θέματα(Vol.Ιανουάριος 2016)*, pp.65-72.
4. Ιατρού, Γ., Ιατρού , Μ., Gewehr, S., Καρυδάς, Χ., Κράββας, Κ., & Μουρελάτος , Σ. (2018). Αξιοποίηση της τηλεπισκόπησης για λίπανση ακριβείας στους ορυζώνες της Θεσσαλονίκης. *Αγροτικά Θέματα(Vol.Φεβρουάριος 2018)*, pp.1-3.
5. Ιατρού, Γ., Καρυδάς , Χ., Gewehr, S., Ιατρού, Μ., & Μουρελάτος, Σ. (2017). Αμπελουργία ακριβείας με εναέρια μέσα. *Οινοπαραγωγή(Vol.Ιανουάριος 2017)*, pp.18-24.
6. Κανονισμός - γενικό πλαίσιο πτήσεων Συστημάτων μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών- ΣμηΕΑ (Unmanned Aircraft Systems - UAS) δημοσίευση στο ΦΕΚ 3152/Β/30.9.2016. (2016). *Εφημερίδα της Κυβερνήσεως(Vol.2)*, pp.32903-32918.
7. Μωυσιάδης, Α. Κ. (2015). Στοιχεία Φωτογραμμετρίας – Φωτοερμηνείας. *Η τηλεπισκόπηση σε 13 ενότητες*. Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών .
8. Οικονόμου, Μ. (2014). Ανάλυση, συσχέτιση και αξιολόγηση τησπισκοπικών δεδομένων από δορυφόρους, μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα και φασματοραδιόμετρα πεδίου, με εφαρμογές στην Γεωργία Ακριβείας. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
9. Πολύχρονος, Β., & Περδικάρης, Α. (2016). Γεωργία Ακριβείας: Χρήση μη επανδρωμένων αεροχημάτων στη γεωργία. *Αγρότυπος(Vol.Ιούλιος 2016)*, pp.2-4.
10. Πολύχρονος, Β. (2017). Προφορική μαρτυρία του τεχνικού διευθυντή της εταιρίας Geosense. Θεσσαλονική.
11. Πρ. πληρ., (2018). Προσωπική πληροφορία από τον ειδικό Βασίλη Πολύχρονο, Μάιος 2018


**Ξενόγλωσση**


12. Alexandridis, T., Andrianopoulos, A., Galanis, G., & Zalidis, G. (2017). An Integrated Approach to Promote Precision Farming as a Measure Toward Reduced-Input Agriculture in Northern Greece Using a Spatial Decision Support System. *Elsevier*, pp.1-90.

13. Alexandridis, T., Tamouridou, A., Pantazi, E., Lagopodi, A., Kashefi, J., Ovakoglou, G., Moschou, D. (2017). Novelty Detection Classifiers in Weed Mapping: Silybum marianum Detection on UAV Multispectral Images. *Sensors(Vol.17), Issue 9*, Article No:2007.

14. Bareth, G., Bendig, J., Bolten, A., & Aesen, H. (2014). Use of Drones in Agriculture – Prospects and Limitations. University of Cologne.

15. Bybordi, S., & Reggiani, L. (2015). Drones in agriculture: applications and outlook. Politecnico di Milano.

16. Candiago, S., Remondino, F., De Giglio, M., Dubbini, M., & Gattelli, M. (2015). Evaluating Multispectral Images and Vegetation Indices for Precision Farming Applications from UAV Images. *Remote Sensing(Vol.7)*, pp.4026-4047.

17. Gago, J., Douthe, C., Coopman, R. E., Gallego, P. P., Ribas-Carbo, M., Flexas, J., Medrano, H. (2015). UAVs challenge to assess water stress for sustainable agriculture. *Agricultural Water Management(Vol.153)*, pp.9-19.

18. Gertsis, A., Vasilikiotis, C., & Zoukidis, K. (2015). Management Zones delineation in olive grove using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV). Proceedings of the 7th International Conference on Information and Communication Technologies in Agriculture, Food and Environment (HAICTA 2015), Kavala, Greece, 17-20 September, 2015.

