



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ**

**ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ – ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ- ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ**

**ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ**

**Διπλωματική εργασία**

**ΜΕΛΕΤΗ ΡΑΔΙΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΣΕ  
ΧΑΜΗΛΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΝΑΕΡΙΟ ΠΟΛΥΦΑΣΜΑΤΙΚΟ ΔΕΚΤΗ**

**Οικονομάκης Δημήτριος**

**Αθήνα, Ιούλιος 2023**



**NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS**

**SCHOOL OF RURAL, SURVEYING  
AND GEOINFORMATICS  
ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF TOPOGRAPHY-LABORATORY OF  
REMOTE SENSING**

**Diploma thesis**

**SPECTROGRAPHIC AND RADIOMETRIC STUDY OF A LOW COST  
AERIAL MULTISPECTRAL RECEIVER**

**Dimitrios Oikonomakis**

**Athens, July 2023**



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ**  
**ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ – ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ-ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ**  
**ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ**

**Διπλωματική εργασία**

**ΜΕΛΕΤΗ ΡΑΔΙΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ**  
**ΣΕ ΧΑΜΗΛΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΝΑΕΡΙΟ ΠΟΛΥΦΑΣΜΑΤΙΚΟ**  
**ΔΕΚΤΗ**

**Οικονομάκης Δημήτριος**

**Αθήνα, Ιούλιος 2023**

Εγκρίθηκε από την τριμελής εξεταστική επιτροπή

Κ. Καράντζαλος  
.....  
Καθηγητής ΕΜΠ

Β. Καραθανάση  
.....  
Καθηγήτρια  
ΕΜΠ

Π. Κολοκκούσης  
.....  
Ε.ΔΙ.Π ΕΜΠ



# ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

|                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΕΙΚΟΝΩΝ.....                                                                             | 7  |
| Εισαγωγή.....                                                                                      | 11 |
| Κεφάλαιο 1ο : Εισαγωγικές Παρατηρήσεις.....                                                        | 12 |
| 1.1 Τηλεπισκόπηση.....                                                                             | 12 |
| 1.1.1. Δομή πολυφασματικών δορυφορικών εικόνων.....                                                | 13 |
| 1.1.2. Διακριτική ικανότητα (χωρική, φασματική, ραδιομετρική, χρονική).....                        | 14 |
| 1.1.3. Φωτοερμηνευτικά χαρακτηριστικά.....                                                         | 15 |
| 1.2. Ηλεκτρομαγνητικά κύματα.....                                                                  | 18 |
| 1.3. Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.....                                                             | 19 |
| 1.4. Υπέρυθρη ακτινοβολία.....                                                                     | 20 |
| 1.5. Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα.....                                                                   | 21 |
| 1.6. Φασματική υπογραφή αντικειμένων και επιφανειών.....                                           | 22 |
| 1.7. Ραδιομετρική διακριτική ικανότητα.....                                                        | 23 |
| Κεφάλαιο 2ο : Φασματοραδιόμετρο.....                                                               | 26 |
| 2.1. Φασματοραδιόμετρο.....                                                                        | 26 |
| 2.2. Πολυφασματική κάμερα και εφαρμογές στη γεωργία.....                                           | 27 |
| 2.3. Περιορισμοί χρήσης των πολυφασματικών αισθητήρων στα UAVs.....                                | 28 |
| 2.4. Εξέλιξη των πολυφασματικών καμερών για UAVs.....                                              | 29 |
| 2.5. Φασματογραφική και Ραδιομετρική Μελέτη.....                                                   | 33 |
| Κεφάλαιο 3ο : Μια ολοκληρωμένη ανασκόπηση των εφαρμογών του Drone της Τεχνολογίας στη Γεωργία..... | 35 |
| 3.1. Εισαγωγικές Παρατηρήσεις.....                                                                 | 35 |
| 3.2. Εφαρμογές Drones στην Γεωργία.....                                                            | 38 |
| 3.3. Πολυφασματική φωτογραμμετρία και UAV.....                                                     | 42 |
| 3.4. Φασματοραδιόμετρο PSR+3500 και χαρακτηριστικά.....                                            | 45 |
| 3.4.1. Η επισκόπηση και οι προδιαγραφές του PSR+3500.....                                          | 47 |
| Κεφάλαιο 4ο : Ερευνητικό μέρος.....                                                                | 49 |
| 4.1. Μεθοδολογία και υλοποίηση.....                                                                | 49 |
| Κεφάλαιο 5ο. Συμπεράσματα – προτάσεις.....                                                         | 67 |
| Κεφάλαιο 6ο. Δυνατότητες – προβλήματα.....                                                         | 69 |
| Βιβλιογραφία.....                                                                                  | 72 |

Copyright © All rights reserved Δ. Οικονομάκης, 2023

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικό ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναγράφεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

|                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Εικόνα 1: Φασματικές υπογραφές νερού, βλάστησης, ξηρού εδάφους.....                                            | 22 |
| Εικόνα 2 : Αρχές Τηλεπισκόπησης ( <a href="http://www.crisp.nus.edu.sg">http://www.crisp.nus.edu.sg</a> )..... | 24 |
| Εικόνα 3 : Η χρήση των drones στη γεωργία.....                                                                 | 38 |
| Εικόνα 4 : Γεωργικές Εφαρμογές – Ψεκασμοί με Drones .....                                                      | 41 |
| Εικόνα 5: Προδιαγραφές του PSR+ 3500 .....                                                                     | 47 |
| Εικόνα 6: PSR+ 3500.....                                                                                       | 48 |
| Εικόνα 7: Στοιχεία κάμερας PSR+ 3500.....                                                                      | 48 |
| Εικόνα 8: Απόσπασμα Μωσαϊκού απο DJI terra .....                                                               | 51 |
| Εικόνα 9: Απόσπασμα Μωσαϊκού απο pix4d capture .....                                                           | 52 |
| Εικόνα 10: NDVI PIX4D .....                                                                                    | 62 |
| Εικόνα 11: NDVI DJI TERRA.....                                                                                 | 63 |

## Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας μελέτης είναι η σύγκριση των ψηφιακών τιμών ανακλαστικότητας που δίνουν ένα φασματοραδιόμετρο χειρός με ένα πολυφασματικό τηλεκατευθυνόμενο όχημα UAV (drone). Οι νέες τεχνολογίες έχουν εισάγει εδώ και αρκετά χρόνια πολλά εργαλεία που εξελίσσουν τις δυνατότητες και δίνουν πληθώρα νέων εφαρμογών στα επιστημονικά πεδία της φωτογραμμετρίας και της τηλεπισκόπησης. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται εκτενής αναφορά στο επιστημονικό πεδίο της τηλεπισκόπησης και παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά της. Έπειτα, στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται ο φασματοραδιόμετρο χειρός και αναλύονται τα βασικά χαρακτηριστικά και οι δυνατότητες του. Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται επίσης μια ανάλυση των δυνατοτήτων των εναέριων οχημάτων UAV (drones) στη σημερινή εποχή και αναλύονται οι δυνατότητες και οι λύσεις που προσφέρουν με εφαρμογή στην γεωργία ακριβείας. Τέλος, στο τέταρτο και στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση των βημάτων εφαρμογής της διαδικασίας, των αποτελεσμάτων, σχολιασμός και αξιολόγηση, αναλύονται τα συμπεράσματα και παρατίθενται προοπτικές.

***Λέξεις κλειδιά: τηλεπισκόπηση, UAV, φασματοραδιόμετρο, γεωργία ακριβείας***



## **Abstract**

The aim of this research is to compare the reflectance spectral values that are given by a hand-spectrograph with those given from a multispectral-camera UAV. Innovative technologies have introduced to the people in the recent years a lot of tools that increase the capabilities and introduce us to new application possibilities in the scientific fields of remote sensing and photogrammetry. In the first chapter, there exists a wide presentation of the remote sensing fields and its basic characteristics. Afterwards, in the second chapter, there is analyzed the hand-spectrograph and its basic characteristics. In the third chapter, there are analyzed more in high-detail the modern UAV (drones), and specifically their capabilities and applications in the precision-agriculture field. Lastly, in the fourth and fifth chapter there are analyzed the steps of the procedure, the results, evaluation, and comments, as well as conclusion comments and recommendations for future research.

***Keywords: remote-sensing, UAV, spectrograph, precision agriculture***



## Εισαγωγή

Οι διάφοροι τύποι χωρικών αισθητήρων υψηλής ανάλυσης που είναι τοποθετημένοι σε δορυφορικά συστήματα δεν έχουν τη χωρική ανάλυση που απαιτείται από πολλές εφαρμογές Τηλεπισκόπησης. Συγκεκριμένα, οι πάροχοι δορυφορικών εικόνων προμηθεύουν π.χ. πολυφασματικές (MS) εικόνες, με χωρική ανάλυση τέσσερις φορές χαμηλότερη από τις πανχρωματικές (PAN) εικόνες (π.χ. Ikonos-2 σε εικόνα Nadir 1m PAN και εικόνα 4m MS, WorldView-4 σε Nadir εικόνα PAN 0,31m και εικόνα MS 1,24m ) (Καϊμάρης , 2014). Αυτό περιορίζει τις δυνατότητες ανάλυσης δεδομένων και κατά συνέπεια τη δημιουργία κατάλληλων τηλεσκοπικών προϊόντων (Baluja et al., 2012).

Ταυτόχρονα, σε περίπτωση που απαιτείται αναθεώρηση των δεδομένων, το κόστος των δορυφορικών εικόνων υψηλής ανάλυσης είναι υψηλό, γεγονός που αποτελεί περιοριστικό παράγοντα. Επιπλέον, οι δορυφορικοί αισθητήρες που απαιτούν λιγότερο χρόνο για την ενημέρωση των δεδομένων δεν έχουν την απαιτούμενη χωρική ανάλυση, η οποία είναι σημαντική για τον διαχωρισμό διαφορετικών καλύψεων (Berni et al., 2008). Ως εργαλεία τηλεπισκόπησης, τα UAV παρέχουν στους επιστήμονες ένα μοναδικό επίπεδο προσβασιμότητας και ευελιξίας στην παραγωγή δεδομένων.

Η διαθεσιμότητα μικρών, χαμηλού κόστους εξαρτημάτων (π.χ. μικροφασματικές κάμερες) δίνει στους ερευνητές την ευκαιρία να προσαρμόσουν την πλατφόρμα τηλεπισκόπησης για να καλύψει τις δικές τους ερευνητικές ανάγκες (Kelcey & Lucieer, 2012). Η χρήση των UAV αυξάνεται ραγδαία, λόγω των ραγδαίων τεχνολογικών εξελίξεων και της ευκολίας χρήσης τους (Candiago et al., 2015). Ταυτόχρονα, με αυτά τα συστήματα εξελίσσονται τεχνολογικά (μικρότερο μέγεθος, διαστάσεις, καινοτόμες τεχνολογίες κ.λπ.) και οι αισθητήρες τους (θερμικοί, πολυφασματικοί και υπερφασματικοί), καθιστώντας δυνατή τη συνδυασμένη λειτουργία και αξιοποίησή τους στο πεδίο, με στόχο την απόκτηση καλύτερων ποσοτικά και ποιοτικά δεδομένων.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται έρευνα για το κατά πόσο τα παραπάνω αναφερθέντα χαμηλού κόστους εξαρτήματα δίνουν με ικανοποιητική προσέγγιση αληθείς τιμές ανακλαστικότητας σε σημεία στη γήινη επιφάνεια, καθώς η υψηλή χωρική ανάλυση που προσφέρουν εν προκειμένω ένα φασματοραδιόμετρο χειρός και ένα τηλεκατευθυνόμενο όχημα UAV (drone) με πολυφασματική κάμερα, δίνουν τη δυνατότητα να παρθούν έγκυρα δεδομένα, να εξαχθούν και να αξιολογηθούν συμπεράσματα.

# Κεφάλαιο 1ο : Εισαγωγικές Παρατηρήσεις

## 1.1 Τηλεπισκόπηση

Η τηλεπισκόπηση είναι η διαδικασία ανίχνευσης και παρακολούθησης των φυσικών χαρακτηριστικών μιας περιοχής με μέτρηση της ανακλώμενης και εκπεμπόμενης ακτινοβολίας της σε απόσταση (συνήθως από δορυφόρο ή αεροσκάφος). Ειδικές κάμερες συλλέγουν εικόνες που ανιχνεύονται από απόσταση, οι οποίες βοηθούν τους ερευνητές να «αισθανθούν» πράγματα για τη Γη (Lee & Choi, 2016).

Η τηλεπισκόπηση ως επιστήμη, μπορεί να γίνει κατανοητή ως ένα σύνολο τριών στοιχείων (Καρτάλης και Φειδάς, 2006):

- των στόχων, δηλαδή των αντικειμένων και των φαινομένων μιας περιοχής, που μελετώνται
- της τεχνικής συλλογής μέσω οργάνων (LiDAR, πολυφασματικοί, υπερφασματικοί, αισθητήρες ορατού φάσματος κ.α.)
- της επεξεργασίας και ερμηνείας των δεδομένων που λαμβάνονται, με ειδικά λογισμικά (π.χ. Erdas, Geomatica, ArcGIS κ.α.).

Έτσι λοιπόν μερικά παραδείγματα από τα οφέλη της τηλεπισκόπησης είναι:

- κάμερες σε δορυφόρους και αεροπλάνα λαμβάνουν εικόνες μεγάλων περιοχών στην επιφάνεια της Γης, επιτρέποντάς μας να δούμε πολύ περισσότερα από όσα μπορούμε να δούμε όταν στεκόμαστε στο έδαφος.
- Τα συστήματα σόναρ στα πλοία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία εικόνων του πυθμένα του ωκεανού χωρίς να χρειάζεται να ταξιδέψουμε στον πυθμένα του ωκεανού.
- Οι κάμερες σε δορυφόρους μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη λήψη εικόνων αλλαγών θερμοκρασίας στους ωκεανούς.
- Οι μεγάλες δασικές πυρκαγιές μπορούν να χαρτογραφηθούν από το διάστημα, επιτρέποντας στους δασοφύλακες να δουν μια πολύ μεγαλύτερη περιοχή από ό,τι από το έδαφος (Rambat, 2011).

- Η πρόβλεψη πιθανής έκρηξης ηφαιστείων και προβλέψω για πιθανές καταιγίδες σκόνης
- Παρακολούθηση της ανάπτυξης των πόλεων και των πιθανών αλλαγών γεωργικών εκτάσεων ή δασών σε βάθος χρόνου.
- Ανακάλυψη και χαρτογράφηση της τραχιάς τοπογραφίας του πυθμένα του ωκεανού (π.χ. τεράστιες οροσειρές, βαθιά φαράγγια και «μαγνητικές λωρίδες» στον πυθμένα του ωκεανού).

### **1.1.1. Δομή πολυφασματικών δορυφορικών εικόνων**

Εάν φανταστούμε ότι φωτογραφίζουμε μία περιοχή αλλά από πολλές διαφορετικές γωνίες φωτισμού και ίσως σε διαφορετικές στιγμές της ημέρας τότε τα αντικείμενα που περιέχονται στην εικόνα που θα προκύψει, θα φωτίζονται με διαφορετική ένταση για κάθε φωτογραφία που θα δημιουργηθεί. Δηλαδή περιοχές της εικόνας που εμφανίζονται σκοτεινές στην μία φωτογραφία θα εμφανίζονταν φωτεινές σε μία άλλη, που όμως θα απεικόνιζε την ίδια ακριβώς περιοχή. Εάν τώρα θελήσουμε να χρωματίσουμε με τα τρία βασικά χρώματα δηλ. το μπλε, το πράσινο και το κόκκινο τρεις από τις φωτογραφίες που έχουμε με διαφορετικούς φωτισμούς, η εικόνα που θα χρωματιστεί με μπλε χρώμα θα έχει πιο έντονες τις αποχρώσεις του μπλε εκεί που η αρχική εικόνα ήταν πιο φωτεινή, αντίστοιχα με το πράσινο και το κόκκινο χρώμα. Έτσι λοιπόν δημιουργείται μια τριάδα εικόνων που απεικονίζει ακριβώς την ίδια περιοχή στα τρία βασικά χρώματα που όμως κάθε διαφορετική υπο-περιοχή έχει και διαφορετική ένταση στο κάθε χρώμα. Μια πολυφασματική δορυφορική εικόνα αποτελείται από πολλές εικόνες της ίδιας περιοχής της επιφάνειας της γης καταγεγραμμένες την ίδια χρονική στιγμή αλλά σε διαφορετικό μήκος κύματος. Τα διάφορα αντικείμενα στην επιφάνεια της γης (δηλαδή ουσιαστικά οι διαφορετικές καλύψεις γης) αντιδρούν διαφορετικά στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (του ήλιου- στις περισσότερες περιπτώσεις και για τους παθητικούς αισθητήρες-δορυφόροι) και εμφανίζονται φωτεινότερα ή σκοτεινότερα ανάλογα με το μήκος κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που προσπίπτει σε αυτά. Με αυτόν τον τρόπο καταλήγουμε να έχουμε εικόνες ακριβώς της ίδιας περιοχής καταγεγραμμένες την ίδια χρονική στιγμή αλλά με διαφορετική φωτεινή ένταση στις διαφορετικές περιοχές τους. Η διαφορετικότητα αυτή της καταγραφής στα διαφορετικά μήκη κύματος (όχι μόνον του ορατού φάσματος αλλά και στο υπέρυθρο και στις θερμικές περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος) είναι μία σημαντική αρχή επάνω στην οποία βασίστηκε η Τηλεπισκόπηση. Ένας από τους βασικότερους στόχους της Τηλεπισκόπησης είναι να εντοπίσει το 'που είναι τι' στην επιφάνεια της γης (ταξινομήσεις), ένας δεύτερος είναι η διαφοροποίηση καλύψεων γης που θα ήταν σχετικά αδύνατο να εντοπιστεί μόνον σε κάποια εικόνα καταγεγραμμένη σε συγκεκριμένο μήκος κύματος και επιτυγχάνεται με την πολυφασματικότητα. Συνεπώς μία πολυφασματική

η και δορυφορική εικόνα αποτελείται από τόσες επιμέρους εικόνες, όσες και τα μήκη κύματος στα οποία καταγράφεται ή ίδια ακριβώς περιοχή την ίδια ακριβώς χρονική στιγμή. Οι εικόνες αυτές είναι απολύτως υπερθέσιμες, μεταξύ τους δηλαδή το κάθε εικονοστοιχείο απεικονίζει ακριβώς την ίδια περιοχή.

### **1.1.2. Διακριτική ικανότητα (χωρική, φασματική, ραδιομετρική, χρονική)**

Η ποιότητα των δορυφορικών εικόνων εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των φασματόμετρων που διαθέτουν οι αντίστοιχοι δορυφόροι. Τέσσερις είναι οι βασικές ιδιότητες που χαρακτηρίζουν μια δορυφορική εικόνα οι οποίες καθορίζουν την διακριτική ικανότητα του αισθητήρα κάποιου δορυφόρου, η χωρική διακριτική ικανότητα, η φασματική διακριτική ικανότητα, η ραδιομετρική διακριτική ικανότητα και η χρονική διακριτική ικανότητα. Η χωρική διακριτική ικανότητα (spatial resolution) αναφέρεται στο ελάχιστο μέγεθος της γήινης επιφάνειας που μπορεί να διακρίνει ο συγκεκριμένος αισθητήρας, δηλαδή στην γήινη έκταση που αντιπροσωπεύει ένα εικονοστοιχείο (pixel) της εικόνας του συγκεκριμένου αισθητήρα (του συγκεκριμένου δορυφόρου). Pixel ονομάζουμε το στοιχειώδες κομμάτι εικόνας ή εικονοστοιχείο, συνήθως στην οθόνη του υπολογιστή, (αλλά και στις ψηφιακές εικόνες γενικότερα) και που αντιπροσωπεύει ένα συγκεκριμένο μέγεθος της γήινης επιφάνειας. Προέρχεται από τη συντόμευση και συγκοπή Pict-el από το Picture Element. Π.χ. για τον δορυφόρο Landsat και για τον αισθητήρα Thematic Mapper (Θεματικό Χαρτογράφο) το μέγεθος του pixel στην γήινη επιφάνεια είναι μία τετράγωνη επιφάνεια 30μ X 30μ.

Η φασματική διακριτική ικανότητα (spectral resolution), αναφέρεται στον αριθμό των μηκών κύματος που μπορεί να καταγράψει στην επιφάνεια της γης ο συγκεκριμένος αισθητήρας. Ουσιαστικά αναφέρεται στον αριθμό των φασματικών καναλιών από τα οποία αποτελείται η συγκεκριμένη δορυφορική εικόνα. Η ραδιομετρική διακριτική ικανότητα (radiometric resolution), αναφέρεται στον αριθμό των διαφορετικών διαβαθμίσεων της έντασης της καταγεγραμμένης ακτινοβολίας που μπορεί να καταγράψει ο συγκεκριμένος αισθητήρας (του συγκεκριμένου δορυφόρου). Ουσιαστικά πρόκειται για τον αριθμό των bits που περιέχει την τιμή του εικονοστοιχείου στο δυαδικό σύστημα και που αντιστοιχούν σε συγκεκριμένο ακέραιο αριθμό στο δεκαδικό σύστημα. Π.χ. οι εικόνες του δορυφόρου Landsat είναι καταγεγραμμένες σε οκτώ (8) bits = 1 byte δηλαδή κάθε εικονοστοιχείο μιας εικόνας του δορυφόρου Landsat παίρνει 256 ακέραιες τιμές (από το 0 έως και το 255) και άρα μπορεί κατ' αντιστοιχία να φωτιστεί με 256 διαφορετικές εντάσεις κάποιου χρώματος (ή της ασπρόμαυρης κλίμακας).

Η χρονική διακριτική ικανότητα (temporal resolution) αναφέρεται στον χρόνο επαναδιέλευσης (και άρα επανεγγραφής) του δορυφόρου από την ίδια γήινη περιοχή.

### 1.1.3. Φωτοερμηνευτικά χαρακτηριστικά

Η τυποποίηση της φωτοερμηνευτικής γνώσης για ένα συγκεκριμένο αντικείμενο γίνεται με μια σειρά από ιδιότητες, τα φωτοερμηνευτικά χαρακτηριστικά, τα οποία είναι τα παρακάτω (Philipson eds. 1997):

#### 1. Φωτογραφικός τόνος

Ο φωτογραφικός τόνος του γκρι είναι μια παράμετρος που εκφράζει τη σχετική ποσότητα του φωτός που ανακλάται από ένα αντικείμενο και καταγράφεται από το συγκεκριμένο καταγραφικό όργανο (φωτογραφική μηχανή, πολυφασματικός σαρωτής, κ.ά.). Στις ασπρόμαυρες αεροφωτογραφίες ο τόνος κυμαίνεται από άσπρο έως μαύρο με ενδιάμεσες διαβαθμίσεις του γκρι. Το ανθρώπινο μάτι έχει την ικανότητα να διακρίνει μικρές αλλαγές του τόνου του γκρι (συνήθως μέχρι 64). Σε πολλές όμως περιπτώσεις, πιο σημαντικό για τη φωτοερμηνεία δεν είναι ο τόνος του γκρι, αλλά η διαφορά τόνου. Ο τόνος ενός αντικειμένου δεν είναι πάντοτε ο ίδιος σε όλες τις αεροφωτογραφίες αλλά υφίσταται σημαντικές μεταβολές. Οι αιτίες των αλλαγών αυτών είναι οι εξής:

- Το είδος του καταγραφικού μέσου (ευαισθησία φωτογραφικού φιλμ, κανάλι πολυφασματικού σαρωτή κ.ά.)
- Οι κλιματολογικές συνθήκες κατά τη στιγμή της λήψης των αεροφωτογραφιών. Όταν για παράδειγμα η γωνία του ήλιου είναι μικρή, τότε η προσπίπτουσα ακτινοβολία μειώνεται. Επομένως ανάλογα μειώνεται και η ανακλώμενη από τα αντικείμενα ακτινοβολία και κατ'επέκταση η αποτύπωσή τους με σκουρότερους τόνους πάνω στο φιλμ.
- Οι τοπογραφικές συνθήκες της περιοχής. Η έκθεση και η κλίση του αναγλύφου επηρεάζουν την ποσότητα της προσπίπτουσας και επομένως και της ανακλώμενης ακτινοβολίας. Επίσης, οι συνθήκες υγρασίας του εδάφους επηρεάζουν τον τόνο. Όσο περισσότερη είναι η υγρασία, τόσο σκουρότερος είναι ο τόνος.
- Η θέση του αντικειμένου πάνω στην αεροφωτογραφία. Όσο πιο μακριά είναι το αντικείμενο από το κέντρο της αεροφωτογραφίας, τόσο σκουρότερος είναι ο τόνος. Αυτό σε μεγάλο βαθμό διορθώνεται με τη χρήση αντισταθμιστικών φίλτρων.

Για τους παραπάνω λόγους, η ταξινόμηση των αντικειμένων με κριτήριο μόνο τις απόλυτες τιμές του τόνου εμπεριέχει τα στοιχεία της υποκειμενικότητας και γι' αυτό πρέπει να χρησιμοποιείται με προσοχή. Έχει αποδειχθεί ότι το ανθρώπινο μάτι έχει τη δυνατότητα να διακρίνει πολύ περισσότερες διαβαθμίσεις ενός οποιουδήποτε χρώματος απ' ό,τι του γκρι. Αυτό δείχνει ότι η δυνατότητα συλλογής λεπτομερειών από έγχρωμες αεροφωτογραφίες είναι πολύ μεγαλύτερη απ' ό,τι στις ασπρόμαυρες. Επομένως, όπως στις ασπρόμαυρες αεροφωτογραφίες έτσι και στις έγχρωμες, η αντίθεση του χρώματος, η οποία μπορεί να μεταβληθεί μέσα σε ορισμένα όρια κατά την εκτύπωση του φιλμ, έχει μεγάλη σημασία για τη φωτοερμηνεία των αντικειμένων. Η απόδοση του χρώματος επηρεάζεται από τους παραπάνω παράγοντες όπως για παράδειγμα ο τόνος του γκρι, με αποτέλεσμα τυχόν διαφορές να μην έχουν σε πολλές περιπτώσεις πρακτική αξία από πλευράς φωτοερμηνείας.

## 2. Μέγεθος

Το μέγεθος ενός αντικειμένου είναι ένα από τα πιο σημαντικά ποσοτικά στοιχεία της φωτοερμηνείας. Το μέγεθος διακρίνεται σε σχετικό και απόλυτο. Ως σχετικό μέγεθος, καλείται το μέγεθος ενός αγνώστου αντικειμένου σε σχέση με ένα γνωστό. Το απόλυτο μέγεθος ενός αντικειμένου είναι επίσης σημαντικό στη φωτοερμηνεία και υπολογίζεται με φωτογραμμετρικές μεθόδους. Γενικά το μέγεθος εξαρτάται από την κλίμακα της αεροφωτογραφίας. Για παράδειγμα, το μέγεθος ενός θάμνου σε σχέση με το μέγεθος ενός δέντρου, ή ενός μονοπατιού σε σχέση με ένα δρόμο.

## 3. Σχήμα

Το σχήμα των αντικειμένων δίνει σημαντικές πληροφορίες στον φωτοερμηνευτή. Πολλά αντικείμενα αναγνωρίζονται εύκολα μόνο από το σχήμα τους μετά από μονοσκοπική ή στερεοσκοπική παρατήρηση των αεροφωτογραφιών. Το σχήμα των αντικειμένων επηρεάζεται από τη θέση που έχουν αυτά στην αεροφωτογραφία (κυρίως μεγάλης κλίμακας). Για παράδειγμα στην περίπτωση ενός κτιρίου των αεροφωτογραφιών, το σχήμα των αντικειμένων επηρεάζεται από τη θέση που έχουν αυτά στην αεροφωτογραφία (κυρίως μεγάλης κλίμακας). Για παράδειγμα στην περίπτωση ενός κτιρίου που βρίσκεται στο κέντρο της αεροφωτογραφίας, παρατηρείται μόνο σε κάτοψη. Αν όμως το κτίριο βρίσκεται προς τα άκρα της αεροφωτογραφίας, τότε λόγω της τοπογραφικής μετατόπισης το κτίριο παρατηρείται υπό λοξή γωνία, οπότε φαίνεται και το ύψος του κτιρίου.

## 4. Σκιά

Οι σκιές των αντικειμένων αποτελούν ένα πολύ σημαντικό στοιχείο της φωτοερμηνείας. Το μέγεθος και το σχήμα της σκιάς εξαρτάται από το μέγεθος και το σχήμα του αντικειμένου. Το μέγεθος της σκιάς εξαρτάται επίσης και από τη θέση του ηλίου. Στην περίπτωση όμως των αεροφωτογραφιών, το μέρος της σκιάς που φαίνεται εξαρτάται από το μέγεθος της τοπογραφικής μετατόπισης που υφίσταται το αντικείμενο και από τη θέση του αντικειμένου σε σχέση με το ναδίρ. Δηλαδή αν η θέση του αντικειμένου είναι με τρόπο ώστε η κατεύθυνση της μετατόπισης να συμπίπτει με την κατεύθυνση της σκιάς του, τότε ένα μέρος της ή ακόμα και ολόκληρη η σκιά καλύπτεται από το μετατοπισμένο αντικείμενο. Η ύπαρξη της σκιάς αφενός μεν διευκολύνει αφετέρου δε δημιουργεί προβλήματα στη φωτοερμηνεία. Τα πλεονεκτήματα μπορεί να συνοψιστούν στα παρακάτω:

- Είναι δυνατή η μέτρηση του ύψους φυσικών και ανθρωπογενών χαρακτηριστικών.
- Είναι δυνατή η αναγνώριση μεμονωμένων ή ομαδοποιημένων αντικειμένων.
- Βελτιώνεται η αίσθηση του αναγλύφου. Αντίθετα τα μειονεκτήματα είναι τα εξής:



- Είναι αδύνατη ή πολύ δύσκολη η συλλογή πληροφοριών από τις περιοχές που καλύπτονται από σκιά. Η περίπτωση αυτή είναι αρκετά σοβαρή, γιατί ορισμένες φορές λόγω του ανάγλυφου ή του νέφους, καλύπτονται ολόκληρες περιοχές από τη σκιά.
- Γίνεται υπερεκτίμηση της κάλυψης φυσικών και ανθρωπογενών χαρακτηριστικών από τη σκιά.

#### 5. Φωτογραφική υφή

Υφή είναι η συχνότητα αλλαγών του τόνου σε μία αεροφωτογραφία, η οποία προκύπτει όταν ένας αριθμός πολύ μικρών αντικειμένων παρατηρούνται ως σύνολο. Διακρίνεται σε στιλπνή (επιφάνεια ήρεμου νερού), απαλή (γυμνό έδαφος), λεπτή (εγκαταλειμμένοι για χρόνια αγροί, αναγέννηση δάσους), τραχεία (πυκνό δάσος), κυματοειδής (επιφάνεια ελαφρώς ταραγμένης θάλασσας), γραμμική (καλλιέργειες σε γραμμική διάταξη) και κηλιδωτή. Γενικά η υφή είναι το αποτέλεσμα του συνδυασμού του τόνου, του μεγέθους, του σχήματος και της σκιάς των «μικρών αντικειμένων». Λόγω της ασάφειας των ορίων η περιγραφική αυτή ταξινόμηση της υφής έχει μεγαλύτερη αξία όταν σε κάθε περίπτωση συνοδεύεται από φωτογραφικά παραδείγματα.

#### 6. Διάταξη

Ως διάταξη ορίζεται η κατά χώρο διεύθυνση των αντικειμένων. Αυτή μπορεί να είναι φυσική ή ανθρωπογενής. Ο προσδιορισμός και η μελέτη της διάταξης γίνεται ευκολότερα στις αεροφωτογραφίες απ' ό,τι στο έδαφος. Όταν η διάταξη είναι δύσκολο να αναγνωρισθεί, όπως στην περίπτωση της πολύ μικρής κλίμακας αεροφωτογραφιών, τότε μιλάμε για φωτογραφική υφή.

#### 7. Σχέση με το περιβάλλον/Συσχέτιση

Το στοιχείο αυτό δεν σχετίζεται με τα χαρακτηριστικά του αντικειμένου. Ο φωτοερμηνευτής συσχετίζει τα αντικείμενα ή τη θέση αυτών με άλλα αντικείμενα ή με τον περιβάλλοντα χώρο. Για παράδειγμα, η ύπαρξη κτιρίων μπορεί να βοηθήσει και να προσανατολίσει την αναγνώριση άλλων ανθρωπογενών κατασκευών (δρόμοι, μονοπάτια). Επομένως, η συσχέτιση αναφέρεται στην ερμηνεία που δίνουμε βασισμένη στη γνώση και στην εμπειρία μας κατά τη φωτοερμηνευτική διαδικασία. Πολλά από τα παραπάνω φωτοερμηνευτικά χαρακτηριστικά έχουν σχετικές τιμές γιατί εξαρτώνται από άλλα χαρακτηριστικά όπως για παράδειγμα ο φωτογραφικός τόνος που εξαρτάται από το ύψος του ήλιου, τη στιγμή της λήψης, την εποχή κ.α.

## 1.2. Ηλεκτρομαγνητικά κύματα

Κάθε ηλεκτρομαγνητικό κύμα, χαρακτηρίζεται από δύο μεγέθη: το μήκος κύματος ( $\lambda$ ) και τη συχνότητα ( $f$ ) με την οποία ταλαντώνονται τα σημεία του μέσου. Για ένα γραμμικό κύμα, δηλαδή για ένα κύμα που διαδίδεται προς μια κατεύθυνση, τα μεγέθη αυτά ορίζονται ως εξής (Καρτάλης και Φειδάς, 2006; Μερτίκας, 1999, Campbell, 2006):

- Μήκος κύματος ( $\lambda$ ): ονομάζεται η απόσταση την οποία διανύει το κύμα σε χρόνο μιας περιόδου, δηλαδή η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών κορυφών ή κοιλάδων του αρμονικού κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Μονάδες μέτρησης του μήκους κύματος είναι η μονάδες μήκους, όπως είναι το m, cm, mm,  $\mu\text{m}$  (Καρτάλης και Φειδάς, 2006).
- Συχνότητα κύματος ( $\nu$ ): ονομάζεται ο αριθμός των κορυφών (ή των κοιλάδων) ( $N$ ) του αρμονικού κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, οι οποίες διέρχονται από συγκεκριμένο σταθερό σημείο στη μονάδα του χρόνου  
$$(t). \nu = N/t$$
- Μονάδα μέτρησης της συχνότητας ( $\nu$ ) είναι το Hertz, που ισοδυναμεί με ένα κύκλο ανά δευτερόλεπτο ( $\text{Hz} = 1/\text{sec}$ ) και σε πολλαπλάσια τους (Καρτάλης και Φειδάς, 2006; Μερτίκας, 1999).

Η συχνότητα ( $\nu$ ) και το μήκος κύματος ( $\lambda$ ), σχετίζονται με την ακόλουθη σχέση:  $c = \lambda \cdot \nu$ . Σύμφωνα με τη σχέση αυτή, όσο μεγαλύτερου μήκους κύματος είναι η ακτινοβολία τόσο μικρότερη συχνότητα τη χαρακτηρίζει (Καρτάλης και Φειδάς, 2006).

### 1.3. Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία

Κλασικά, η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αποτελείται από ηλεκτρομαγνητικά κύματα, τα οποία δεν είναι άλλα από συγχρονισμένες ταλαντώσεις ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ή τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα δημιουργούνται λόγω περιοδικής αλλαγής ηλεκτρικού ή μαγνητικού πεδίου (Ιωάννου, κ.α., 1999). Ανάλογα με το πώς συμβαίνει αυτή η περιοδική αλλαγή και ανάλογα της παραγόμενης ισχύος, παράγονται διαφορετικά μήκη κύματος ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Στο κενό, τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα ταξιδεύουν με την ταχύτητα του φωτός, που συνήθως δηλώνεται ως  $c$ . Σε ομοιογενή, ισότροπα μέσα, οι ταλαντώσεις των δύο πεδίων είναι κάθετες μεταξύ τους και κάθετες στην κατεύθυνση της διάδοσης της ενέργειας και των κυμάτων, σχηματίζοντας ένα εγκάρσιο κύμα (Molnar et al., 2020).

Η θέση ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος μέσα στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα μπορεί να χαρακτηριστεί είτε από τη συχνότητα ταλάντωσής του είτε από το μήκος κύματός του. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαφορετικής συχνότητας ονομάζονται με διαφορετικά ονόματα αφού έχουν διαφορετικές πηγές και επιδράσεις στην ύλη. Κατά σειρά αυξανόμενης συχνότητας και μειούμενου μήκους κύματος, αυτά είναι: ραδιοκύματα, μικροκύματα, υπέρυθρη ακτινοβολία, ορατό φως, υπεριώδης ακτινοβολία, ακτίνες Χ και ακτίνες γάμμα (Sanada & Torii, 2015).

Οι επιπτώσεις του EMR σε χημικές ενώσεις και βιολογικούς οργανισμούς εξαρτώνται τόσο από την ισχύ της ακτινοβολίας όσο και από τη συχνότητά της. Το EMR ορατών ή χαμηλότερων συχνοτήτων (δηλαδή ορατό φως, υπέρυθρο, μικροκύματα και ραδιοκύματα) ονομάζεται μη ιονίζουσα ακτινοβολία, επειδή τα φωτόνια του δεν έχουν μεμονωμένα αρκετή ενέργεια για να ιονίσουν άτομα ή μόρια ή να σπάσουν χημικούς δεσμούς. Οι επιδράσεις αυτών των ακτινοβολιών στα χημικά συστήματα και στους ζωντανούς ιστούς προκαλούνται κυρίως από θερμικά αποτελέσματα από τη συνδυασμένη μεταφορά ενέργειας πολλών φωτονίων. Αντίθετα, οι υπεριώδεις ακτίνες υψηλής συχνότητας, οι ακτίνες Χ και οι ακτίνες γάμμα ονομάζονται ιονίζουσα ακτινοβολία, καθώς μεμονωμένα φωτόνια τέτοιας υψηλής συχνότητας έχουν αρκετή ενέργεια για να ιονίσουν μόρια ή να σπάσουν χημικούς δεσμούς. Αυτές οι ακτινοβολίες έχουν την ικανότητα να προκαλούν χημικές αντιδράσεις και να βλάπτουν τα ζωντανά κύτταρα πέρα

από αυτό που προκύπτει από απλή θέρμανση, και μπορεί να είναι επικίνδυνο για την υγεία (Moore, 2010).

#### 1.4. Υπέρυθρη ακτινοβολία

Η υπέρυθρη ακτινοβολία είναι εκείνο το τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που εκτείνεται από το μεγάλο μήκος κύματος του ορατού φωτός έως το εύρος των μικροκυμάτων. Αόρατη στο μάτι, μπορεί να ανιχνευθεί ως αίσθηση ζεστασιάς στο δέρμα. Το εύρος υπερέυθρων συνήθως χωρίζεται σε τρεις περιοχές: κοντά στο υπέρυθρο (πλησιέστερο στο ορατό εύρος), με μήκη κύματος από 0,78 έως περίπου 2,5 μικρά (ένα μικρόμετρο, ή μικρό, είναι 10<sup>-6</sup> μέτρα). μέτριο υπέρυθρο, με μήκη κύματος από 2,5 έως περίπου 50 μικρόμετρα, και πολύ υπέρυθρο, με μήκη κύματος από 50 έως 1.000 μικρόμετρα. Το μεγαλύτερο μέρος της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από μια μέτρια θερμαινόμενη επιφάνεια είναι υπέρυθρη. Οι πολυφασματικές σχηματίζει ένα συνεχές φάσμα. Η μοριακή διέγερση παράγει επίσης άφθονη υπέρυθρη ακτινοβολία αλλά σε ξεχωριστό εύρος γραμμών ή ζωνών (Keane & Carr, 2013).

Σε εφαρμογές τηλεπισκόπησης χρησιμοποιείται μικρότερο εύρος υπερέυθρων, το οποίο κυμαίνεται από 0,72μm έως 15μm (Μερτίκας, 1999; Καρτάλης και Φειδάς, 2006). Η ακτινοβολία κοντά στο υπέρυθρο (NIR) αποτελείται από μήκη κύματος ελαφρώς μεγαλύτερα από τα ορατά και εκτείνεται από 0,72μm έως 1,5μm. Η μέση υπέρυθρη φασματική ζώνη (MIR) αποτελείται από μήκη κύματος με τιμές από 1,5μm έως 5,6μm (Καρτάλης και Φειδάς, 2006). Αυτές οι περιοχές περιλαμβάνουν το φωτογραφικό υπέρυθρο (0,7μm έως 0,9μm) που χρησιμοποιείται στις υπέρυθρες εικόνες (Πατιάς, 1991· Μέρτικας, 1999). Η μακρινή υπέρυθρη ακτινοβολία (FIR), εκτείνεται σε μια ευρεία φασματική περιοχή με μήκη κύματος από 5,6μm έως 1000μm, η οποία φτάνει στην περιοχή μικροκυμάτων (Καρτάλης και Φειδάς, 2006).

Το υπέρυθρο, διακρίνεται επίσης σε ανακλώμενο και θερμικό. Η υπέρυθρη ακτινοβολία, η οποία εκπέμπεται από τον ήλιο και ανακλάται από την γήινη επιφάνεια πριν φτάσει στον ανιχνευτή, ονομάζεται ανακλώμενη υπέρυθρη (reflected infrared). Η ακτινοβολία αυτή, συμπεριφέρεται με τρόπο ανάλογο με το ορατό φάσμα και συνίσταται από μήκη κύματος, λίγο μεγαλύτερα από αυτά του ερυθρού (0.7μm έως 3.0μm). Για αυτό στην τηλεπισκόπηση, για την καταγραφή του ανακλώμενου υπέρυθρου στις εικόνες χρησιμοποιούνται, πέραντων ειδικών οπτικοηλεκτρονικών ανιχνευτών και φίλτρα, φιλμ και φωτογραφικές μηχανές

με χαρακτηριστικά παρόμοια με εκείνα της συμβατικής φωτογραφίας στο ορατό φάσμα (Μερτίκας, 1999; Καρτάλης και Φειδάς, 2006). Η υπέρυθη ακτινοβολία (απώτερη υπέρυθη), σε μήκη κύματος από 3 έως 1000 (1mm), είναι εκείνο το τμήμα της ακτινοβολίας, που εκπέμπεται από τη γη και αποτελεί στη ουσία τη θερμική ενέργεια. Για αυτό, ονομάζεται θερμική υπέρυθη (thermal infrared) ακτινοβολία και είναι διαφορετική από την ορατή και την ανακλώμενη υπέρυθη. Το θερμικό υπέρυθρο, απορροφάτε από τους φακούς των συμβατικών φωτογραφικών μηχανών και για αυτό δεν είναι δυνατόν να ανιχνευτεί με τα συμβατικά φωτογραφικά φιλμ. Όμως με τη χρήση ειδικών αισθητήρων, η λειτουργία των οποίων βασίζεται στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, μπορεί να ανιχνευθεί και να καταγραφεί το θερμικό υπέρυθρο (Μερτίκας, 1999; Καρτάλης και Φειδάς, 2006).