19. Hafsal, L. P. (2016). Precision Agriculture with Unmanned Aerial Vehicles for SMC estimations – Towards a more Sustainable Agriculture. Hedmark University of Applied Sciences.

20. Herwitz, S., Johnson, L., Dunagan, S., Higgins, R., Sullivan, D., Zheng, J., Brass, J. (2004). Imaging from an unmanned aerial vehicle: agricultural surveillance and decision support. *Computers and Electronics in Agriculture(Vol.44), Issue 1*, pp.49-61.

21. Hogan, S., Kelly, M., Stark, B., & Chen, Y. (2017). Unmanned aerial systems for agriculture and natural resources. *California Agriculture(Vol.71), Issue 1*, pp.5-14.

22. Huang, Y., Thomson, S. J., Hoffman, W. C., Lan, Y., & Fritza, B. K. (2013). Development and prospect of unmanned aerial vehicle technologies for agricultural production management. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering(Vol.6), Issue 3*, pp.1-10.

23. Iatrou, G., Mourelatos , S., Gewehr, S., Iatrou, M., Zartaloudis, Z., & Kalaitzopoulou, S. (2017). Using multispectral imaging to improve berry harvest for wine making grapes. *Ciência e Técnica Vitivinícola(Vol.32), Issue 1*, pp.33-41.

24. Iatrou, M., Papadopoulos, A., Psoma, P., & Kiparissi, S. (2013). Determining nitrogen variability using remote sensing from an unmanned aerial vehicle for sound fertilization of corn. Proceedings of the 8ο Πανελλήνιο Συνέδριο Εταιρείας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος, Βόλος, Έλλαδα, 25-26 Σεπτεμβρίου, 2013.

25. Jannoura, R., Brinkmann, K., Uteau, D., Bruns, C., & Joergensen, R. G. (2015). Monitoring of crop biomass using true colour aerial photographs taken from a remote controlled hexacopter. *Biosystems engineering(129)*, pp.341-351.

26. Johnson, L. F., Herwitz, S., Dunagan, S., Lobitz, B., Sullivan, D., & Slye, R. (2003). Collection of Ultra High Spatial and Spectral Resolution Image Data over California Vineyards with a Small UAV. Proceedings of the International Symposium on Remote Sensing of Environment, Honolulu, Hawaii, 10-14 November, 2003.

27. Kalisperakis, I., Stentoumis, C., Grammatikopoulos , L., & Karantzalos, K. (2015). Leaf Area Index Estimation in Vineyards from UAV Hyperspectral Data, 2D Image Mosaics and 3D Canopy Surface Models. Proceedings of the International Conference on Unmanned Aerial Vehicles in Geomatics, Toronto, Canada, 30 August – 02 September, 2015.

28. Karakizi, C., Oikonomou, M., & Karantzalos, K. (2015). Spectral Discrimination and Reflectance Properties of Various Vine Varieties from Satellite, UAV and Proximate Sensors. Proceedings of the 36th International Symposium on Remote Sensing of Environment, Berlin, Germany, 11–15 May, 2015.

29. Karydas, C., Gewehr, S., Iatrou, M., Iatrou, G., & Mourelatos, S. (2017). Olive Plantation Mapping on a Sub-Tree Scale with Object-Based Image Analysis of Multispectral UAV Data; Operational Potential in Tree Stress Monitoring. *Journal of Imaging(Vol.3), Issue 4*, pp.57.

30. Katsigiannis , P., Misopolinos, L., Liakopoulos, V., Alexandridis, T. K., & Zalidis, G. (2016). An Autonomous Multi-Sensor UAV System for Reduced-Input Precision Agriculture Applications. Proceedings of the 24th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED), Athens, Greece, 21-24 June, 2016.

31. Kavvadias , A., Psomiadis, E., Chanioti, M., & Dercas, N. (2017). Unmanned Aerial Vehicle (UAV) data analysis for fertilization dose assessment. *Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XIX: Proceedings of SPIE Series(Vol.10421)*.

32. Kavvadias, A., Psomiadis, E., Chanioti, M., Gala, E., & Michas, S. (2015). Precision Agriculture – Comparison and Evaluation of Innovative Very High Resolution (UAV) and LandSat Data. Proceedings of the 7th International Conference on Information and

Communication Technologies in Agriculture, Food and Environment (HAICTA 2015), Kavala, Greece, 17-20 September, 2015.