## 1.5. Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

Σύμφωνα με τον Μέρτικα (1999), το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα είναι η ταξινόμησή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, με βάση το μήκος κύματος ή τη συχνότητα ή την ενέργεια. Στην επιστήμη της τηλεπισκόπησης, το πιο σημαντικό μέρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος είναι αυτό που δημιουργείται από την ηλιακή ακτινοβολία (Μερτίκας, 1999).

Ως προς τα κύρια μέρη του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, διευκρινίζεται ότι, το συνολικό πλάτος των μηκών κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, αποτελεί ουσιαστικά το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Στην περίπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας, το φάσμα περιλαμβάνει περιοχές από ακτίνες C έως ραδιοκύματα. Η διάκριση του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος σε φασματικές ζώνες γίνονται αυθαίρετα, όπως μεταξύ συγκεκριμένων ζωνών του φάσματος υπάρχουν πολλές υποδιαιρέσεις (αποχρώσεις). Αυτό συμβαίνει γιατί, η αλλαγή από τη μια φασματική ζώνη στην άλλη, γίνεται σταδιακά και όχι απότομα (Μερτίκας, 1999). Ως φασματική ζώνη (spectral band), αναφέρεται μια “καθορισμένη ομάδα φασματικών γραμμών στην οποία, κάθε φασματική γραμμή αντιστοιχεί σε συγκεκριμένο μήκος κύματος ( $\lambda$ )” (Μερτίκας, 1999).

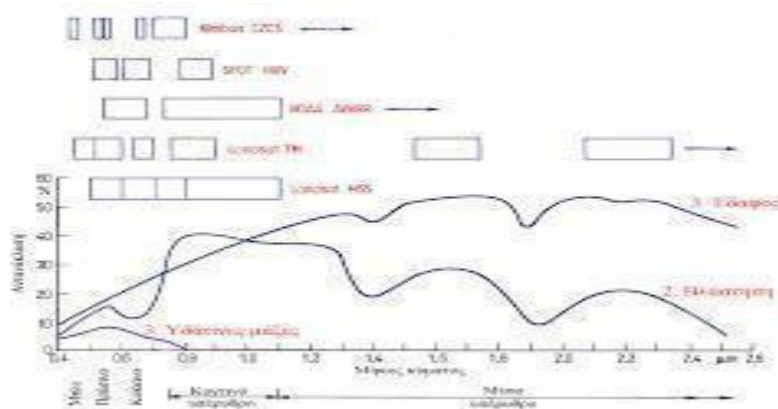
Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα είναι ένα ευρύ φάσμα μηκών κύματος, καθένα από τα οποία μεταφέρει πληροφορίες. Μόνο ένα κλάσμα από αυτά είναι ορατό με το ανθρώπινο μάτι. Όταν κοιτάμε οτιδήποτε, αυτό που μπορούμε να δούμε είναι ένα ανακλώμενο χρωματικό φάσμα από κόκκινα, πράσινα και μπλε (RGB) που ερμηνεύουμε ως οποιονδήποτε συνδυασμό των χρωμάτων του ουράνιου τόξου με βάση τα μήκη κύματός

τους. Οι κανονικές κάμερες RGB φιλτράρουν τα μήκη κύματος για τις πληροφορίες που μπορούμε να δούμε.

Οι πολυφασματικές κάμερες είναι εξοπλισμένες με φακούς και φίλτρα που συλλέγουν μήκη κύματος πέρα από το ορατό φάσμα — προς την κατεύθυνση των υπέρυθρων μηκών κύματος. Τα φυτά και το έδαφος απορροφούν και αντανακλούν τα μήκη κύματος από το ηλιακό φως ανάλογα με το περιεχόμενό τους. Για παράδειγμα, όταν ένα φυτό είναι υγιές και συμμετέχει στη φωτοσύνθεση, θα απορροφήσει πολύ κόκκινο και μπλε φως και θα ανακλά το πράσινο και πολύ περισσότερο υπέρυθρο φως. Όταν κοιτάζει κανείς ένα φυτό πλούσιο σε χλωροφύλλη (πράσινο), βλέπει το μήκος κύματος του φωτός που ανακλά το φυτό, όχι αυτό που απορροφά (μπλε και κόκκινο). Η παραγωγή χλωροφύλλης στα φύλλα έχει ως αποτέλεσμα πολλή ανάκλαση υπέρυθρου φωτός, αλλά δεν μπορούμε να το δούμε αυτό. Οι πολυφασματικοί αισθητήρες μπορούν να το καταγράψουν για να μπορούμε μέσω των πολυφασματικών δορυφορικών εικόνων. Αυτό είναι χρήσιμο, καθώς η μειωμένη υπέρυθρη ανάκλαση σηματοδοτεί χαμηλότερη παραγωγή χλωροφύλλης πριν τη δούμε με γυμνό μάτι, ώστε να μπορούμε να παρακολουθούμε προληπτικά την υγεία των φυτών μέσω πολυφασματικών αισθητήρων UAV.

## 1.6. Φασματική υπογραφή αντικειμένων και επιφανειών

Η φασματική υπογραφή μιας επιφάνειας ονομάζεται η ακτινοβολία που αντανακλάται από αυτή, στα διάφορα μήκη κύματος. Οι διάφοροι τύποι επιφανειών, όπως το νερό, τα χερσαία εδάφη ή η βλάστηση, ανακλούν την ακτινοβολία με διαφορετικό τρόπο στα διάφορα κανάλια, και άρα έχουν διαφορετικές φασματικές υπογραφές.



Εικόνα 1: Φασματικές υπογραφές νερού, βλάστησης, ξηρού εδάφους

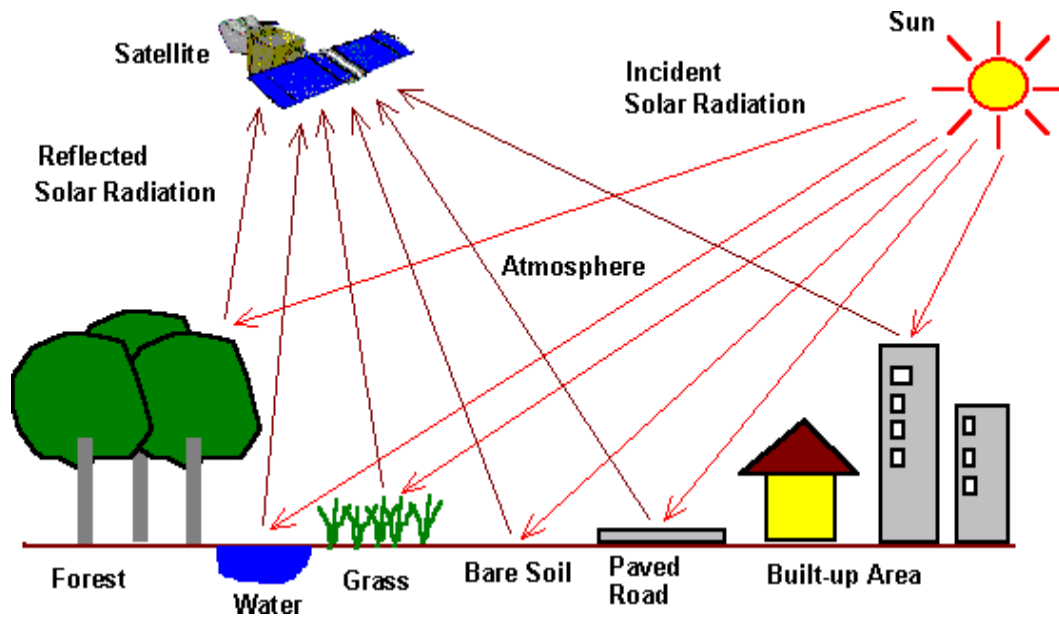
Το γράφημα μας δείχνει ένα υποθετικό παράδειγμα του πώς καταγράφεται στους αισθητήρες του LANDSAT το νερό, η χλωρίδα και το ξηρό έδαφος. Η αντανάκλαση από το ξηρό έδαφος αυξάνεται βαθμιαία από την περιοχή του ορατού, μπλε, πράσινο, κόκκινο (κανάλι 1, 2, 3), στην περιοχή του εγγύς υπέρυθρου φάσματος (κανάλι 4). Υπάρχουν μεγάλες διαφορές ανάμεσα στους διάφορους τύπους εδάφους. Διαφορετικοί συνδυασμοί μετάλλων στην επιφάνεια της γης έχουν διαφορετικές φασματικές υπογραφές. Στο διάγραμμα παρουσιάζεται μόνο μια μέση καμπύλη του ξηρού εδάφους. Κατά κανόνα, το νερό αντανακλά την ακτινοβολία μόνο στην περιοχή του ορατού φάσματος, δηλαδή μόνο στο μπλε, πράσινο και κόκκινο κανάλι. Καθώς το νερό δεν αντανακλά σχεδόν καθόλου στην περιοχή του εγγύς υπέρυθρου, μπορεί να διακριθεί εύκολα από άλλες επιφάνειες. Επομένως οι υδάτινες επιφάνειες μπορούν να διακριθούν εύκολα επειδή έχουν σκούρο χρώμα (χαμηλές τιμές εικονοστοιχείου) στις απεικονίσεις που καταγράφονται στο εγγύς υπέρυθρο τμήμα του φάσματος. Ιδιαίτερα χαρακτηριστική είναι η φασματική υπογραφή των φυτών. Η χλωροφύλλη των αναπτυσσόμενων φυτών απορροφά την ακτινοβολία στην περιοχή του ορατού και ιδιαίτερα στο κόκκινο που χρησιμοποιείται για τη φωτοσύνθεση, ενώ ανακλάται σχεδόν πλήρως η ακτινοβολία στο εγγύς υπέρυθρο, καθώς είναι άχρηστη για το φυτό. Με τον τρόπο αυτό τα φυτά αποφεύγουν την άσκοπη θέρμανση και τηναπώλεια υγρών λόγω της εξάτμισης. Κατά συνέπεια, η αντανάκλαση της βλάστησης στην περιοχή του ορατού φάσματος και στην περιοχή του εγγύς υπέρυθρου διαφέρουν σημαντικά. Το μέγεθος της διαφοράς φανερώνει πόσο μεγάλο είναι το τμήμα της απεικονιζόμενης περιοχής που καλύπτεται από πράσινα φύλλα (δείκτης φυλλώδους περιοχής).

## **1.7. Ραδιομετρική διακριτική ικανότητα**

Η ραδιομέτρηση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι κρίσιμης σημασίας για πολλές περιβαλλοντικές μελέτες. Η φωτομετρία αφορά τη μέτρηση ραδιομετρικών πηγών και την αλληλεπίδρασή τους με το ανθρώπινο μάτι. Η φασματοραδιομετρία περιλαμβάνει τη μέτρηση απόλυτων ραδιομετρικών μεγεθών σε συγκεκριμένες ζώνες μήκους κύματος (Hassanalian, et al., 2015).

Η ραδιομετρική ανάλυση και η χωρική ανάλυση είναι το πιο σημαντικό μέτρο για τον χαρακτηρισμό του ψηφιακού φάσματος. Η ραδιομετρική ανάλυση αντιπροσωπεύει την

ικανότητα ενός ψηφιακού αισθητήρα να διακρίνει μεταξύ τιμών κλίμακας του γκρι κατά τη λήψη μιας εικόνας. Οι άνθρωποι βλέπουν τη φύση με χρώμα. Ωστόσο, ένας δορυφόρος αντιλαμβάνεται διαφορετικά μήκη κύματος μόνο σε διαφορετικές εντάσεις. Μπορεί να διακρίνει μόνο μεταξύ φωτεινού και σκοτεινού. Αλλά μπορεί να το κάνει πολύ καλύτερα από τους ανθρώπους. Μια φασματική εικόνα δεν είναι λιγότερο από ένα ράστερ που αποτελείται από διαφορετικές τιμές κλίμακας του γκρι.



Εικόνα 2 : Αρχές Τηλεπισκόπησης (<http://www.crisp.nus.edu.sg>)



Ειδικότερα, ο όρος ραδιομετρική διακριτική ικανότητα, χρησιμοποιείται για να περιγράψει την “ευαισθησία του ανιχνευτή να ανιχνεύει διαφορές στην ισχύ του σήματος, δηλαδή διαφορές στην ένταση της ανακλώμενης ή εκπεμπόμενης από την επιφάνεια της γης ακτινοβολίας (ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία)” (Καρτάλης και Φειδάς, 2006; Levin, 1999). Όσο μεγαλύτερη είναι η ραδιομετρική ανάλυση ενός αισθητήρα, τόσο μεγαλύτερη ευαισθησία παρουσιάζει αυτός στην ανίχνευση μικρών διαφορών στην ανακλώμενη ή εκπεμπόμενη ακτινοβολία (Levin, 1999). Η σημασία της ραδιομετρικής διακριτικής ικανότητας, γίνεται αντιληπτή από τον καθορισμό της πραγματικής πληροφορίας που περιέχεται στα δεδομένα του αισθητήρα, βάση των ραδιομετρικών τιμών που καταγράφονται από αυτόν (Καρτάλης και Φειδάς, 2006).

Οι ραδιομετρικές τιμές που καταγράφονται από τον αισθητήρα μετατρέπονται σε ψηφιακές τιμές, οι οποίες κυμαίνονται από 0 έως και μέχρι μια τιμή, η οποία είναι μια επιλεγμένη τιμή ισχύος 2 (2 x). Η τιμή της ισχύος στην οποία αυξάνεται το 2 για να δώσει το εύρος των ψηφιακών τιμών αντιστοιχεί στον αριθμό των bit που χρησιμοποιούνται για την κωδικοποίηση των αριθμών σε byte. Δηλαδή, εάν ένας αισθητήρας χρησιμοποιεί 8 bit ανά byte για να κωδικοποιήσει τα δεδομένα, θα είναι διαθέσιμες  $2^8 = 256$  ψηφιακές τιμές ανά byte, οι οποίες θα κυμαίνονται από 0 έως 255 (δυναμική περιοχή συστήματος) (Καρτάλης και Φειδάς, 2006; Levin, 1999).

Στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται 10 bit σε κάθε byte, θα είναι διαθέσιμες  $2^{10} = 1024$  ψηφιακές τιμές, οι οποίες θα κυμαίνονται από 0 έως 1023 και η ραδιομετρική ανάλυση θα είναι υψηλότερη (Καρτάλης και Φειδάς, 2006). Αντίθετα, εάν χρησιμοποιούνται μόνο 4 bit ανά byte, θα είναι διαθέσιμες  $2^4 = 16$  ψηφιακές τιμές, που κυμαίνονται από 0 έως 15 και η ραδιομετρική ανάλυση θα είναι χαμηλότερη (Levin, 1999). Τα δεδομένα αισθητήρα εμφανίζονται σε εικόνες κλίμακας του γκρι, με το μαύρο να αντιστοιχεί στο 0 και το λευκό στο μέγιστο (π.χ. δεδομένα 255 έως 8 bit) .

## Κεφάλαιο 2ο : Φασματοραδιόμετρο

### 2.1. Φασματοραδιόμετρο

Ο φασματοραδιόμετρο είναι μια συσκευή που διαχωρίζει ένα σήμα στα μήκη κύματος των συνιστωσών του. Ο ευκολότερος τρόπος για να το δει ο χρήστης είναι να σκεφτεί ένα πρίσμα που χωρίζει το λευκό φως σε χρώματα. Στην πραγματικότητα, ένα πρίσμα είναι ένας τύπος φασματοραδιόμετρου. Συγκεκριμένα, τα πρίσματα λειτουργούν μέσω της διασποράς. Με τα μήκη κύματος διασκορπισμένα, μπορούν να μετρηθούν ως φάσμα από τον ανιχνευτή αντί ως μία δέσμη. Ωστόσο, οι περισσότεροι φασματογράφοι δεν χρησιμοποιούν πρίσματα. Χρησιμοποιούν πλέγματα περίθλασης, τα οποία είναι πιο αποτελεσματικά.

Ένας τυπικός φασματοραδιόμετρο αποτελείται από μια σχισμή εισόδου, έναν ρυθμιστή, ένα πρίσμα ή πλέγμα, μια κάμερα και έναν ανιχνευτή. Το προσπίπτον φως εισέρχεται στη σχισμή που βρίσκεται στο εστιακό σημείο του τηλεσκοπίου και αποκλίνει καθώς η φωτεινή δέσμη εξέρχεται από τη σχισμή. Το φως ευθυγραμμίζεται από τον ρυθμιστή και το ευθυγραμμισμένο φως χτυπά τη σχάρα. Το πλέγμα τοποθετείται σε θέση κλίσης σε σχέση με τη διαδρομή του εισερχόμενου φωτός. Το ανακλώμενο φως στη συνέχεια εστιάζεται στον ανιχνευτή από μια κάμερα. Οι ανιχνευτές που χρησιμοποιούνται στους σύγχρονους φασματοραδιόμετρους είναι συνήθως φορτισμένες συζευγμένες συσκευές με πεπερασμένα pixel. Αυτοί οι ανιχνευτές παρέχουν μια διακριτική δειγματοληψία του διασκορπισμένου φωτός. Το αποτέλεσμα είναι ο σχηματισμός φασματικών γραμμών γνωστού μήκους κύματος από τις οποίες μπορεί να βαθμονομηθεί το φάσμα της μακρινής πηγής.

## 2.2. Πολυφασματική κάμερα και εφαρμογές στη γεωργία

Τα πολυφασματικά δεδομένα και η χρήση τους στην ανάλυση της βλάστησης δεν είναι κάτι νέο. Γεωπόνοι, αγρότες και επαγγελματίες δασοκομίας, καθώς και περιβαλλοντικοί ερευνητές εξαρτώνται από αυτές τις πληροφορίες για δεκαετίες, χάρη στις δορυφορικές εικόνες. Ωστόσο, οι δορυφόροι εισάγουν τα όριά τους. Συγκεκριμένα: χαμηλότερες αναλύσεις, κλειστή πρόσβαση και διακοπές με κάλυψη νέφους κτλ. Ωστόσο, τα drones με πολυφασματικές κάμερες καλύπτουν όλα αυτά τα όρια. Ξαφνικά, αγρότες, δασολόγοι και ερευνητές έχουν στα χέρια τους μια ισχυρή λύση κατά παραγγελία.

Πράγματι, η τεχνολογική επανάσταση οδηγεί τη γεωργική βιομηχανία σε ένα εντελώς νέο επίπεδο, καθώς τα δεδομένα που συλλέγονται γρήγορα μπορούν πλέον να τροφοδοτηθούν σε αυτοματοποιημένα μηχανήματα για να μειώσουν τα γενικά έξοδα για την άρδευση και τη χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων. Ομοίως, τα δασοκομικά και τα περιβαλλοντικά πεδία επηρεάζονται με αυτά τα εξαιρετικά λεπτομερή, μαζικά δεδομένα σε μεγάλες εκτάσεις γης ή θάλασσας. Καθώς η κλιματική αλλαγή εισάγει γρήγορες αλλαγές στις ζώνες φύτευσης, τη διαθεσιμότητα νερού και τα παράσιτα, τα drones εμφανίζονται ως δυναμικά εργαλεία για να δώσουν σε όλους μια ολοκληρωμένη εικόνα του τι συμβαίνει και τα μέσα προσαρμογής των τακτικών. Ωστόσο, πριν εξαντληθεί και αποκτήσουμε μια πολυφασματική κάμερα UAV, πρέπει να γνωρίζουμε πώς λειτουργούν όλα αυτά, ώστε να μπορούμε να αποκτήσουμε τον σωστό εξοπλισμό για την καλύτερη πολυφασματική ROI του drone μακροπρόθεσμα (Barmounakis & Golias, 2016).

Η γεωργία είναι εγγενώς κοντά στο έδαφος. Ωστόσο, ακόμη και με τη βιομηχανική επανάσταση, συνέβη ένα τεράστιο άλμα προς τα εμπρός, από το να περπατάς ολόκληρα χωράφια με τα πόδια με τα ζώα, μέχρι να τα οδηγείς σε μεγάλο βαθμό με τρακτέρ. Το τελευταίο άλμα προς τα εμπρός συμβαίνει τώρα. Ενώ εξακολουθείτε να χρειάζεται ο αγρότης να βγει στο χωράφι, η πτήση πάνω από καλλιέργειες με ένα drone και έναν καλό πολυφασματικό αισθητήρα UAV παράγει χάρτες πλούσιους σε δεδομένα με τη μορφή φασματικών πληροφοριών που εξοικονομούν αμέτρητο χρόνο (για να εντοπίσετε κάθε φυτό με χταπόδια ή με τρακτέρ) και πόρους (διαρροές νερού ή κακή χρήση φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων).

### 2.3. Περιορισμοί χρήσης των πολυφασματικών αισθητήρων στα UAVs

Η χρήση mini ή micro UAV στον τομέα της Τηλεπισκόπησης, έχει κάποιους περιορισμούς στα φορτία απεικόνισης (αισθητήρες) ως προς το βάρος, την ισχύ (ηλεκτρική ενέργεια) και τον χώρο που καταλαμβάνουν. Σε micro UAV βρίσκονται και αυτοί οι περιορισμοί στη σταθεροποίηση του ωφέλιμου φορτίου και στις ακριβείς γεωγραφικές αναφορές του αισθητήρα. Το συνιστάμενο βάρος, των αισθητήρων ενός μη επανδρωμένου εναέριου οχήματος, αντιστοιχεί σε 20- 30% του συνολικού βάρους του (Cai et al., 2010).

Για παράδειγμα, σε ένα micro UAV βάρους 1 kg το ωφέλιμο φορτίο θα πρέπει να είναι 300g, ενώ σε ένα mini UAV βάρους 25-30kg το ωφέλιμο φορτίο θα πρέπει να είναι 5 κιλά (Nebiker et al., 2008). Αυτός ο περιορισμός υποχρεώνει τις κατασκευαστικές εταιρείες να μειώνουν την ποιότητα κατασκευής των προϊόντων τους προκειμένου να παρέχουν προϊόντα που θα συλλέγουν ποιοτικά δεδομένα αλλά θα έχουν χαμηλό κόστος αγοράς. Παράλληλα, με τη χρήση φθηνών κατασκευαστικών υλικών στα προϊόντα περιορίζονται και η διαδικασία της αποθήκευσης δεδομένων και σημειώνεται συχνά έλλειψη χρήσιμων ενσωματωμένων λειτουργιών (π.χ. Ψηφιακή σταθεροποίηση εικόνας) (Kelcey & Lucieer, 2012).

Πολλές φορές, ωστόσο, αυτοί οι αισθητήρες των πολυφασματικών καμερών των UAV έχουν χαρακτηριστικά που αλλάζουν την ποιότητα των δεδομένων που συλλέγονται, επηρεάζοντας έτσι σημαντικά τα προϊόντα (εικόνες) που προορίζονται για εφαρμογές τηλεπισκόπησης και φωτογραμμετρίας. Αυτά τα χαρακτηριστικά αφορούν λοιπόν την περιορισμένη οπτική ποιότητα και ειδικά στο ζουμ των φακών, την πλήρη αυτόματη εστίαση και τη σταθεροποίηση της εικόνας, που δυσκολεύουν τη βαθμονόμηση της κάμερας. Επίσης πρέπει να σημειωθεί πως ενώ παρέχονται RGB εικόνες για τον κλάδο της γεωργίας, από πολλούς παρόχους τηλεπισκόπησης, οι εικόνες αυτές προσφέρουν μόνοοπτικές πληροφορίες στους αγρότες. Αυτό οφείλεται στην απουσία πληροφορίας από τη φασματική ζώνη του υπέρυθρου (NIR), η οποία είναι απαραίτητη, για την παροχή χρήσιμων πληροφοριών σχετικά με τις ιδιότητες της βλάστησης (Nebiker et al., 2008).

## 2.4. Εξέλιξη των πολυφασματικών καμερών για UAVs

Ιστορικά, τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAV) έχουν κατά κύριο λόγο χρησιμοποιηθεί για στρατιωτικές εφαρμογές. Η πιο πρόσφατη όμως χρήση των UAV σημειώνεται στον πολιτικό τομέα ως εργαλεία τηλεπισκόπησης γεγονός που παρουσιάζει νέες προοπτικές. Έτσι λοιπόν αξίζει να αναφερθεί πως παράλληλα σημειώθηκαν αρκετές βελτιώσεις σε ότι αφορά τον ακριβή παγκόσμιο εντοπισμό θέσης, συστήματος (GPS) και στο σύστημα αδρανειακής μέτρησης IMU, και συνάμα με την ελαχιστοποίηση των κατασκευαστικών κοστών τους τα πολιτικά UAVs επικράτησαν στην αφορά (Nebikera et al., 2008).

Τα δεδομένα χωρικής ανάλυσης που είναι διαθέσιμα σε πλατφόρμες όπως δορυφόροι και επανδρωμένα αεροσκάφη έχουν εύρος που πλησιάζει τα 20-50 cm/pixel. Τα UAV είναι ικανά να πετούν πολύ χαμηλότερα και ως εκ τούτου μπορούν να συλλέξουν εικόνες σε πολύ υψηλότερη ανάλυση (Scaioni et al., 2009; Hunt et al., 2010), ακόμη και με λεπτομέρεια 1 cm/pixel (Berni et al., 2009).

Η χρήση υψηλής ποιότητας, ελαφριών πολυφασματικών αισθητήρων σε μικρά UAVs δεν ήταν δυνατή στο παρελθόν. Η έλλειψη διαθεσιμότητας τέτοιων αισθητήρων στην αγορά, οδήγησε τους χρήστες σε εναλλακτικές λύσεις, όπως η τροποποίηση απλών ψηφιακώνφωτογραφικών μηχανών για τη λήψη εικόνων στη ζώνη εγγύς υπέρυθρου (NIR) (Laliberte et al., 2011). Στις απλές κάμερες, η υπέρυθρη ακτινοβολία εμποδίζεται να εισέλθει στον φακό με ειδικά φίλτρα που ονομάζονται «θερμοί καθρέφτες». Με αυτόν τον τρόπο διασφαλίζεται η δημιουργία φυσικών έγχρωμων εικόνων με χρώματα αναγνωρίσιμα στο ανθρώπινο μάτι. Σύμφωνα με τους Knoth et al., (2013), αυτοί οι καθρέφτες μπορούν να αντικατασταθούν από διαφορετικά φίλτρα (Εικ. 12), έτσι ώστε ο αισθητήρας της συσκευής συζευγμένηςφόρτισης (CCD) της κάμερας να καταγράφει επίσης πληροφορίες στην περιοχή NIR αντί για λαμβάνει αληθινές έγχρωμες εικόνες (Knoth et al., 2013).

Επειδή οι τροποποιημένες απλές κάμερες, δεν έχουν ξεχωριστό κανάλι για τη λήψη της υπέρυθρης ακτινοβολίας (NIR), καθίσταται δύσκολος ο διαχωρισμός της στο στάδιο της επεξεργασίας από την ορατή ακτινοβολία (VIS). Σε αρκετές μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί με τροποποιημένες ψηφιακές κάμερες για CIR (Color-infrared) φωτογράφιση, έγινε χρήση δύο καμερών οι οποίες συνδύαζαν την καταγραφή φυσικών (RGB) και υπέρυθρων (NIR) εικόνων, για τη δημιουργία μιας CIR εικόνας με 4 φασματικές ζώνες. Η μέθοδος αυτή όμως εκτός από την δύσκολη επεξεργασία που απαιτούσε, δεν ήταν κατάλληλη για UAV τηλεπισκόπηση, εξαιτίας των περιορισμών σε ωφέλιμο φορτίο

και στο χρόνο πτήσης (Knoth et al., 2013).

Έτσι λοιπόν υπήρξε η ανάγκη δημιουργίας πολυφασματικών και υπερφασματικών αισθητήρων, οι οποίοι θα λαμβάνουν εικόνες υψηλής ανάλυσης σε πολλαπλές φασματικές ζώνες ταυτόχρονα, στην περιοχή ορατής και κοντινής υπέρυθρης ακτινοβολίας (NIR), οι προκλήσεις που δημιουργήθηκαν αφορούσαν την οπτική, τους αισθητήρες, τον έλεγχο των αισθητήρων και τη βαθμονόμησή τους (Nebiker et al., 2008). Η διαφορά μεταξύ πολυφασματικών και υπερφασματικών αισθητήρων, σε σύγκριση με άλλους αισθητήρες, έγκειται στον αριθμό των φασματικών ζωνών και στην περιοχή κάλυψης των μηκών κύματος που λαμβάνουν, η οποία περιλαμβάνει το ορατό φάσμα.

Ειδικότερα, η λειτουργία των υπερφασματικών αισθητήρων, βασίζεται στη σάρωση γραμμών (stripes) με το UAV και απαιτούν επαρκή σταθεροποίηση, για τη λήψη εικόνων με μεγάλες επικαλύψεις. Αντίθετα, οι πολυφασματικοί αισθητήρες, δεν συλλέγουν δεδομένα με μέθοδο σάρωσης και για αυτό το λόγο, η ποιότητα ανάλυσης των εικόνων τους, είναι χαμηλότερη από αυτή των υπερφασματικών. Ορισμένες φορές, οι αισθητήρες αυτοί απαιτούν γεωμετρική διόρθωση, με συγκεκριμένες διαδικασίες και τη χρήση επίγειων σημείων ελέγχου (GCPs). Είναι σύνηθες, οι αισθητήρες αυτού του είδους να χρησιμοποιούνται μαζί με άλλους (π.χ. DSLR, Thermal), διότι με αυτό τον τρόπο αυξάνονται οι δυνατότητες αξιοποίησης των UAVs, ως εργαλεία τηλεπισκόπησης και παρέχονται καλύτερης ποιότητας δεδομένα (Pajares, 2015).

Παρά την ύπαρξη λίγων πολυφασματικών αισθητήρων (Tetracam), η πρώτη ουσιαστική εμφάνιση ελαφρών πολυφασματικών αισθητήρων στην αγορά, συνέβη την τελευταία δεκαετία (Jhan et al., 2018). Το εύρος των οποίων ποικίλλει από απλούς πολυφασματικούς αισθητήρες χαμηλού κόστους, έως πολύπλοκα συστήματα πολλαπλών αισθητήρων υψηλών προδιαγραφών (Tejada et al., 2009; Lan et al., 2010; Nebiker et al., 2016).

Αξίζει να παρατεθεί ένα παράδειγμα αυτό της αμπελουργίας ακριβείας (PV), η οποία ορίζεται ως η παρακολούθηση και η διαχείριση των χωρικών διακυμάνσεων σε φυσικές, χημικές, βιολογικές μεταβλητές που σχετίζονται με την παραγωγικότητα των αμπελώνων (Hall et al., 2002). Εκτεταμένη έρευνα έχει πραγματοποιηθεί για να προσδιοριστεί εάν οι παραδοσιακές πηγές δεδομένων τηλεπισκόπησης (δορυφορικές και αεροφωτογραφίες) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να βοηθήσουν με το PV, ο Hall (2008) παρέχει ένα παράδειγμα. Μεγάλο μέρος αυτής της έρευνας βασίζεται στον υπολογισμό δεικτών βλάστησης όπως η πυκνότητα φυτικών κυττάρων (PCD) και ο κανονικοποιημένος δείκτης

διαφοράς βλάστησης (NDVI), και στη συνέχεια η συσχέτιση αυτών με βιο-γεωφυσικές ιδιότητες των αμπελιών, όπως ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI). Οι Proffitt και Pearse, (2004) χρησιμοποίησαν δεδομένα βασικής αλήθειας για να αποδείξουν ότι το PCD παρέχει μια καλή ένδειξη του σθένους αμπέλου που συσχετίζεται καλά με την απόδοση και την ποιότητα του κρασιού. Οι Berni et al. (2009) ανακάλυψαν ότι ο Φωτοχημικός Ανακλαστικός Δείκτης είναι μια πολύ καλύτερη ένδειξη του υδατικού στρες των φυτών από το NDVI όταν εξετάζουμε καλλιέργειες σπυροφόρων όπως τα ροδάκινα και οι ελιές. Ωστόσο, οι αμπελώνες δεν είναι μια ομοιογενής καλλιέργεια και τα δεδομένα από παραδοσιακές αεροφωτογραφίες ή δορυφορικούς αισθητήρες υψηλής ανάλυσης δεν είναι σε θέση να διαφοροποιήσουν με ακρίβεια μεταξύ των μεμονωμένων αμπέλων και της βλάστησης μεταξύ των σειρών. Αυτό υπαγορεύει ότι στις άκρες των αμπελιών, τα εικονοστοιχεία θα παρουσιάζουν τις ανακλαστικές ιδιότητες τόσο της ίδιας της αμπέλου όσο και της παρακείμενης βλάστησης. Οι εικόνες υπερ-ανάλυσης UAV αμπελώνων δεν έχουν αυτόν τον περιορισμό, επομένως υπάρχει μια συναρπαστική δυνατότητα για την ανάπτυξη ενός συστήματος UAV για τη χαρτογράφηση των αμπελώνων και, επομένως, για τη βοήθεια με Φ/Β.

Σήμερα, οι πολυφασματικοί αισθητήρες για UAVs και τα προϊόντα τους, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μεγάλο εύρος εφαρμογών πέρα των στρατιωτικών, χαρακτηριστικά αναφέρονται:

- **Δασοκομία και γεωργία:** Τα δεδομένα τα οποία συλλέγονται, από πολυφασματικούς αισθητήρες, συμβάλλουν σημαντικά στην λήψη κρίσιμων αποφάσεων από τους παραγωγούς, οι οποίες θα τους εξοικονομήσουν χρόνο και χρήμα για θέματα σχετικά με τις καλλιέργειες, μέσω του εντοπισμού, ενδεχομένων προβλημάτων και αδυναμιών σε αυτές (Grenzdörffer et al., 2008). Π.χ. εποπτεία καλλιεργειών χρησιμοποιώντας πολυφασματικούς σένσορες σε UAVs (Candiago et al., 2015; Berni et al., 2008), πρόβλεψη της βιομάζας σε βοσκότοπος (Lussem et al., 2019), αξιολόγηση μεταβλητότητας της κατάστασης του νερού σε αμπελώνες (Baluja et al., 2012), την απεικόνιση του φθορισμού της χλωροφύλλης (Tejada et al., 2009), μέτρηση της δομής και της κατάστασης του φυλλώματος ενός δένδρου (Tu et al., 2019), μελέτη της μεταβλητότητας του χάρτη θεραπείας μιας καλλιέργειας με ζιζανιοκτόνα (Granados et al., 2016) κ.α. Μπορούν επίσης να συμβάλλουν, στην

προστασία των δασών προλαμβάνοντας συμβάντα και προφυλάσσοντας την χλωρίδα και την πανίδα τους. Π.χ. παρακολούθηση των δασών και πρόληψη πυρκαγιών (Yuan et al., 2017), χρήση πολυφασματικών αισθητήρων σε εκστρατείες έρευνας της βλάστησης μετά από πυρκαγιές (Guisuraga et al., 2018). Στην Αρχαιολογία και πολιτιστική κληρονομιά: Τα πολυφασματικά δεδομένα, μπορούν να οδηγήσουν σε ανακάλυψη αρχαιολογικών ευρημάτων σε καλλιεργούμενες εκτάσεις. Π.χ. με τον εντοπισμό σε πολυφασματικές εικόνες της έντασης του χρώματος της καλλιέργειας, που επηρεάζεται από τα καλυπτόμενα αρχαιολογικά ευρήματα (Moriarty et al., 2018; Šedina et al., 2019; Cowley et al., 2018).

- **Τοπογραφία, πολεοδομία και χωροταξία:** Με σκοπό τη δημιουργία και την ενημέρωση χαρτών που βασίζονται σε πολυφασματικά δεδομένα, την χαρτογράφηση περιοχών μικρής έκτασης (κυρίως εξωαστικών περιοχών π.χ. καλλιέργειες), την παρακολούθηση των πόλεων και την επίβλεψη έργων. Π.χ. παρακολούθηση της αποκατάστασης της περιοχής υπαίθριων ορυχείων (Padró et al., 2019), εκτίμηση της κατάστασης των υποδομών (Zhang et al., 2015), επιθεώρηση κτιρίων μέσω πολυφασματικών εικόνων (Mader et al., 2016).
- **Περιβαλλοντικές μελέτες:** Οι δυνατότητες φθηνής, συχνής και γρήγορης αποτύπωσης περιοχών που προσφέρουν τα UAVs, επιτρέπουν την παρακολούθηση των μεταβολών του εδάφους και των υδατικών πόρων ανά τακτά χρονικά διαστήματα, συμβάλλοντας έτσι στην εξαγωγή συμπερασμάτων και στην λήψη αποφάσεων για την προστασία του φυσικού περιβάλλοντος. Π.χ. παρακολούθηση της ανάπτυξης φυκιών σε περιοχές που καλλιεργούνται αχαιβάδες (Taddia et al., 2019), ανίχνευση πλαστικών στις θάλασσες (Torouzeliset al., 2019) και περιοδική αξιολόγηση της κατάστασης των οικοσυστημάτων και των υπηρεσιών τους σε τοποθεσίες μακροπρόθεσμης οικολογικής έρευνας (LTER) (Delgado et al., 2019).



## 2.5. Φασματογραφική και Ραδιομετρική Μελέτη

Αν και οι αισθητήρες απεικόνισης σε δορυφόρους έχουν χρησιμοποιηθεί συχνά για τη χαρτογράφηση της χερσαίας βλάστησης και της συγκεκριμένης θαλάσσιας βλάστησης (π.χ. *Macrocystis pyrifera*, *Nereocystis leutkeana* και θαλάσσιο χόρτο, υπάρχουν αρκετοί περιορισμοί στη χρήση δορυφορικών εικόνων για την ταυτόχρονη αξιολόγηση πολλαπλών κατηγοριών οικοτόπων, ιδιαίτερα σε αποσπασματικά ενδιαυτήματα. Τα θαλάσσια συγκροτήματα συχνά σχηματίζουν μωσαϊκά υψηλής μεταβλητότητας που σχετίζονται με μια σειρά περιβαλλοντικών και βιολογικών κλίσεων.

Σε τέτοιες περιπτώσεις, η ανάλυση των εικονοστοιχείων μπορεί να είναι προβληματική για την ταξινόμηση των οικοτόπων, όπου οι φασματικές υπογραφές πολλαπλών τύπων βλάστησης μειώνονται (φασματική σύγχυση). Επιπλέον, οι δορυφορικές εικόνες επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από τις μετεωρολογικές συνθήκες, όπως η παρεμβολή σε σύννεφα και αεροζόλ, η λάμψη της επιφάνειας και ο ανεπαρκής συγχρονισμός με την παλίρροια. Για πολλές εφαρμογές αυτοί οι περιορισμοί απορροφώνται από την υψηλή συχνότητα των δορυφορικών περασμάτων.

Ωστόσο, οι πιθανότητες λήψης εικόνων υψηλής ποιότητας μειώνονται σημαντικά στα θολά παράκτια ύδατα όπου οι ακριβείς παρατηρήσεις της παλίρροιας και της υποπαλιρροιακής ζώνης απαιτούν ευθυγράμμιση παλίρροιας, μετεωρολογικών και ωκεανογραφικών μεταβλητών. Τα αυτόνομα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAV, κοινώς αποκαλούμενα «drones») που αναπτύσσονται για να συμπίπτουν με μετεωρολογικές και ωκεανογραφικές συνθήκες παρέχουν μια πιθανή εναλλακτική λύση, επιτρέποντας τη στόχευση βασικών μετεωρολογικών μεταβλητών και εκτελώντας μέτριας κλίμακας χαρτογράφηση διαπαλιρροιακών και ρηχών υποπαλιρροιακών φυκιών και μακροφυκών (Ranjan, et al., 2018).

Τα UAV χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο για μια σειρά εκστρατειών περιβαλλοντικής και οικολογικής παρακολούθησης και, παρόλο που η χρήση εναέριων πλατφορμών για οικολογική παρακολούθηση δεν είναι καθόλου νέα, η ανάπτυξη απεικόνισης με την χρήση αυτών έχει εξελιχθεί σημαντικά. Οι αισθητήρες σε μη επανδρωμένα εναέρια drones έχουν ορισμένα πλεονεκτήματα (καθώς και μειονεκτήματα) σε σχέση με άλλες επανδρωμένες και μη επανδρωμένες πλατφόρμες.

Τα βασικά πλεονεκτήματα των copter drones είναι η υψηλή ανάλυση pixel, η εξαιρετικά ευέλικτη ανάπτυξη και το σχετικά χαμηλό κόστος ανά μονάδα χρόνου (Grenzdörffer, et al., 2008).

Οι δορυφορικές πλατφόρμες παρέχουν τη φθηνότερη επιλογή, ειδικά ανά μονάδα επιφάνειας, αλλά υποφέρουν από χαμηλή ανάλυση εικονοστοιχείων και είναι περιορισμένοι ως προς το χρόνο λήψης εικόνων. Ένα βασικό πλεονέκτημα των δορυφορικών εικόνων είναι οι διαθέσιμες πολλαπλές διακριτές φασματικές ζώνες, ιδιαίτερα οι υπέρυθρες ζώνες που επιτρέπουν βελτιωμένη ανίχνευση βλάστησης. Ωστόσο, η προσαρμογή των πολυφασματικών και υπερφασματικών συστημάτων απεικόνισης σε πλατφόρμες drone κλείνει κατά κάποιο τρόπο το χάσμα μεταξύ χαμηλής χωρικής ανάλυσης, δορυφορικών εικόνων υψηλής χωρικής κάλυψης και παραδοσιακών τεχνικών οικολογικής παρακολούθησης με υψηλή ταξινομική ανάλυση και ακρίβεια, αλλά πολύ χαμηλή χωρική κάλυψη (Ranjan, et al., 2018).

Η διάχυση των υπέρυθρων μηκών κύματος κατά τη διάρκεια της ενεργού φωτοσύνθεσης της βλάστησης παρέχει μια αντανάκλαση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε συγκεκριμένα μήκη κύματος (710-800 nm) και έχει χρησιμοποιηθεί καλά σε επίγειες εφαρμογές για την τηλεπισκόπηση της βλάστησης, συμπεριλαμβανομένης της εκτίμησης της βιομάζας και των αξιολογήσεων της υγείας της βλάστησης. Ωστόσο, η άνοδος των νεαρότερων drones για οικολογική έρευνα κυριαρχείται από μονάδες εξοπλισμένες με κάμερες ορατού φωτός (γνωστές ως RGB λόγω των τριών ζωνών δεδομένων που αντιπροσωπεύουν τις εντάσεις του κόκκινου, του πράσινου και του μπλε μήκους κύματος κάθε pixel).

Πρόσθετες φασματικές ζώνες (δηλαδή, όχι μόνο κόκκινο-πράσινο-μπλε) παρέχουν περαιτέρω ευκαιρίες για τον εντοπισμό μοναδικών φασματικών υπογραφών μεταξύ των τύπων βλάστησης. Ο φασματικός διαχωρισμός του σήματος ανάκλασης επιστροφής παρέχει δυναμικά χρησιμότητα σε πιο λεπτομερή χαρτογράφηση ευρείας κλίμακας κοινοτήτων μακροφυκών με υψηλό πλούτο ειδών. Η ανίχνευση αυτών των μοναδικών φασματικών προφίλ μπορεί να βελτιωθεί με την απομόνωση βασικών τμημάτων του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος χρησιμοποιώντας πολυφασματική απεικόνιση με διακριτές, μη επικαλυπτόμενες ζώνες.