33. Khanal, S., Fulton, J., & Shearer, S. (2017). An overview of current and potential applications of thermal remote sensing in precision agriculture *Computers and Electronics in Agriculture(Vol.139)*,pp.22-32.

34. Khot, L. R. (2017). Unmanned Aerieal Systems in Agricutlure: part 2 (Sensors). Washington State University.

35. Kyratzis, A. C., Skarlatos, D. P., Menexes, G. C., Vamvakousis, V. F., & Katsiotis, A. (2017). Assessment of Vegetation Indices Derived by UAV Imagery for Durum Wheat Phenotyping under a Water Limited and Heat Stressed Mediterranean Environment. *Frontiers in Plant Science(Vol.8)*, Article No:1114.

36. Matese, A., Toscano, P., Di Gennaro, S., Genesio, L., Vaccari, F., Primicerio, J.,. Gioli, B. (2015). Intercomparison of UAV, Aircraft and Satellite Remote Sensing Platforms for Precision Viticulture. *(Vol.7), Issue 3*, pp.2971-2990.

37. McKinnon, T. (2016). Agricultural Drones: What Farmers Need to Know. Agribotix.com.

38. Misopolinos, L., Zalidis, C., Liakopoulos, V., Stavridou, D., Katsigiannis, P., Zalidis, G., & Alexandridis, T. K. (2015). Development of a UAV system for VNIR-TIR acquisitions in precision agriculture. Proccedings of the 3rd International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment, Chlorakas, Cyprus, 16-19 March, 2015.

39. Papadopoulos, A., Iatrou, M., Papadopoulos, F., & Kiparissi, S. (2014). Preliminary results for standardization of NDVI using soil nitrates in corn growing. *Fresenius Environmental Bulletin(Vol.23), Issue 2*, pp.348-354.

40. Papadopoulos, A., Papadopoulos, F., Tziachris, P., & Iatrou, M. (2014). Site specific agricultural soil management with the use of new technologies. *Global Nest Journal(Vol.16), Issue 1*, pp.59-67.

41. Price, K. P. (2014). Drones in modern Agriculture. Kansas State University.

42. Primicerio, J., Di Gennaro, S., Fiorillo, E., Genesio , L., Lugato, E., Matese, A., & Vaccari, F. (2012). A flexible unmanned aerial vehicle for precision agriculture. *Precision Agriculture(Vol.13), Issue 4*, pp.517-523.

43. Psirofonia, P., Samaritakis, V., Eliopoulos, P., & Potamidis, I. (2017). Use of Unmanned Aerial Vehicles for Agricultural Applications with Emphasis on Crop Protection: Three Novel Case-studies. *International*

*Journal of Agricultural Science and Technology(Vol.5), Issue 1*, pp.30-39.

44. Senthilnath, J., Kandukuri, M., Dokania, A., & Ramesh, K. (2017). Application of UAV imaging platform for vegetation analysis based on spectral-spatial methods. *Computers and Electronics in Agriculture(Vol.140)*, pp.8-24.

45. Silleos, N. G., Alexandridis, T. K., Gitas, I. Z., & Perakis, K. (2008). Vegetation Indices: Advances Made in Biomass Estimation and Vegetation Monitoring in the Last 30 Years. *Geocarto International(Vol.21), Issue 4*, pp.21-28.

46. Simelli, I., & Tsagaris, A. (2015). The Use of Unmanned Aerial Systems (UAS) in Agriculture. Proceedings of the 7th International Conference on Information and Communication Technologies in Agriculture, Food and Environment (HAICTA 2015), Kavala, Greece, 17-20 September, 2015.

47. Sinha, J., Kushwaha, H., Kushwaha, D., Purushottam, M., & Singh, N. (2016). Prospect of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Technology for Agricultural Production Management. Proceedings of the International Conference on Emerging Technologies in Agricultural and Food Engineering, Kharagpur, India, 27–30 December, 2016.

48. Soubry, E., Patias, P., & Tsioukas, V. (2017). Monitoring Vineyards with UAV and Multi-Sensors for the Assessment of Water Stress and Grape Maturity. *Journal of Unmanned Vehicle Systems(Vol.5), Issue 2*, pp.37-50.