## Κεφάλαιο 3ο : Μια ολοκληρωμένη ανασκόπηση των εφαρμογών του Drone της Τεχνολογίας στη Γεωργία

### 3.1. Εισαγωγικές Παρατηρήσεις

Τα τελευταία χρόνια έχει αυξηθεί η χρήση μικρών, μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων (UAV) ή τηλεκατευθυνόμενο σύστημα αεροσκαφών, κοινώς γνωστό ως drones, για τη γεωργία. Τα drones, μπορεί να διαφέρουν από ελαφρά, απλά οχήματα μικρής εμβέλειας, ραδιοελεγχόμενα σε οπτική οπτική γωνία του χειριστή, σε αεροσκάφη μεγάλης κλίμακας, που τηλεχειρίζονται από το εξωτερικό μέσω δορυφορικής σύνδεσης. Για παράδειγμα, το Northrop Grumman "Global Hawk", μπορεί να πετάξει σε ένα υψόμετρο πάνω από 65.000 πόδια, εξοπλισμένο με αισθητήρες για να βλέπουν μέσα από σύννεφα ή στο απόλυτοσκοτάδι (Roma, 2017).

Ένα μεγάλο εύρος από τις περιστροφικές πλατφόρμες φτερών είναι επίσης σε χρήση και παραγωγή, ειδικά μίνι ελικόπτερα για τοπική επιτήρηση ή ανίχνευση. Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα drones είναι σε θέση να συλλέγουν δεδομένα πολύ πιο αποτελεσματικά από ό,τι είτε ένας δορυφόρος είτε ένα επανδρωμένο αεροσκάφος θα μπορούσε ποτέ να συλλέξει. Η αποστολή εξαρτάται από το ωφέλιμο φορτίο και την ικανότητα συλλογής, επεξεργασίας του επίγειου σταθμού και να διαδώσει δεδομένα για τους στόχους της αποστολής. Τα drones μπορούν να συλλέγουν εικόνες και βίντεο υψηλής ανάλυσης, τηλεφωνικές συνομιλίες, υποκλοπές ηλεκτρονικών επικοινωνιών και οποιοδήποτε άλλο κύμα ή σήμα ανάλογα με το ωφέλιμο φορτίο εγκατασταθεί επί του σκάφους (Roma, 2017).

Μπορούν επίσης να αναγνωρίσουν πρόσωπα ή ακόμα και να εντοπίσουν «ανώμαλες συμπεριφορές» και να αναγνωρίσουν ανθρώπινους στόχους. Τα μελλοντικά drones ηλιακής ενέργειας θα μπορούν να μένουν στον αέρα επ αόριστον, μετατρέποντας σε συνεχή επιτήρηση εργαλείο στα χέρια των δημοσίων αρχών. Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι τα drones ενδέχεται να αποτελούν πραγματική απειλή για την ιδιωτική ζωή. Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη είναι τηλεκατευθυνόμενα αεροσκάφη χωρίς άνθρωπο πιλότο επί του αεροσκάφους. Αυτά έχουν τεράστιες δυνατότητες για τη γεωργία για την υποστήριξη σχεδιασμού βάσει στοιχείων και τη συλλογή χωρικών δεδομένων. Παρά ορισμένους εγγενείς περιορισμούς, αυτά τα εργαλεία και οι τεχνολογίες μπορούν να παρέχουν πολύτιμα δεδομένα που μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν για να επηρεάσουν πολιτικές και αποφάσεις (Roma, 2017).

Τα πλεονεκτήματα που παρέχει «ένα μάτι στον ουρανό» όταν συνδυάζονται με αναλυτικά εργαλεία που μπορούν να ερμηνεύσουν τα δεδομένα και οι εικόνες σε πληροφορίες που μπορούν να γίνουν πράξη έχουν εγκαινιάσει μια νέα επανάσταση. Ωστόσο, προτεραιότητα στην αντιμετώπιση ζητημάτων που σχετίζονται με το απόρρητο, την ασφάλεια και την ασφάλεια είναι το κλειδί για τη βιώσιμη εφαρμογή αυτών των τεχνολογιών (Delgado et al., 2019).

Η γεωργία είναι ένας από τους πιο υποσχόμενους τομείς, όπου τα drones προσφέρουν τη δυνατότητα αντιμετώπισης πολλών μεγάλων προκλήσεων. Οι αγροτικοί παραγωγοί πρέπει να υιοθετήσουν επαναστατικές στρατηγικές για την παραγωγή τροφίμων, την αύξηση της παραγωγικότητας, και να θέσουν τη βιωσιμότητα ως προτεραιότητα. Τα drones αποτελούν μέρος της λύσης, μαζί με τη στενότερη συνεργασία μεταξύ των κυβερνήσεων, την τεχνολογία ηγέτες και βιομηχανία (Delgado et al., 2019).

Η χρήση drones στη γεωργία επεκτείνεται με γρήγορους ρυθμούς στη φυτική παραγωγή, στα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης, στη μείωση του κινδύνου καταστροφών, στη δασοκομία, στην αλιεία, καθώς και στη διατήρηση της άγριας ζωής. Για παράδειγμα, η τεχνολογία drone θα δώσει στη γεωργία μια αναμόρφωση υψηλής τεχνολογίας, με προγραμματισμό και στρατηγική βασισμένη σε πραγματικό χρόνο συλλογή και επεξεργασία δεδομένων: ανάλυση εδάφους και αγρού, φύτευση, ψεκασμός καλλιεργειών, παρακολούθηση καλλιεργειών, άρδευση, και αξιολόγηση της υγείας (Delgado et al., 2019).

Έχουν χρησιμοποιηθεί drones, συμπεριλαμβανομένων μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων (UAV) και μικροαεροπορικών οχημάτων (MAVs) για μια ποικιλία πολιτικών και στρατιωτικών εφαρμογών και αποστολών. Αυτά τα μη επανδρωμένα ιπτάμενα συστήματα είναι ικανά να μεταφέρουν διαφορετικούς αισθητήρες ανάλογα με τον τύπο των αποστολών τους, όπως ακουστικούς, οπτικούς, χημικούς και βιολογικούς αισθητήρες. Για να βελτιώσουν την απόδοση και την αποτελεσματικότητα των drones, οι ερευνητές έχουν επικεντρωθεί σχετικά με τη βελτιστοποίηση σχεδιασμού των drones που είχε ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη και την κατασκευή διαφόρων τύπων αεροσκαφών με ποικίλες δυνατότητες (Granados et al., 2016).

Η χρήση των εναέριων οχημάτων για βιομηχανικές εφαρμογές χρονολογείται από τον 19ο αιώνα. Το 1860, μπαλόνια χρησιμοποιήθηκαν για τη λήψη φωτογραφιών για σκοπούς τηλεπισκόπησης. Το 1903, περιστέρια που κουβαλούσαν ένα στήθος εναέρια

κάμερα χρησιμοποιήθηκαν για φωτογράφιση. Γύρω στις αρχές του Α' Παγκοσμίου Πολέμου, οι εναέριες τορπίλες, οι οποίες είναι γνωστές ως η προέλευση των drones, αναπτύχθηκαν. Τα τελευταία χρόνια, η έμφαση στην έρευνα και η ανάπτυξη μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων αυξάνεται στις ακαδημαϊκές και βιομηχανικές κοινότητες παγκοσμίως. Ανάλογα με την καθορισμένη αποστολή, τα drones γενικά ταξινομούνται ευρέως με βάση την αποστολή τους διαμορφώσεις. Τα drones μπορούν να ομαδοποιηθούν σε εννέα κατηγορίες, όπως με σταθερά φτερά, πτερύγια με πτερύγια, περιστροφικά φτερά, στροφέιο με κλίση, ανεμιστήρας αεραγωγών, ελικόπτερο, ορνιθόπτερο και μη συμβατικοί τύποι (Cowley et al., 2018).

Τα drones έχουν μια ποικιλία δυνατοτήτων τόσο για στρατιωτική όσο και για πολιτική χρήση. Αυτές οι δυνατότητες, μαζί με τη ζήτηση για μη επανδρωμένες τεχνολογίες, είχαν ως αποτέλεσμα την ενοποίηση των drones σε αστικές πρακτικές. Προς το σκοπό αυτό, αναπτύσσονται νέα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα που μπορούν να εκτελέσουν διάφορες αποστολές σε ποικίλα περιβάλλοντα. Για παράδειγμα, τα drones χρησιμοποιούνται σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών για πολιτικούς σκοπούς, στην έρευνα και στη διάσωση, επιτήρηση, πυρόσβεση, παρακολούθηση καιρού, τοπογραφία, παρακολούθηση υποδομής ηλεκτρικής ενέργειας και πολεοδομικός σχεδιασμός και διαχείριση. Τα drones έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση του περιβάλλοντος χώρου ενός κτιρίου και παρακολούθηση αστικής κυκλοφορίας, οικολογική και περιβαλλοντική παρακολούθηση, κατανομή ειδών μοντελοποίηση, οικολογία πληθυσμού και οικολογική παρακολούθηση και διατήρηση, αρχαιολογία και πολιτιστική κληρονομιά, ανθρώπινη και κοινωνική κατανόηση, προσωπικά και επιχειρηματικά drones για φωτογραφία και βίντεο, ακόμη και υπηρεσίες παράδοσης είναι άλλες εφαρμογές των drones (Granados et al., 2016).

Επιπλέον, τα μη επανδρωμένα εναέρια συστήματα έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε διάφορες βιομηχανίες, όπως π.χ γεωργία, πετρέλαιο και φυσικό αέριο, κατασκευές, προστασία του περιβάλλοντος, εξόρυξη κ.λπ.. Υπάρχουν δύο βασικά πλεονεκτήματα της χρήσης drones στις εξορυκτικές εργασίες. Πρώτον, εξοπλισμένα drones με διαφορετικούς τύπους αισθητήρων μπορεί να πραγματοποιήσουν μια γρήγορη επιθεώρηση μιας περιοχής, είτε σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης αναγνώρισης κατάστασης ή κινδύνου. Δεύτερον, επιθεώρηση και ξεμπλοκάρισμα φραγμένων οπών κιβωτίων όπως και οι διελεύσεις μεταλλευμάτων μπορούν να γίνουν χρησιμοποιώντας drones (Granados et al., 2016).

## 3.2. Εφαρμογές Drones στη Γεωργία

Τα γεωργικά drones έχουν εφαρμογές στη γεωργία, προκειμένου να συμβάλουν στην αύξηση της παραγωγής των καλλιεργειών και στην παρακολούθηση της ανάπτυξής τους. Οι αισθητήρες και οι δυνατότητες ψηφιακής απεικόνισης μπορούν να δώσουν στους αγρότες μια πλήρη εικόνα για την κατάσταση μιας καλλιέργειας. Ως αποτέλεσμα, οι πληροφορίες αυτές μπορεί να αποδειχθούν χρήσιμες για τη βελτίωση της αποδόσεων μιας καλλιέργειας (Φουντάς & Γέμτος, 2015).



*Εικόνα 3* : Η χρήση των drones στη γεωργία

[\(https://www.yraithros.gr/h-chrisi-ton-drones-sti-georgia/\)](https://www.yraithros.gr/h-chrisi-ton-drones-sti-georgia/)

Τα γεωργικά drones επιτρέπουν στους αγρότες να έχουν μια πλήρη απεικόνιση του χωραφιού τους από ψηλά. Αυτή η απεικόνιση μπορεί να αποκαλύψει πολλά ζητήματα όπως προβλήματα άρδευσης, διακυμάνσεις του εδάφους, μολύνσεις από παράσιτα και μυκητιάσεις λοιμώξεις. Επιπλέον, ένα drone μπορεί να επιθεωρήσει τις καλλιέργειες για τον γεωργό περιοδικά. Εβδομαδιαία, καθημερινά ή ακόμη και ωριαία, οι εικόνες μπορούν να δείξουν τις αλλαγές στις καλλιέργειες με την πάροδο του χρόνου, δείχνοντας έτσι πιθανά “προβλήματα σημεία”. Έχοντας εντοπίσει αυτά τα προβλήματα, ο γεωργός μπορεί να προβεί στη βελτίωση των καλλιεργειών και κατ’ επέκταση της παραγωγής (Φουντάς & Γέμτος, 2015).

Τα drones χρησιμοποιούνται για να παρατηρούν τις καλλιέργειες, την υφή τους, την ανάπτυξη, την κατάσταση των παρασίτων κλπ. Επεξεργάζονται αυτά τα δεδομένα που παρατηρούνται χρησιμοποιώντας προγράμματα που βασίζονται στη γεωργία ακριβείας και με βάση την ανάλυση που γίνεται από τα προγράμματα, τα ειδικά drones εκτελούν

εργασίες ώστε να βελτιστοποιήσουν την ανάπτυξη. Τα αποκλειστικά χαρακτηριστικά των drones κάνουν την εφαρμογή της γεωργίας ακριβείας πολύ αποτελεσματική. Η ενσωμάτωση της τεχνολογίας των drones στη γεωργία ακριβείας ανοίγει πολλές δυνατότητες. Ακολουθούν μερικές από τις εφαρμογές που κάνουν την ενσωμάτωση της τεχνολογίας των drones στη γεωργία ακριβείας πολύ αποτελεσματική:

- **Παρακολούθηση Εξοπλισμού Άρδευσης:** Η διαχείριση πολλαπλών σημείων άρδευσης ταυτόχρονα είναι μια αρκετά περίπλοκη διαδικασία, ειδικά για τους αγρότες που διαθέτουν μεγάλες καλλιέργειες διασκορπισμένες σε διάφορα σημεία. Τα drones με υπερφασματικούς, πολυφασματικούς ή θερμικούς αισθητήρες μπορούν να αναγνωρίσουν ποια μέρη ενός πεδίου είναι στεγνά ή χρειάζονται βελτιώσεις.

Επιπλέον, όταν η καλλιέργεια μεγαλώνει, τα drones επιτρέπουν τον υπολογισμό του δείκτη βλάστησης, ο οποίος περιγράφει τη σχετική πυκνότητα και την υγεία της καλλιέργειας και χρησιμοποιεί τη φασματική υπογραφή της θερμότητας, την ποσότητα ενέργειας ή θερμότητας που εκπέμπει η καλλιέργεια. Οι υπερφασματικοί ή πολυφασματικοί αισθητήρες μπορούν να αναγνωρίσουν γρήγορα ποιες καλλιέργειες είναι ξηρές.

Επιπλέον, τα drones μπορούν επίσης να υπολογίσουν την πυκνότητα και την υγεία της καλλιέργειας και να παρέχουν την υπογραφή θερμότητας, ειδοποιώντας τον αγρότη ποιες καλλιέργειες χρειάζονται περισσότερο νερό και ποιες καλλιέργειες χρειάζονται λιγότερο. Αυτή η αποτελεσματική χρήση του νερού είναι ένα τεράστιο μέτρο εξοικονόμησης κόστους όταν το κόστος του νερού αυξάνεται και η ξηρασία χτυπά μια περιοχή. Η προσεκτική άρδευση μειώνει επίσης τις πιθανότητες απορροής λιπασμάτων σε ρυάκια και ποτάμια, αποτρέποντας τον περιττό θάνατο .

- **Ταυτοποίηση Ζιζανίων στις Καλλιέργειες:** Ένας χάρτης ζιζανίων μπορεί να σχεδιαστεί από τα drones χρησιμοποιώντας τα δεδομένα που λαμβάνονται από τους αισθητήρες τους, έτσι ώστε οι αγρότες να μπορούν εύκολα να διαφοροποιήσουν τις περιοχές του πολλαπλασιασμού των ζιζανίων υψηλής έντασης από τις υγιείς καλλιέργειες που αναπτύσσονται δίπλα τους, βελτιώνοντας με αυτό τον τρόπο την ποιότητα των καλλιεργειών.
  
- **Εκτίμηση υγείας της καλλιέργειας:** Τα drones μπορούν να εντοπίσουν βακτήρια, μύκητες ή ασθένειες με τη χρήση υπέρυθρης ακτινοβολίας που μεταδίδεται συχνά από αισθητήρες ή θερμικές εικόνες και πολλά άλλα μέσα, αποτρέποντας την εξάπλωση των ασθενειών σε άλλες καλλιέργειες. Είναι γεγονός πως με πολυφασματικές εικόνες, τα drones μπορούν να εντοπίσουν ασθένειες πριν εντοπιστούν με ανθρώπινο μάτι. Η τοπογραφία του εδάφους ή η ταξινόμηση περιοχών που έχουν παρόμοιες ιδιότητες εδάφους, παίζει σημαντικό ρόλο στη γεωργία.  
Ιδιότητες όπως το pH του εδάφους, η αλατότητα και η υφή, καθώς και η κλίση, η διαθεσιμότητα H<sub>2</sub>O και η διάβρωση ο κίνδυνος μπορεί να εκτιμηθεί με βάση τα αποτελέσματα της χαρτογράφησης. Τα drones μπορούν να παίξουν καθοριστικό ρόλο στην αρχή του κύκλου καλλιέργειας. Παράγουν ακριβείς τρισδιάστατους χάρτες για πρώιμη ανάλυση του εδάφους, χρήσιμοι για τον σχεδιασμό προτύπων φύτευσης σπόρων. Μετά τη φύτευση, η ανάλυση εδάφους βάσει κηφήνων παρέχει δεδομένα για την άρδευση και τη διαχείριση σε επίπεδο αζώτου.
  
- **Ανάλυση εδάφους :** Τα drones παράγουν ακριβέστατους δισδιάστατους και τρισδιάστατους χάρτες βοηθώντας στην οργάνωση των δειγματοληψιών του εδάφους αλλά και στον σχεδιασμό της σποράς ή της μεταφύτευσης. Ακόμη, με μία μόνο σάρωση της καλλιέργειας το drone αποδίδει άμεσα και χρηστικά δεδομένα τόσο για την αποδοτικότητα της φύτευσης όσο και για τον περαιτέρω σχεδιασμό της άρδευσης και της λίπανσης αυτής.



- **Φύτευση:** Χρησιμοποιούνται ρομποτικά οχήματα, αξιοποιώντας τους χάρτες που παράγουν τα drones, έτσι η φύτευση του κάθε σπόρου στην βέλτιστη θέση παρέχοντάς του ταυτόχρονα και όλα τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά για να διατηρηθεί στη ζωή.
- **Ψεκασμοί :** Με βάση τους δισδιάστατους χάρτες που παράγει το drone μέσω της τηλεπισκόπησης, γίνονται ψεκασμοί χωρικά με την κατάλληλη ποσότητα ζιζανιοκτόνου ρυθμίζοντας στο ύψος του και την ποσότητα που ψεκάζει ανάλογα με το που βρίσκεται στην καλλιέργεια. Έτσι επιτυγχάνεται αυξημένη απόδοση κάθε ψεκασμού με ταυτόχρονη μείωση τόσο στην ποσότητα των ζιζανιοκτόνων που ψεκάζονται στο περιβάλλον όσο και στο κόστος κάθε αγρότη.



**Εικόνα 4 :** Γεωργικές Εφαρμογές – Ψεκασμοί με Drones

[\(https://ionos.com.gr/georgikes-efarmoges-psekasmoi-drones/\)](https://ionos.com.gr/georgikes-efarmoges-psekasmoi-drones/)

- **Παρακολούθηση καλλιεργειών :** Λόγω της έλλειψης μέσων παρακολούθησης της καλλιέργειας δημιουργούνται μεγάλα εμπόδια στην αύξηση της παραγωγικότητας. Μέχρι στιγμής, η δορυφορική απεικόνιση ήταν ο μοναδικός τρόπος τηλεπισκόπησης των καλλιεργειών. Όμως, οι δορυφορικές υπηρεσίες είναι πολύ ακριβές και δεν είναι παντού διαθέσιμες. Ακόμη, οι εικόνες από τους δορυφόρους έχουν πολύ χαμηλή ανάλυση για να αποδειχθούν χρήσιμες και οι ατμοσφαιρικές παρεμβολές μεταβάλλουν τα δεδομένα σε κάθε λήψη.

Σήμερα, στην Γεωργία Ακριβείας, ένα από τα κύρια πεδία εφαρμογής των drones είναι αυτό της παρακολούθησης των καλλιεργειών καθώς τα δεδομένα που δίνουν τα drones παρέχουν τη δυνατότητα εφαρμογής πρακτικών της γεωργίας ακριβείας και έτσι υπάρχει τρόπος προληπτικής αντιμετώπισης των ασθενειών και των ελλείψεων στις καλλιέργειες.

### 3.3. Πολυφασματική φωτογραμμετρία και UAV

Την τελευταία δεκαετία οι νέες τεχνολογίες έχουν αλλάξει τον τρόπο με τον οποίο οι βιομηχανίες και οι επιχειρήσεις αναπτύσσουν και βελτιώνουν τα προϊόντα και τις υπηρεσίες τους. Ως συνέπεια της τεχνολογικής προόδου, τα drones, γνωστά και ως μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAV), διαδραματίζουν βασικό ρόλο στην αντιμετώπιση προβλημάτων που αντιμετωπίζει η αγροτική παραγωγή (Clay, 2017).

Το UAV είναι ένα εργαλείο που συντελεί στη βελτίωση της γεωργικής καλλιέργειας, την αύξηση της απόδοσης της απόδοσης και τη βελτιστοποίηση των πόρων και ως εκ τούτου, τη μεγιστοποίηση των οφελών με παράλληλη βελτιστοποίηση του κόστους. Με αυτόν τον τρόπο, μπορούμε να επισημάνουμε ότι διαφορετικά οινόποιεία σε όλο τον κόσμο χρησιμοποιούν UAV για να βελτιώσουν τις λειτουργίες που στοχεύουν στη βελτιστοποίηση δεικτών που σχετίζονται με την άρδευση, την παραγωγή, την ωρίμανση ή τα παράσιτα, για να αναφέρουμε μερικά.

Η ανάπτυξη αυτών των ερευνών στον αγροτικό τομέα οδήγησε στην εξέλιξη και χρήση της τεχνολογίας πολυφασματικής φωτογραμμετρίας, η οποία προσδιορίζει τα διαφορετικά στάδια παραγωγής όπως η καρπόδεση, η έκδοση ή η ωρίμανση αναλύοντας τις παραγόμενες εικόνες. Η πολυφασματική φωτογραμμετρία συλλαμβάνει πληροφορίες χρησιμοποιώντας ενσωματωμένους πολυφασματικούς αισθητήρες. Αυτή η τεχνολογία πραγματοποιεί μια εξαντλητική ανάλυση των επιφανειών που αναλύει, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως η μεταβλητότητα, η κατάσταση του νερού, η ανάπτυξη και η ποιότητα των φυτών, η βλαστική κατάσταση, η υγρασία του εδάφους και η παραγόμενη βιομάζα (Candiago et al., 2015).

Η ανάπτυξη τεχνολογιών όπως η πολυφασματική φωτογραμμετρία που συνοδεύεται από τεχνολογία απομακρυσμένου drone βοηθά στον εντοπισμό και την αύξηση των μεγάλων δυνατοτήτων των εδαφών όσον αφορά την ομοιογένεια της καλλιέργειας ή την προσαρμογή για λίπανση. Η τεχνική πολυφασματικής φωτογραμμετρίας UAV παρέχει πολύ χρήσιμες πληροφορίες που διευκολύνουν την απόφαση για τον βέλτιστο χρόνο συγκομιδής, τις επεξεργασίες που θα εφαρμοστούν σε κάθε περιοχή της καλλιέργειας ή την ανάγκη για άρδευση με βάση μοντέλων ενεργειακής απόδοσης (Candiago et al., 2015).

Επιπλέον, η πολυφασματική φωτογραμμετρία μπορεί να εντοπίσει αναδυόμενα παράσιτα,

προβλήματα βλάστησης, καθώς και υπολειπόμενες περιοχές υπό έλεγχο. Με τη χρήση πολυφασματικής φωτογραμμετρίας και UAV μπορούμε να βρούμε βελτιώσεις όχι μόνο στη γεωργία αλλά και σε βιομηχανίες που σχετίζονται με την ασφάλεια, τις επαγγελματικές καταστάσεις έκτακτης ανάγκης ή το επιχειρηματικό περιβάλλον. Μία από αυτές τις βελτιώσεις είναι η εφαρμογή μη επανδρωμένων οχημάτων σε πραγματικές παρεμβάσεις ή η ενσωμάτωσή τους σε βιομηχανικές διαδικασίες που μπορούν να ελαχιστοποιήσουν τους προσωπικούς κινδύνους, να αυξήσουν τις ικανότητες απόκρισης ή να μειώσουν το κόστος, μεταξύ άλλων οφελών.

Η διάταξη και ο αριθμός των φασματικών αισθητήρων που υπάρχουν στις πολυφασματικές κάμερες, διαφέρουν ανάλογα με το μοντέλο, την έκδοση και την εταιρεία κατασκευής. Οι πολυφασματικές κάμερες της αγοράς, συναντώνται συνήθως στις ακόλουθες διατάξεις: MS και RGB, MS και θερμικοί αισθητήρες (MS + TM) και μόνο MS αισθητήρες ή φίλτρα. Οι περισσότερες από τις κάμερες (7) του πίνακα, διαθέτουν τη διάταξη MS και RGB. Οι ADC Lite, ADC Micro, ADS Snap, HighPrecision NDVI ή NDRE, Double 4K Sensor και RedEdge-MX έχουν μόνο MS αισθητήρα ή χρησιμοποιούν φασματικά φίλτρα, ενώ μόνο οι Micro-MCA, Macaw (MCAW) και Altum έχουν διάταξη MS και θερμικούς αισθητήρες. Λαμβάνοντας υπόψη το μοντέλο και το έτος παραγωγής τους, γίνεται αντιληπτό ότι, πολλές από τις κατασκευάστριες εταιρείες, προκειμένου να κάνουν τα προϊόντα τους ανταγωνιστικά, επιχειρούν στις πρόσφατες εκδόσεις τους να επεκτείνουν το φασματικό εύρος που αυτά καταγράφουν. Για το λόγο αυτό, οι πολυφασματικές κάμερες που καταγράφουν και τη θερμική ακτινοβολία είναι λιγότερες σε αριθμό στον πίνακα, σε σχέση με τις απλές πολυφασματικές ή με αυτές, οι οποίες καταγράφουν και την ορατή ακτινοβολία (RGB).

Όσον αφορά τον αριθμό των αισθητήρων που υπάρχουν στις πολυφασματικές κάμερες, αυτός διαφέρει ανάλογα με το μοντέλο. Στην αγορά, συνήθως συναντώνται πολυφασματικές κάμερες με 1, 2, 4, 5, 6 και σπανιότερα με 12 αισθητήρες. Ο αριθμός των αισθητήρων, εξαρτάται από το σκοπό-εφαρμογή για την οποία θα χρησιμοποιηθεί η κάθε κάμερα (π.χ. γεωργία). Οι κάμερες του συγκριτικού πίνακα μπορούν να χωριστούν σε 3 κατηγορίες, με βάση τους αισθητήρες τους: 1η : 1-3 αισθητήρες, 2η : 3-6 αισθητήρες και 3η : 6-12 αισθητήρες. Οι κάμερες ADC Lite, ADC Micro, ADS Snap και High-Precision NDVI ή NDRE με 1 αισθητήρα και οι Double 4K Sensor, AGX710 και GEMS με 2 αισθητήρες, ανήκουν

στην 1 η κατηγορία. Οι Slantrange 4P και 4P+, Quad Multispectral, Macaw (MCAW) και Micro-MCA (εκδόσεις 4 αισθητήρων), οι οποίοι διαθέτουν 4 αισθητήρες και οι 6X Multispectral, Altum, Macaw (MCAW) και Micro-MCA (εκδόσεις 6 αισθητήρων) με 6 αισθητήρες, ανήκουν στην 2η κατηγορία. Στην 3η κατηγορία, ανήκουν μόνο οι Macaw (MCAW) και Micro-MCA (εκδόσεις 12 αισθητήρων) με 12 αισθητήρες ο καθένας. Από την διάκριση των καμερών στις παραπάνω επιμέρους κατηγορίες, εξάγεται το συμπέρασμα ότι οι περισσότερες πολυφασματικές κάμερες οι οποίες πωλούνται στην αγορά, έχουν διατάξεις με 4-6 αισθητήρες.

Συνεπώς, το βασικό πλεονέκτημα αξιοποίησης των αισθητήρων αυτών στους συγκεκριμένους κλάδους, είναι η δυνατότητα συλλογής πολυφασματικών δεδομένων υψηλής χωρικής ανάλυσης, τα οποία βελτιώνουν σημαντικά, την ποιότητα και την ακρίβεια των παραγόμενων αποτελεσμάτων, σε σύγκριση με αυτά των αντίστοιχων δορυφορικών δεδομένων. Η χρήση της τεχνολογίας αυτής, σε συνδυασμό με αυτή των UAVs έχει επίσης ως συνέπεια την οικονομικότερη και γρηγορότερη συλλογή των δεδομένων. Σύμφωνα με την έρευνα που πραγματοποιήθηκε, διαπιστώθηκε ότι τα συστήματα αυτά είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν σε μεγάλο εύρος εφαρμογών. Αρχικά, χρησιμοποιούνται στη γεωργία και την δασοκομία, αντικαθιστώντας άλλους δαπανηρούς και χρονοβόρους τρόπους.

Το μεγαλύτερο ποσοστό πολυφασματικών καμερών, έχει μικρό εστιακό μήκος (8- 10mm), συγκριτικά με άλλες κάμερες, δηλαδή μπορούν σε μια λήψη να καταγράψουν πολλά στοιχεία της σκηνής με μεγαλύτερο βάθος πεδίου. Αυτό επιτρέπει την καταγραφή των περισσότερων πληροφοριών οι οποίες περιέχονται σε μια σκηνή, με υψηλή ακρίβεια αποτύπωσης. Τέλος, όσον αφορά την απόσταση δειγματοληψίας εδάφους (GSD), διαπιστώνεται ότι υπάρχουν διαφοροποιήσεις μεταξύ των διάφορων μοντέλων. Αρκετές πολυφασματικές κάμερες έχουν απόσταση δειγματοληψίας εδάφους GSD 5 cm. Η βελτιωμένη απόσταση δειγματοληψίας εδάφους εμφανίζεται κυρίως στα πιο πρόσφατα μοντέλα καμερών π.χ. Sentera 6X Multispectral, Micasense Altum, Slantrange 4P και 4P+. Αυτό αποδεικνύει ότι, τα επόμενα χρόνια η απόσταση δειγματοληψίας εδάφους (GSD) στα νέα μοντέλα πολυφασματικών αισθητήρων, αναμένεται να βελτιωθεί σημαντικά.

Συμπερασματικά, micro πολυφασματικές κάμερες σε συνδυασμό με UAVs, χρησιμοποιούνται εντατικά σε διάφορα επιστημονικά πεδία, με σκοπό την πραγματοποίηση μετρήσεων και μελετών. Παράλληλα με την εξέλιξη και τη βελτίωση των UAVs, εξελίσσονται και δημιουργούνται νέοι αισθητήρες μικρών διαστάσεων, οι οποίοι

λόγω του μικρού τους βάρους μπορούν να τοποθετηθούν σε αυτές τις πλατφόρμες. Ωστόσο, αυτό που γίνεται κατανοητό, μέσα από την έρευνα αυτή είναι ότι, οι πολυφασματικές κάμερες για UAVs βρίσκονται ακόμα σε πρώιμο στάδιο ανάπτυξης, γεγονός που αποδεικνύεται και από την περιορισμένη, συγκριτικά με άλλες κάμερες (RGB, θερμικές κ.α.), αξιοποίηση τους σε επιστημονικές μελέτες. Παρά τις όποιες τεχνολογικές εξελίξεις τους, οι αισθητήρες αυτοί, εξακολουθούν να μειονεκτούν σημαντικά σε ορισμένα χαρακτηριστικά τους, έναντι άλλων. Η βελτίωση των χαρακτηριστικών αυτών, θα μετατρέψει τις πολυφασματικές κάμερες σε συνδυασμό με τα UAVs, σε κύρια εργαλεία μετρήσεων και αποτυπώσεων της γήινης επιφάνειας και των αντικειμένων της, αντικαθιστώντας σε σημαντικό βαθμό, τις παραδοσιακές μεθόδους αποτύπωσης και μελετών, μέσω δορυφορικών πολυφασματικών εικόνων.

### **3.4. Φασματοραδιόμετρο PSR+3500 και χαρακτηριστικά**

Τα φασματοραδιόμετρα ορίζονται ως εργαλεία μέτρησης φωτός που είναι ικανά να μετρήσουν τόσο το μήκος κύματος όσο και το πλάτος του εκπεμπόμενου από μία πηγή φωτός. Χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της σχετικής φασματικής ακτινοβολίας σε δεδομένο εύρος μήκους κύματος. Λειτουργούν στο πεδίο, ή σε εναέριες ή διαστημικές πλατφόρμες και παρέχουν φασματικές τιμές αντανάκλασης χαρακτηριστικών που παρουσιάζουν ενδιαφέρον, μέσα στο οπτικό τους πεδίο στο έδαφος. Όσον αφορά στην ακρίβειά τους, εάν είναι καλά βαθμονομημένα, μπορεί απλά να συναχθεί το συμπέρασμα ότι είναι από τα πιο ακριβή εργαλεία μέτρησης φωτός που χρησιμοποιούνται συνήθως. Στη διατριβή αυτή έχει επιλεγεί για τηλεπισκόπηση το φορητό φασματοραδιόμετρο πεδίου υψηλής ανάλυσης PSR+ 3500.

Ο όρος φασματοραδιόμετρο σχετίζεται συχνά με τη ραδιομετρία. Η ραδιομετρία είναι η μελέτη της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Το φως είναι μια μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και επομένως περιλαμβάνεται στο επιστημονικό πεδίο της ραδιομετρίας. Τόσο η ραδιομετρία όσο και η φασματοραδιομετρία χρησιμοποιούνται από τους αστρονόμους για τη μελέτη αντικειμένων στο διάστημα. Η φασματοραδιομετρία μπορεί

να βοηθήσει τους επιστήμονες να μετρήσουν τα ορατά κύματα φωτός τα οποία, με τη σειρά τους, βοηθούν στον προσδιορισμό παραγόντων όπως η θερμοκρασία με βάση το χρώμα του φωτός.

Εκτός από τη χρήση του στην αστρονομία, το φασματοραδιόμετρο είναι επίσης χρήσιμο για τη μέτρηση της ποιότητας του φωτός από κοινούς, οικιακούς λαμπτήρες. Ένας κατασκευαστής πρέπει να δοκιμάσει τους λαμπτήρες και να τους επισημάνει ανάλογα με την ισχύ που παράγουν και τους τύπους φωτός που εκπέμπουν. Διαφορετικοί λαμπτήρες καλύπτουν διαφορετικές περιοχές του χρωματικού φάσματος και μπορούν να εκπέμπουν φως που φαίνεται ζεστό ή ψυχρό στο χρώμα. Αυτό που μετράει η συσκευή όταν δοκιμάζει τους λαμπτήρες είναι πόση ισχύς ανιχνεύεται σε κάθε χρώμα ή μήκος κύματος που προέρχεται από το φως. Βλέπουμε όλα τα χρώματα αναμειγμένα, αλλά το φασματοραδιόμετρο μπορεί να τα σπάσει σε μεμονωμένες χρωματικές ζώνες για πιο ακριβή ανάγνωση.

Οι λαμπτήρες δεν είναι τα μόνα αντικείμενα στα οποία λειτουργεί το φασματοραδιόμετρο. Βοηθά επίσης κατά τη βαθμονόμηση οθονών υπολογιστών ή οθονών τηλεόρασης. Συγκεκριμένοι τύποι οθονών, όπως μια οθόνη CRT ή μία οθόνη LCD, συχνά απαιτούν βαθμονόμηση για να βρεί ο χρήστης την σωστή ισορροπία των χρωμάτων με τις ρυθμίσεις. Για να διασφαλιστεί ότι οι οθόνες εκπέμπουν τη σωστή ποσότητα χρώματος είτε μεμονωμένα είτε σε σχέση μεταξύ τους, τα φασματοραδιόμετρα λαμβάνουν μια ανάγνωση αυτού που αναφέρεται ως χρώμα CIE.

Στη συνέχεια, οι έγχρωμες ενδείξεις CIE συγκρίνονται με την ιδανική ένδειξη της τηλεόρασης. Μόλις γίνει αυτή η σύγκριση, είναι απλό να καθοριστούν οι τιμές χρώματος. Μετά τη ρύθμιση, μπορεί να γίνει μια άλλη μέτρηση για να διασφαλιστεί ότι το χρώμα είναι ισορροπημένο και στην επιθυμητή ρύθμιση. Εάν όχι, η νέα ανάγνωση μπορεί να επισημάνει ποιες προσαρμογές εξακολουθούν να απαιτούνται.

### 3.4.1. Η επισκόπηση και οι προδιαγραφές του PSR+3500

Το PSR+3500 είναι ένα γεωργικό φασματοραδιόμετρο εγγύς υπέρυθρου φάσματος (NIR). Επιτρέπει στον χρήστη να ελέγχει δορυφορικά δεδομένα ή να αναλύει hyperspectral δεδομένα, να συμμετέχει σε μελέτες βλάστησης, να διεξάγει έρευνες του φυλλώματος, να μελετά την υγεία των καλλιεργειών και την κλιματική αλλαγή η ακόμα και να αναλύει το έδαφος. Ακολουθεί πίνακας που περιγράφει λεπτομερώς τις προδιαγραφές του και εικόνα που περιγράφει το όργανο.

| PSR+ 3500 Specifications                                 |                                                                                                                                                                        |
|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Spectral Range                                           | 350-2500nm                                                                                                                                                             |
| Spectral Resolution—FWHM<br>(Full Width at Half Maximum) | 2.8nm @ 700nm<br>8nm @ 1500nm<br>6nm @ 2100nm                                                                                                                          |
| SI Detector                                              | 512 element SI photodiode array (350-1000nm)                                                                                                                           |
| InGaAs Detectors (cooled)                                | 256 element extended wavelength photodiode array (970-1910nm)<br>256 element extended wavelength photodiode array 1900-2500nm                                          |
| FOV Options (direct mount)                               | 4°, 8°, or 14° lens, 25° fiber optic, diffuser, integrating sphere                                                                                                     |
| Fiber Mount Options                                      | 1, 2, 3, 4, 5, 8 and 10° Lenses                                                                                                                                        |
| Noise Equivalence Radiance<br>(4° lens)                  | $0.5 \times 10^{-9}$ W/cm <sup>2</sup> /nm/sr @400nm<br>$0.8 \times 10^{-9}$ W/cm <sup>2</sup> /nm/sr @1500nm<br>$1.0 \times 10^{-9}$ W/cm <sup>2</sup> /nm/sr @2100nm |
| Max Radiance @ 700nm<br>(4° lens)                        | $1.5 \times 10^{-4}$ W/cm <sup>2</sup> /nm/sr                                                                                                                          |
| Minimum Scan Speed                                       | 100 milliseconds                                                                                                                                                       |
| Wavelength Reproducibility                               | 0.1nm                                                                                                                                                                  |
| Wavelength Accuracy                                      | ±0.5 bandwidth                                                                                                                                                         |
| Communications Interface                                 | USB or Class I Bluetooth— laptop or PDA compatible                                                                                                                     |
| Size                                                     | 8.5" x 11.5" x 3.25"                                                                                                                                                   |
| Tripod Mounting                                          | 2 each ¼-20 mounting holes provided                                                                                                                                    |
| Weight                                                   | 7.6 lbs (3.5 kg)                                                                                                                                                       |
| Batteries                                                | Lithium ion; 7.4V; 7200mAh; 400g/battery                                                                                                                               |
| Battery Operation                                        | Removable battery; typically up to 4 hour operation/battery (2 provided)                                                                                               |
| On Board Memory                                          | Storage of 1000 spectra                                                                                                                                                |

Εικόνα 5: Προδιαγραφές του PSR+ 3500



**Εικόνα 6: PSR+ 3500**

## Camera

|                           |                                                                                                                                                                                        |
|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sensors                   | Six 1/2.9" CMOS, including one RGB sensor for visible light imaging and five monochrome sensors for multispectral imaging.<br>Each Sensor: Effective pixels 2.08 MP (2.12 MP in total) |
| Filters                   | Blue (B): 450 nm $\pm$ 16 nm; Green (G): 560 nm $\pm$ 16 nm; Red (R): 650 nm $\pm$ 16 nm; Red edge (RE): 730 nm $\pm$ 16 nm; Near-infrared (NIR): 840 nm $\pm$ 26 nm                   |
| Lenses                    | FOV (Field of View): 62.7°<br>Focal Length: 5.74 mm (35 mm format equivalent: 40 mm), autofocus set at $\infty$<br>Aperture: f/2.2                                                     |
| RGB Sensor ISO Range      | 200 - 800                                                                                                                                                                              |
| Monochrome Sensor Gain    | 1 - 8x                                                                                                                                                                                 |
| Electronic Global Shutter | 1/100 - 1/20000 s (visible light imaging); 1/100 - 1/10000 s (multispectral imaging)                                                                                                   |
| Max Image Size            | 1600x1300 (4:3,25)                                                                                                                                                                     |
| Photo Format              | JPEG (visible light imaging) + TIFF (multispectral imaging)                                                                                                                            |
| Supported File Systems    | FAT32 (≤ 32 GB); exFAT (> 32 GB)                                                                                                                                                       |
| Supported SD Cards        | microSD with a minimum write speed of 15 MB/s. Max Capacity: 128 GB. Class 10 or UHS-1 rating required                                                                                 |
| Operating Temperature     | 0° to 40° C (32° to 104° F)                                                                                                                                                            |

**Εικόνα 7: Στοιχεία κάμερας PSR+ 3500**



## Κεφάλαιο 4ο : Ερευνητικό μέρος

### 4.1. Μεθοδολογία και υλοποίηση

Το πρακτικό τμήμα του πειράματος έλαβε χώρα στον προαύλιο χώρο (παρκινγκ και περιβάλλον χώρος κτηρίου Λαμπαδαρίου) της σχολής ATM, και η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι η εξής :

- Πτήση drone ημέρα χαμηλής νέφωσης και σχετικά πλήρους ηλιοφάνειας με λήψη εικόνων για τη συλλογή πολυφασματικών δεδομένων για την επιλεγμένη περιοχή μελέτης(ύψος πτήσης:100m , επικάλυψη εικόνων 80% , χωρική ανάλυση:5cm). Οι επικρατούσες συνθήκες ηλιοφάνειας και ατμοσφαιρικής διαυγείας την ημέρα της διεξαγωγής του πρακτικού τμήματος του πειράματος συνέβαλαν σε μια μεγαλύτερη αξιοπιστία που σε αντίθετη περίπτωση θα μπορούσε να οδηγήσει σε χονδροειδή σφάλματα.
- Παράλληλη καταγραφή φασματικής υπογραφής και συντεταγμένων αντικειμένων του χώρου μέσω επίγειων μετρήσεων με τη χρήση φασματοραδιόμετρου και gps- rtk.