49. Stefanakis, D., Hatzopoulos, J. N., Margaris, N., & Danalatos, N. (2013). Creation of Remote Sensing Unmanned Aerial System (UAS) for Precision Agriculture and Related Mapping Applications. Proceedings of the ASPRS 2013 Annual Conference Baltimore, Maryland, 25-29 March, 2013.

50. Stombaugh, T., Smith, S., & Thamann, M. (2015). The Use of Unmanned Aircraft Systems in Agriculture. University of Kentucky.

51. Tamouridou, A. A., Alexandridis, T. K., Pantazi, X. E., Lagopodi, A. L., Kashefi, J., & Moschou, D. (2017). Evaluation of UAV imagery for mapping Silybum marianum weed patches. *International Journal of Remote Sensing(Vol.38), Issue 8-10*, pp.2246-2259.

52. Tamouridou, A., Alexandridis, T., Pantazi, X., Lagopodi, A., Kashefi, J., Kasampalis, D.,. Moschou, D. (2017). Application of Multilayer Perceptron with Automatic Relevance Determination on Weed Mapping Using UAV Multispectral Imagery. *Sensors(Vol.17), Issue 10*, Article No:2307.

53. Trivellas, P., Perdikaris, A., & Barmpagalou, A. (2015). The use of unmanned aircrafts on precision agriculture. Proceedings of the 1st International Conference on Agrifood SCM & Green Logistics, Thessaloniki, Greece, 27-30 May, 2015.

54. Van Evert, F. K., Gaitán-Cremaschi, D., Fountas, S., & Kempenaar, C. (2017). Can Precision Agriculture Increase the Profitability and Sustainability of the Production of Potatoes and Olives? *Sustainability(Vol.9), Issue 10*, Article No:1863.

55. Vroegindeweij, B. A., van Wijk, S. W., & van Henten, E. J. (2014). Autonomous Unmanned Aerial Vehicles for Agricultural Applications. Wageningen University.

56. Zartaloudis, Z., Savvidis, G., Savvidis, K., & Kiparissi, S. (2015). Innovative services for diagnosis and management of agroecosystem pathology agents. *Fork to Farm : International Journal of Innovative Research and Practice(Vol.2), Issue 1*, pp.1-9.

57. Zartaloudis, Z., Savvidis, George, Savvidis, K., & Kiparissi, S. (2015). Early and timely detection of Verticillium dahliae in olive growing using remote sensing. Proceedings of the XVII Simposio Científico-Técnico EXPOLIVA, Jaén, España, 6-8 de mayo, 2015.

58. Zhang, C., & Kovacs, J. M. (2012). The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. *Precision Agriculture(Vol.13), Issue 6*, pp.693-712.

59. Zheng, G., & Moskal, M. L. (2009). Retrieving Leaf Area Index (LAI) Using Remote Sensing: Theories, Methods and Sensors. *Sensors(Vol.9), Issue 4*, pp.2719-2745.

## Ηλεκτρονικές Πηγές

60. «Η Καθημερινή: Τι προβλέπει ο κανονισμός της ΥΠΑ για τα drones», http://www.kathimerini.gr/877598/article/epikairothta/ellada/ti-provlepei-o-kanonismos-ths-ypa-gia-ta-drones, (ανάκτηση 28/05/2018)
61. «Τηλεπισκόπηση και GIS στην Γεωργία: Δείκτες Βλάστησης», http://www.seos-project.eu/modules/agriculture/agriculture-c01-s03.gr.html
62. «Harris Geospatial Solutions: Vegetation Indices», http://www.harrisgeospatial.com/docs/VegetationIndices.html
63. «Hellas drones: Η Νομοθεσία απλά και κατανοητά», https://hellasdrones.com/2017/05/η-νομοθεσια-απλα-και-κατανοητα/, (ανάκτηση 24/05/2017)
64. «Merriam Webster: Definition of sensor», https://www.merriam-webster.com/dictionary/sensor, (ανάκτηση 15/05/2018)
65. «Wikipedia: Τηλεπισκόπηση», https://el.wikipedia.org/wiki/Τηλεπισκόπηση