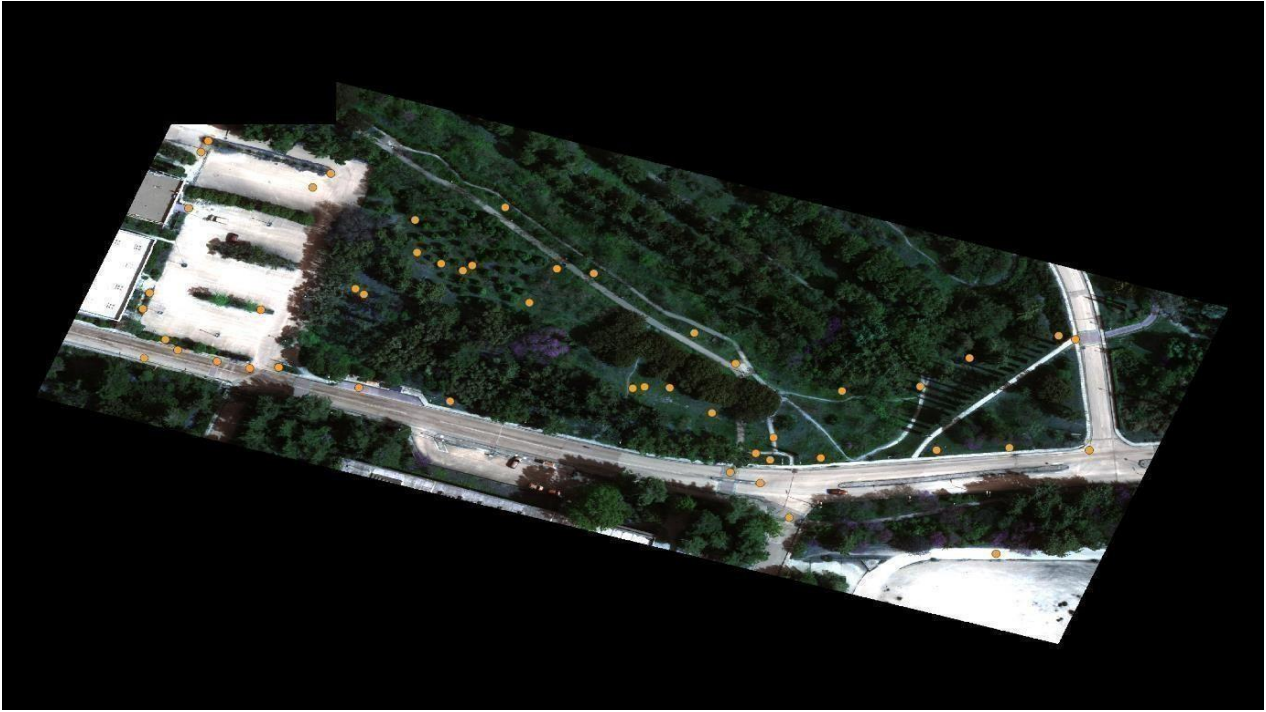
Η εξαγωγή φασματικών τιμών στα σημεία ελέγχου έγινε με χρήση του λογισμικού Darwin SP. Συγκεκριμένα, εισήχθησε στο λογισμικό αρχείο με τον μέσο όρο κάποιων καναλιών του φασματοραδιόμετρου, οι οποίοι μέσοι όροι αντιστοιχούν στα μήκη κύματος που περιλαμβάνει το κάθε κανάλι του drone. Αυτή η απλή αντιστοίχιση έδωσε τις ψηφιακές τιμές ανακλαστικότητας ανα κανάλι για τα σημεία που αντιστοιχούν στις μετρήσεις που έδωσε το φασματοραδιόμετρο.

Το αμέσως επόμενο στάδιο του πειράματος περιελάμβανε την δημιουργία μωσαϊκού μέσω των λογισμικών rix4d, Agisoft PhotoScan και DJI terra. Δημιουργήθηκαν ορθομωσαϊκά και με τα τρία προαναφερθέντα όμως για λόγους καλύτερης λειτουργικότητας για τα αποτελέσματα χρησιμοποιήθηκε αυτό του rix4d λόγω καλύτερης ποσοτικής και ποιοτικής ακρίβειας (τόνοι φωτεινότητας ).

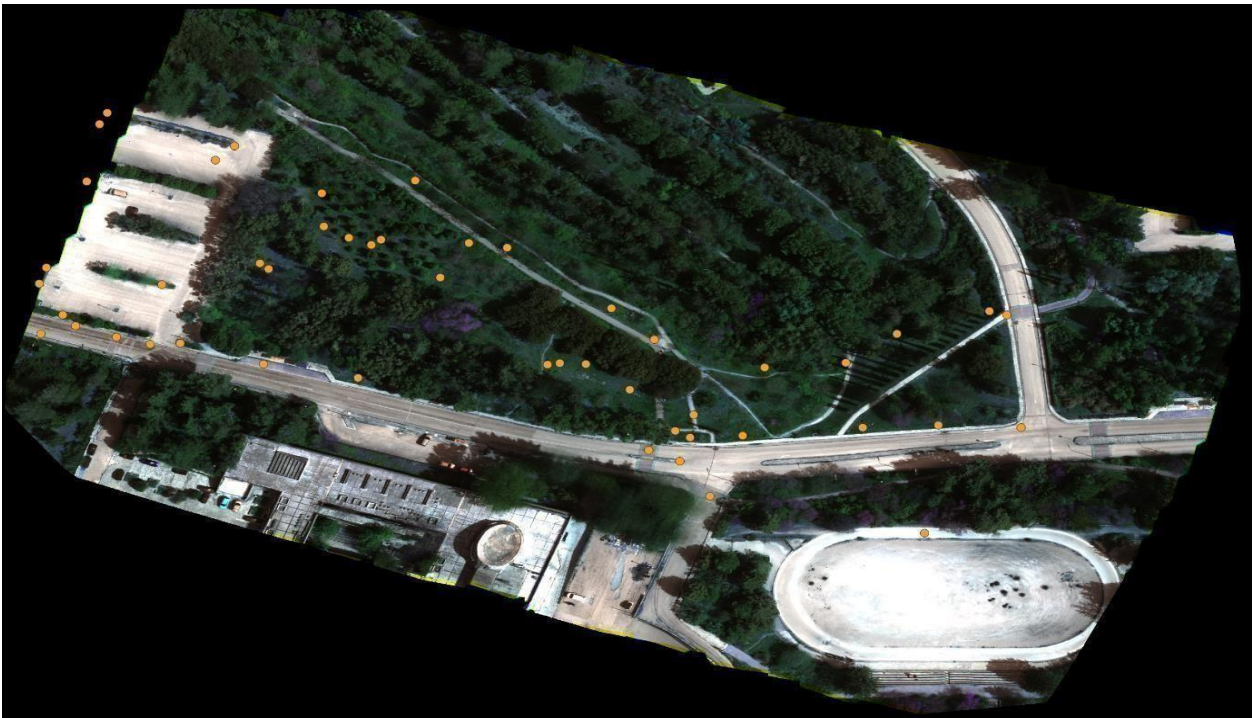
Σε ότι αφορά τη δημιουργία του και ανάλυση μωσαϊκού επικράτησε όπως προαναφέρθηκε το λογισμικό rix4d και η διαδικασία που ακολούθησε χωρίστηκε στα παρακάτω 12 βήματα τα οποία θα αναφερθούν και θα σχολιαστούν και πιο λεπτομερώς:

- ανέβασμα αρχικών εικόνων (primar images) , όπως αυτές λήφθηκαν από την κάμερα του UAV.
- κατάλληλη επεξεργασία τους μέσω αμοιβαίων σκοπεύσεων σε κοινά τους σημεία για την συνόρθωση της αυτόματης τοποθέτησης τους σε μορφή μωσαϊκού.
- εξαγωγή του μωσαϊκού σε μορφή tif .
- άνοιγμα του μωσαϊκού μέσω QGIS με παράλληλη εισαγωγή των επίγεια σκοπευμένων σημείων για μελέτη.
- εξαγωγή ψηφιακής τιμής (radiance value) μέσω του QGIS για κάθε μπάντα (R, G, B, NIR,RED edge) από το μωσαϊκό.
- αναγωγή των παραπάνω radiance values σε reflectance values, με τη μέθοδο της σκόπευσης μιας λευκής επιφάνειας (λαμπερδιανή επιφάνεια) στην περιοχή μελέτης
- αναγωγή των radiance values των επιλεγμένων σημείων ενδιαφέροντος σε reflectance values για κάθε κανάλι μέσω της παραπάνω θεώρησης.
- οργάνωση τόσο των reflectance values/κανάλι των σημείων που μετρήθηκαν μέσω της κάμερας του Uav όσο και των ίδιων που μετρήθηκαν μέσω φασματοραδιόμετρου σε πίνακες .
- Υπολογισμός του δείκτη NDVI και για τις δύο μεθόδους συλλογής φασματικής υπογραφής αντικειμένων.
- Σύγκριση των αντίστοιχων τιμών ανακλαστικότητας ανά κανάλι, των σημείων ενδιαφέροντος μέσω του μοντέλου regression .
- Σύγκριση των τιμών του NDVI μεταξύ μωσαϊκού φασματοραδιόμετρου για κάθε ένα σημείο της επιλογής μας .
- Εξαγωγή αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω. Αρχικά παραθέτονται εικόνες – αποσπάσματα από τα ορθομωσαϊκά που δημιουργήθηκαν στα λογισμικά φωτογραμμετρίας PIX4D και PhotoScan για την περιοχή μαζί με τα σημεία μελέτης.



*Εικόνα 8: Απόσπασμα Μωσαϊκού από DJI terra*



*Εικόνα 9: Απόσπασμα Μωσαϊκού από rix4d capture*

## 4.2.Αποτελέσματα - σχολιασμός

Ακολουθεί μια συγκριτική ανάλυση σχετικά με τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης μελέτης σε μορφή πίνακα η οποία θα παρουσιαστεί και θα αναλυθεί παρακάτω. Οι στήλες του παρακάτω πίνακα αφορούν τις ψηφιακές τιμές ανακλαστικότητας ανά κανάλι και οι γραμμές τις ψηφιακές τιμές ανακλαστικότητας που αντιστοιχούν στις μετρήσεις του drone και του φασματοραδιόμετρου.

| fid | band 1  | band 2   | band 3 | band 4 | band 5 |  |    | 450 nm ±<br>16 nm<br>median | 560 nm ±<br>16 nm<br>median | 650 nm ±<br>16 nm<br>median | 730 nm ±<br>16 nm<br>median | 840 nm ±<br>26 nm<br>median |
|-----|---------|----------|--------|--------|--------|--|----|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 7   | 0.1039  | 0.1422   | 0.1052 | 0.3807 | 0.5414 |  | 7  | 0.0376                      | 0.0857                      | 0.0716                      | 0.3028                      | 0.4202                      |
| 9   | 0.0901  | 0.1140   | 0.134  | 0.2154 | 0.2873 |  | 9  | 0.0483                      | 0.0905                      | 0.1358                      | 0.1824                      | 0.2407                      |
| 10  | 0.0698  | 0.1054   | 0.072  | 0.2538 | 0.3862 |  | 10 | 0.036                       | 0.1070                      | 0.0677                      | 0.3227                      | 0.4208                      |
| 12  | 0.0599  | 0.0902   | 0.0456 | 0.3730 | 0.6566 |  | 12 | 0.0262                      | 0.0734                      | 0.0414                      | 0.3949                      | 0.672                       |
| 13  | 0.0669  | 0.1188   | 0.0782 | 0.3167 | 0.4820 |  | 13 | 0.0372                      | 0.0959                      | 0.0712                      | 0.3206                      | 0.4697                      |
| 16  | 0.2970  | 0.3163   | 0.3150 | 0.3806 | 0.4341 |  | 16 | 0.1994                      | 0.2755                      | 0.3108                      | 0.3387                      | 0.3673                      |
| 17  | 0.1659  | 0.1964   | 0.2201 | 0.304  | 0.3928 |  | 17 | 0.1498                      | 0.2386                      | 0.2960                      | 0.3350                      | 0.3624                      |
| 18  | 0.2076  | 0.1951   | 0.2070 | 0.2337 | 0.2624 |  | 18 | 0.1548                      | 0.1871                      | 0.2257                      | 0.2491                      | 0.2589                      |
| 19  | 0.2562  | 0.2525   | 0.2490 | 0.2666 | 0.3018 |  | 19 | 0.1310                      | 0.1773                      | 0.2029                      | 0.2212                      | 0.2458                      |
| 20  | 0.10412 | 0.10796  | 0.0998 | 0.3851 | 0.5953 |  | 20 | 0.0112                      | 0.0324                      | 0.0230                      | 0.2043                      | 0.3707                      |
| 21  | 0.0741  | 0.1118   | 0.0865 | 0.2754 | 0.3904 |  | 21 | 0.0332                      | 0.0754                      | 0.0657                      | 0.2197                      | 0.2930                      |
| 22  | 0.0594  | 0.0889   | 0.0787 | 0.2418 | 0.3796 |  | 22 | 0.0276                      | 0.070                       | 0.0831                      | 0.2180                      | 0.333                       |
| 23  | 0.1603  | 0.1509   | 0.1595 | 0.1662 | 0.1775 |  | 23 | 0.0790                      | 0.1037                      | 0.1299                      | 0.1384                      | 0.1366                      |
| 24  | 0.4203  | 0.4853   | 0.5315 | 0.5774 | 0.624  |  | 24 | 0.2557                      | 0.3584                      | 0.4145                      | 0.4549                      | 0.4839                      |
| 25  | 0.2392  | 0.24127  | 0.2431 | 0.2878 | 0.3278 |  | 25 | 0.1670                      | 0.21671                     | 0.261708                    | 0.286304                    | 0.3019                      |
| 26  | 0.4555  | 0.4517   | 0.441  | 0.4780 | 0.5195 |  | 26 | 0.2958                      | 0.4017                      | 0.4486                      | 0.4722                      | 0.4946                      |
| 28  | 0.0354  | 0.0487   | 0.0321 | 0.1734 | 0.288  |  | 28 | 0.0285                      | 0.0595                      | 0.0533                      | 0.2371                      | 0.3746                      |
| 29  | 0.0487  | 0.0668   | 0.0432 | 0.2258 | 0.3658 |  | 29 | 0.0136                      | 0.0446                      | 0.0248                      | 0.23367                     | 0.3742                      |
| 31  | 0.0673  | 0.0982   | 0.0890 | 0.2378 | 0.3411 |  | 31 | 0.0402                      | 0.0771                      | 0.0993                      | 0.1684                      | 0.2230                      |
| 32  | 0.0513  | 0.084579 | 0.0538 | 0.2659 | 0.4357 |  | 32 | 0.0414                      | 0.0964                      | 0.1162                      | 0.2290                      | 0.2965                      |
| 33  | 0.0691  | 0.1166   | 0.0879 | 0.3114 | 0.4589 |  | 33 | 0.0280                      | 0.0929                      | 0.0501                      | 0.332                       | 0.4815                      |
| 35  | 0.0741  | 0.11369  | 0.0916 | 0.2818 | 0.3884 |  | 35 | 0.0315                      | 0.0782                      | 0.0637                      | 0.2212                      | 0.2946                      |

|    |         |        |        |        |        |  |    |         |          |        |          |        |
|----|---------|--------|--------|--------|--------|--|----|---------|----------|--------|----------|--------|
| 36 | 0.0563  | 0.1012 | 0.0610 | 0.3185 | 0.4722 |  | 36 | 0.0136  | 0.0734   | 0.0441 | 0.3528   | 0.5005 |
| 37 | 0.0360  | 0.0654 | 0.0314 | 0.2401 | 0.3845 |  | 37 | 0.0092  | 0.0385   | 0.0185 | 0.186379 | 0.28   |
| 38 | 0.0542  | 0.0938 | 0.0508 | 0.3615 | 0.5495 |  | 38 | 0.0149  | 0.0456   | 0.023  | 0.2101   | 0.3064 |
| 40 | 0.42875 | 0.3907 | 0.3717 | 0.3837 | 0.4167 |  | 40 | 0.2382  | 0.2960   | 0.3266 | 0.3482   | 0.3770 |
| 42 | 0.2055  | 0.1814 | 0.1659 | 0.1723 | 0.1814 |  | 42 | 0.1628  | 0.1997   | 0.2182 | 0.2285   | 0.2396 |
| 43 | 0.2092  | 0.1863 | 0.1936 | 0.2126 | 0.2230 |  | 43 | 0.1337  | 0.1603   | 0.1860 | 0.2024   | 0.2110 |
| 44 | 0.2544  | 0.2300 | 0.2223 | 0.2306 | 0.2390 |  | 44 | 0.1601  | 0.1948   | 0.2118 | 0.2232   | 0.2338 |
| 45 | 0.3122  | 0.2987 | 0.2913 | 0.3053 | 0.3249 |  | 45 | 0.1836  | 0.2439   | 0.2720 | 0.2885   | 0.3084 |
| 47 | 0.2656  | 0.2609 | 0.3134 | 0.3455 | 0.3641 |  | 47 | 0.1561  | 0.2013   | 0.2868 | 0.3176   | 0.3219 |
| 48 | 0.0888  | 0.1177 | 0.1298 | 0.2172 | 0.2886 |  | 48 | 0.0459  | 0.0954   | 0.1193 | 0.1995   | 0.2531 |
| 49 | 0.2835  | 0.3313 | 0.3627 | 0.4096 | 0.4509 |  | 49 | 0.1410  | 0.2357   | 0.3065 | 0.3516   | 0.3809 |
| 50 | 0.0684  | 0.1067 | 0.0821 | 0.2992 | 0.4782 |  | 50 | 0.02679 | 0.078461 | 0.0537 | 0.2550   | 0.3616 |

**Πίνακας 1:** Φασματικές τιμές ανακλαστικότητας

Στον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε τις τιμές της ανακλαστικότητας του pixel στα σημεία ενδιαφέροντος της μελέτης που προέκυψαν και από τους δύο τρόπους συλλογής της φασματικής υπογραφής των αντικειμένων. Πιο συγκεκριμένα, στη πρώτη στήλη επιδεικνύεται το id του κάθε σημείου μελέτης, ενώ στις υπόλοιπες η ψηφιακή τιμή ανακλαστικότητας ανά μπάντα blue, green, red, red edge και nir.

Σε ότι αφορά το τμήμα του πίνακα που παρουσιάζει τα αποτελέσματα που προέκυψαν κατά τη χρήση του φασματοραδιόμετρου χρήσιμο είναι να αναφερθεί πως καθώς ο συγκεκριμένος διαθέτει έναν υπερφασματικό φακό δηλαδή ανιχνεύει ένα αρκετά ευρύτερο φάσμα φασματικών ζωνών, τα όρια των τιμών ανά μπάντα του περιορίστηκαν στα αντίστοιχα όρια της πολυφασματικής κάμερας που φέρει το UAV. Έτσι λοιπόν για παράδειγμα στο Band 1 του φασματοραδιόμετρου και για κάθε σημείο μελέτης συλλέχθηκαν οι ψηφιακές τιμές ανακλαστικότητας τους στο φάσμα των 434 nm-466nm, έπειτα εξήχθη η median price από τις συγκεκριμένες τιμές και το αποτέλεσμα είναι αυτό που επιδεικνύεται σε καθένα από τα παραπάνω.

Σε ότι αφορά τη διαδικασία σύγκρισης των ψηφιακών τιμών ή digital prices, σημαντικό είναι να αναφερθεί πως για τη σύγκριση τους χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της ανάλυσης γραμμικής παλινδρόμησης η αλλιώς linear regression analysis για τον προσδιορισμό του  $R^2$ .

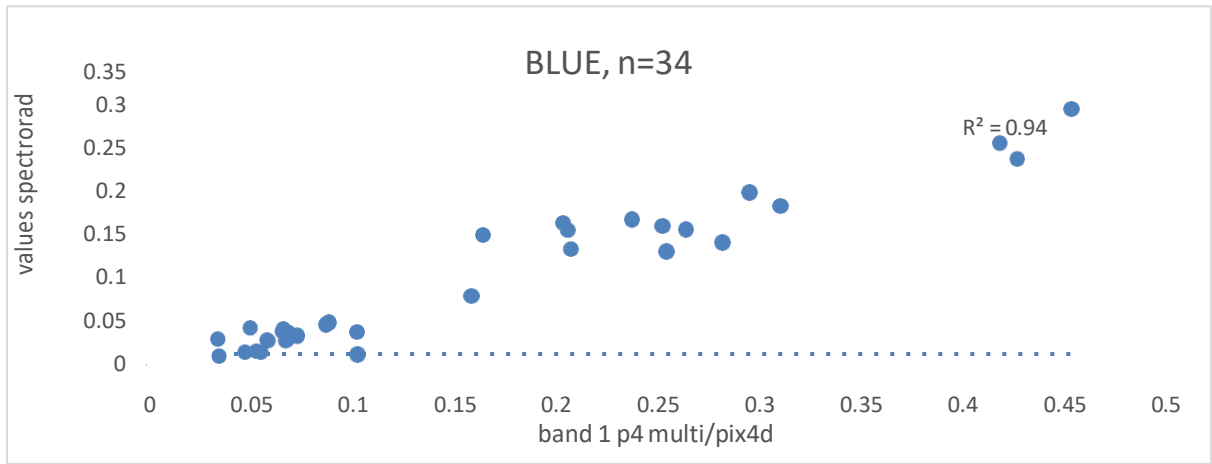
Η συγκεκριμένη μέθοδος υπολογίζει το ποσοστό διακύμανσης της εξαρτημένης μεταβλητής από την ανεξάρτητη μεταβλητή δηλαδή πιο απλά το αποτέλεσμα R-squared ή  $R^2$  δείχνει το πόσο καλά ταιριάζουν-συσχετίζονται τα δεδομένα στο μοντέλο παλινδρόμησης ή οι εξαρτημένες με τις ανεξάρτητες μεταβλητές. Το αποτέλεσμα παρουσιάζεται παρακάτω σε μορφή διαγράμματος.

Έτσι λοιπόν και για κάθε band πραγματοποιήθηκε ανάλυση γραμμικής παλινδρόμησης και εξήχθη διάγραμμα συσχέτισεως με τις τιμές του διαγράμματος κατά τον άξονα x (dependent variables) να είναι οι τιμές που προέκυψαν από την συλλογή τιμών ανακλαστικότητας μέσω του raster στο

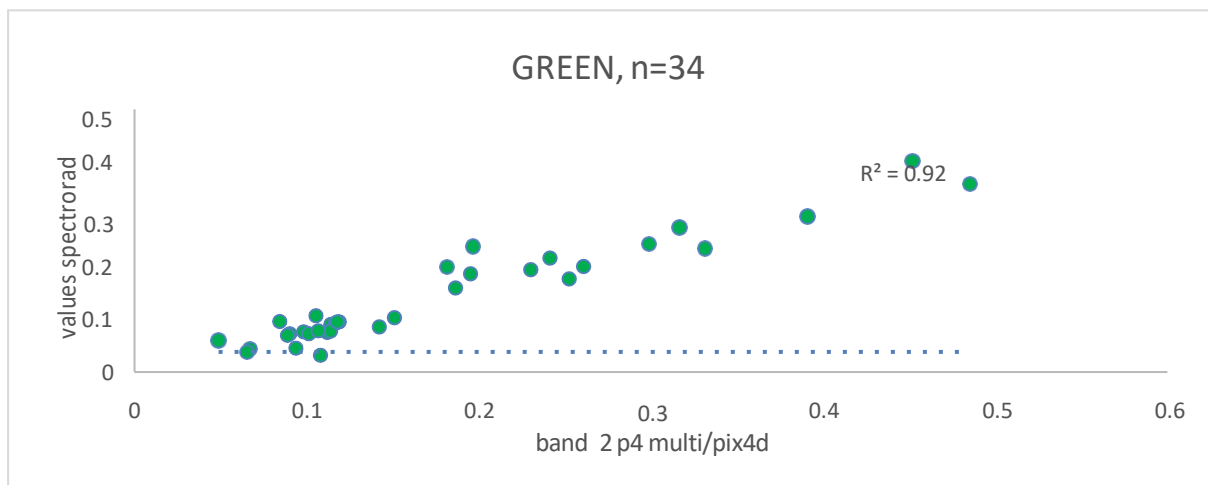
pix4d, και στον  $y$  (independent) οι αντίστοιχες από το φασματοραδιόμετρο.

Η επιλογή των dependent variables να είναι αυτές από το raster του pix4d έγινε με την σκοπιμότητα του ότι το φασματοραδιόμετρο ως υπερφασματικός φακός αρκετά υψηλότερης ακρίβειας όπως φαίνεται και από τα τεχνικά του χαρακτηριστικά έχει πολύ καλύτερη προσέγγιση στην "αληθινή" τιμή ανακλαστικότητας επιφάνειας από ότι τον πολυφασματικό φακό του UAV, επομένως και πιο απλά η μέθοδος του linear regression φανερώνει το ποσοστό συσχέτισης των ψηφιακών τιμών ανακλαστικότητας ανα κανάλι του UAV (p4 multi) με τις τιμές του φασματοραδιομέτρου (PSR+ 3500). Τα αποτελέσματα ανά μπάντα θα παρουσιαστούν παρακάτω σε μορφή διαγράμματος και θα εξηγηθούν, για τις τιμές των σημείων στα ορθομωσαϊκά που έδωσαν τα λογισμικά pix4d και dji terra.

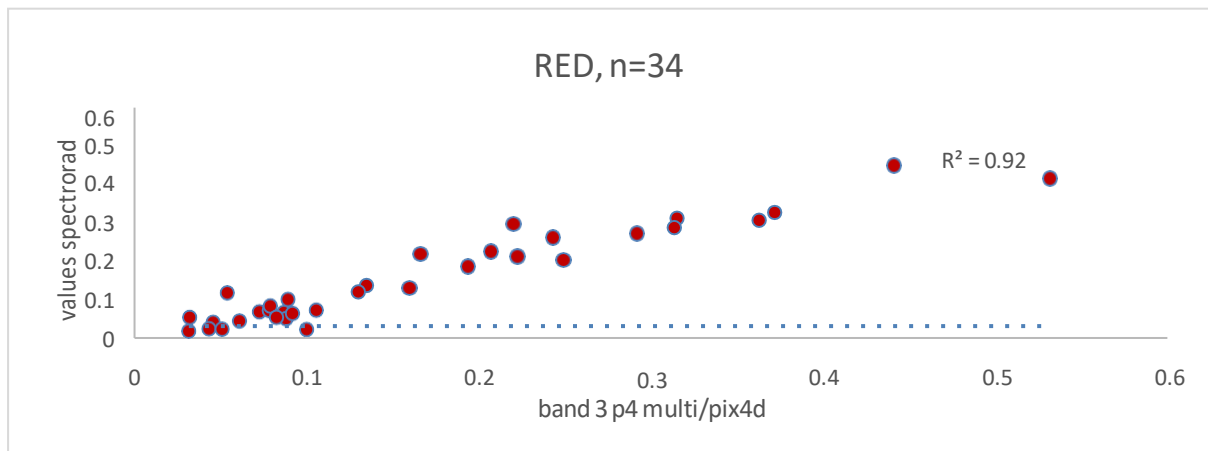




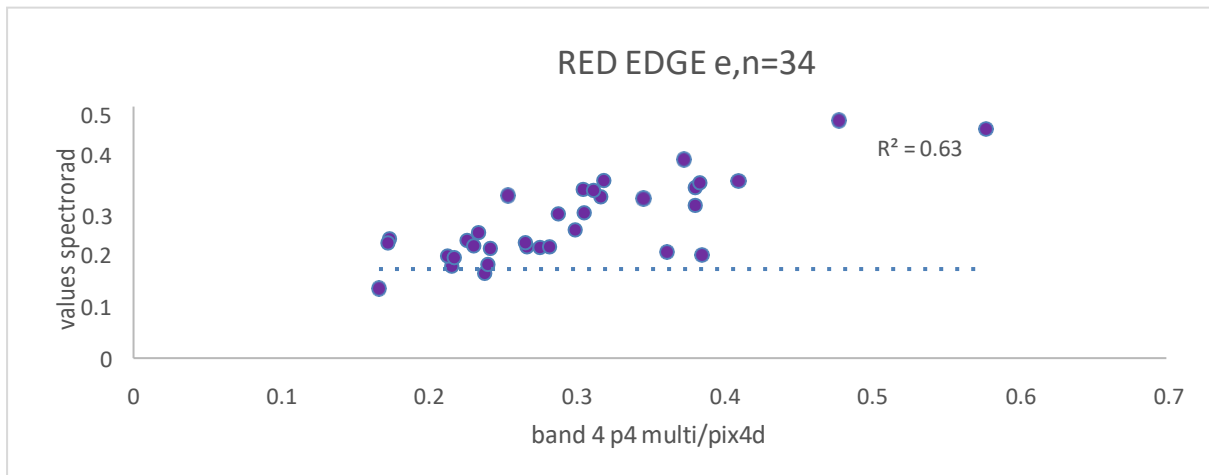
**Διάγραμμα 1:** Παλινδρόμηση για κανάλι BLUE PIX4D



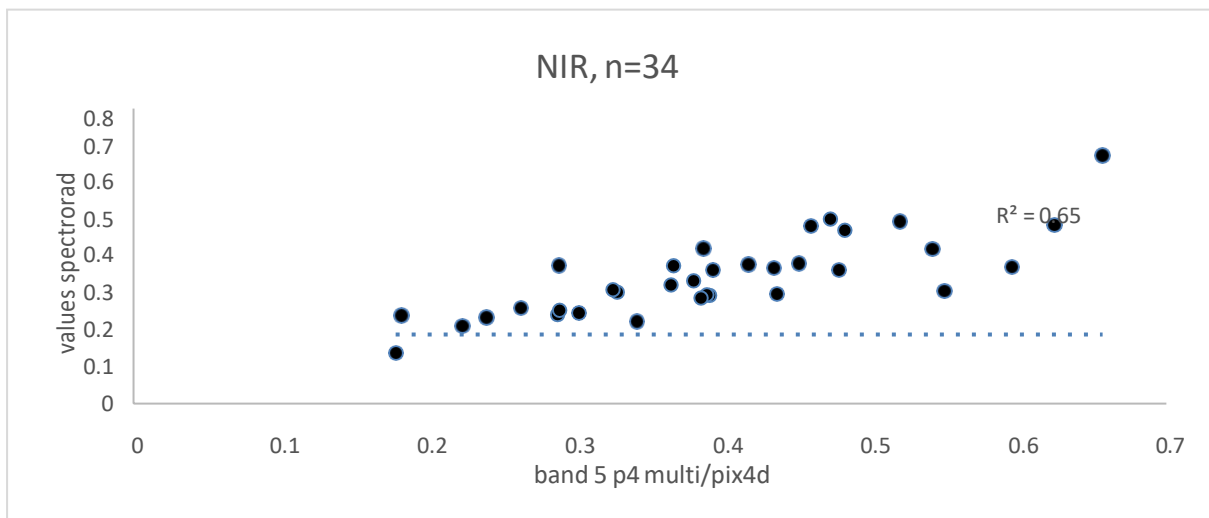
**Διάγραμμα 2:** Παλινδρόμηση για κανάλι GREEN PIX4D



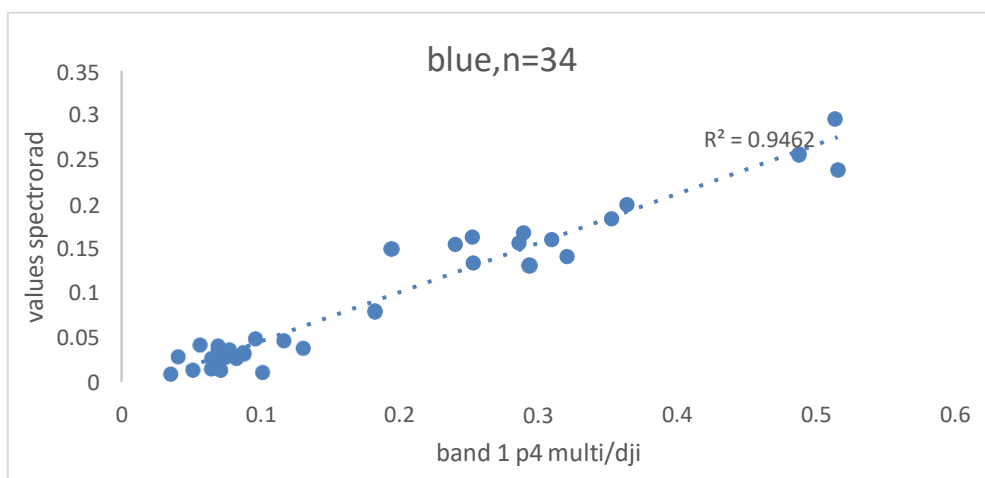
**Διάγραμμα 3:** Παλινδρόμηση για κανάλι RED PIX4D



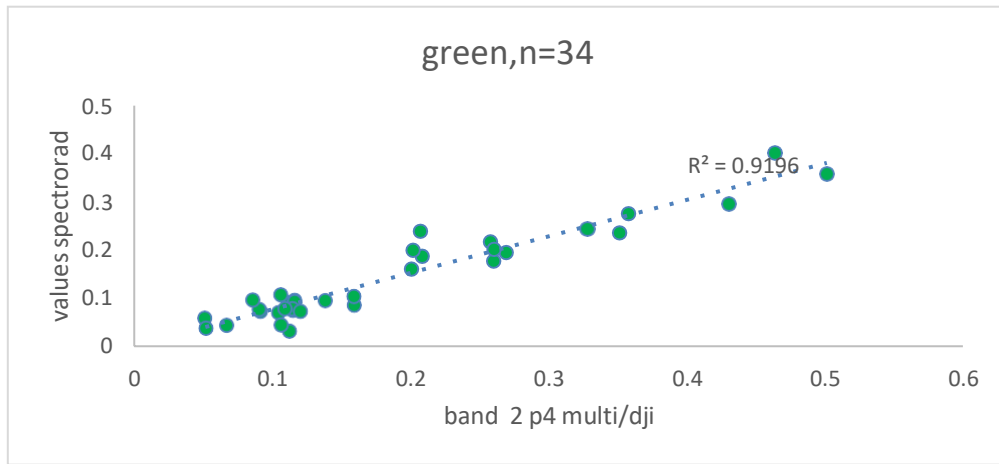
**Διάγραμμα 4:** Παλινδρόμηση για κανάλι RED EDGE PIX4D



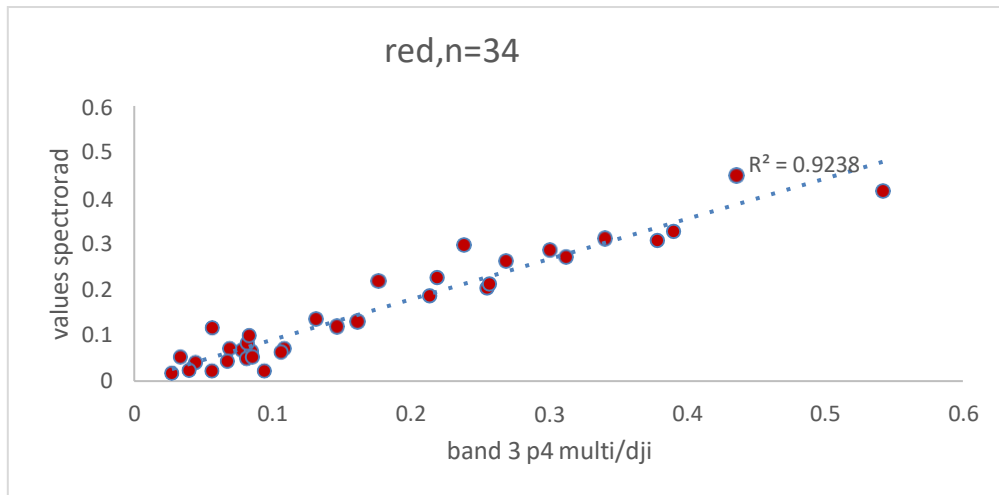
**Διάγραμμα 5:** Παλινδρόμηση για κανάλι NIR PIX4D



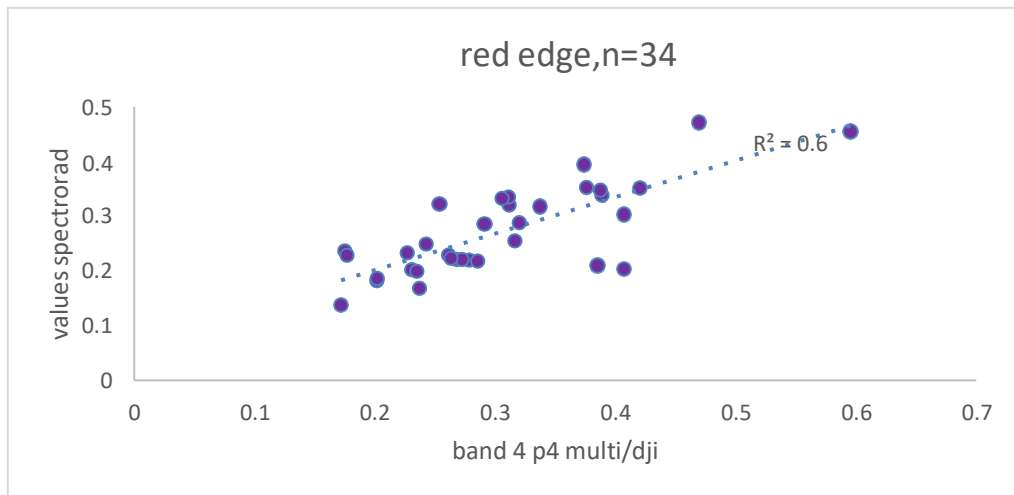
**Διάγραμμα 6:** Παλινδρόμηση για κανάλι BLUE DJI TERRA



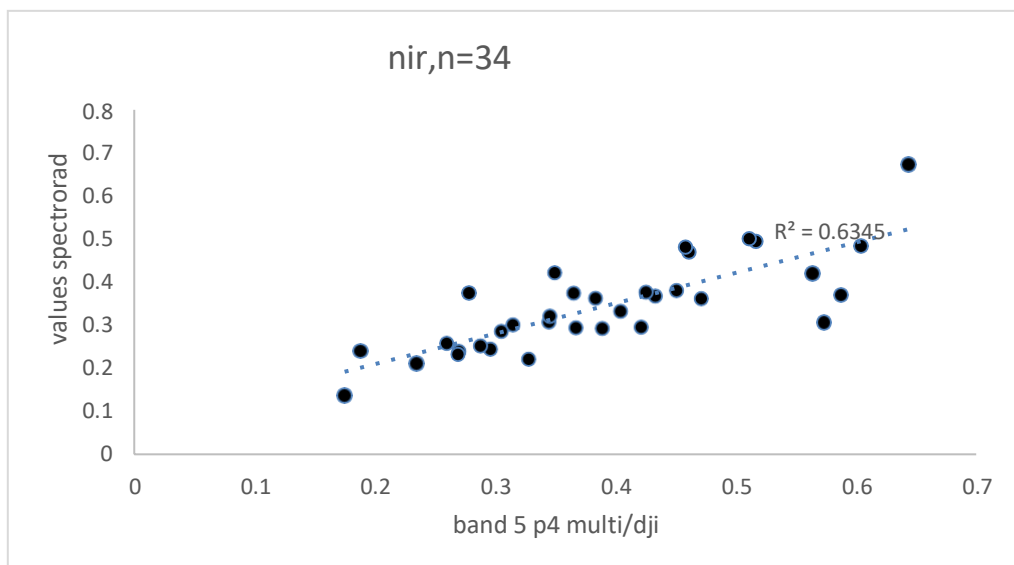
**Διάγραμμα 7:** Παλινδρόμηση για κανάλι GREEN DJI TERRA



**Διάγραμμα 8:** Παλινδρόμηση για κανάλι RED DJI TERRA



**Διάγραμμα 9:** Παλινδρόμηση για κανάλι RED EDGE DJI TERRA



**Διάγραμμα 10:** Παλινδρόμηση για κανάλι NIR DJI TERRA

Βάσει λοιπόν των παραπάνω διαγραμμάτων παρατηρείται πως τα κανάλια RGB έχουν πολύ υψηλό ποσοστό συσχέτισης της τάξεως του (92-94)% γεγονός που υποδηλώνει πως στα συγκεκριμένα κανάλια ο πολυφασματικός φακός από το drone συνέλλεξε δεδομένα όμοιας σχεδόν φασματικής υπογραφής με το φασματοραδιόμετρο. Αντιθέτως στα υπέρυθρα κανάλια παρατηρείται σημαντική απόκλιση μεταξύ των δυο μεθόδων με ποσοστά συσχέτισης της τάξεως του (63-65)% , στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθεί πως από τα αρχικά 50 σημεία που συμμετείχαν στη μελέτη και μετά από αρκετές δοκιμές εξαιρέθηκαν τα 16 λόγω προβληματικής φύσης π.χ. σκίαση συνεπώς  $n=34$  , αποτελεί τον τελικό αριθμό των σημείων που μελετήθηκαν, επομένως τα αποτελέσματα έχουν μια αρκετά καλή αξιοπιστία. Είναι σημαντικό επίσης να αναφερθεί πως η συσχέτιση στα σημεία που λήφθηκαν από το λογισμικό rix4d είναι καλύτερη από αυτή που λήφθηκαν από το dji terra, και συνεπώς το αποτέλεσμα που έδωσε το λογισμικό rix4d κρίνεται ως πιο αποτελεσματικό.

Ακολουθούν τα διαγράμματα με τις τιμές του δείκτη NDVI για τα σημεία από τα 2 ορθομωσαϊκά.

Το αμέσως επόμενο στάδιο μετά την καταγραφή των παραπάνω αποτελεσμάτων και στα πλαίσια εξακρίβωσης τους ήταν ο υπολογισμός του δείκτη βλάστησης NDVI και για τις δυο μεθόδους συλλογής φασματικής υπογραφής και για κάθε σημείο, και η εξαγωγή των αντίστοιχων πινάκων συσχέτισης μέσω του linear regression. Ως NDVI ή κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης ορίζεται ο δείκτης που υπολογίζει την ζωτικότητα της βλάστησης και βασίζεται σε δορυφορικά δεδομένα. Βασίζεται στην ακόλουθο αρχή: "η χρωστική των φύλλων των φυτών, η χλωροφύλλη, απορροφά σε υψηλά ποσοστά το ορατό φως (από 0,4 έως 0,7 μm) για χρήση κατά τη φωτοσύνθεση. Από την άλλη πλευρά, η κυτταρική δομή των φύλλων ανακλά σε μεγάλο βαθμό το εγγύς υπέρυθρο φως (από 0,7 έως 1,1 μm). Εάν η ανακλώμενη ακτινοβολία στο εγγύς υπέρυθρο μήκος κύματος είναι πολύ περισσότερη από ό,τι στο ορατό μήκος φωτός, τότε η βλάστηση στο συγκεκριμένο εικονοστοιχείο είναι πιθανό να είναι πυκνή και ενδέχεται να αποτελείται από κάποιο είδος δάσους.

Με μαθηματικούς όρους, ο τύπος διατυπώνεται ως εξής:

$$NDVI = (NIR - VIS) / (NIR + VIS)$$

όπου NIR υπέρυθρη ακτινοβολία και VIS ορατή ακτινοβολία.

Η εξίσωση δίνει τιμές που κυμαίνονται από -1 έως 1. Ενδεικτικές αρνητικές τιμές είναι τα σύννεφα, το χιόνι, το νερό και άλλες περιοχές δίχως βλάστηση, ενώ οι θετικές τιμές υποδηλώνουν βλάστηση ή ανακλαστικές επιφάνειες. Όσο υψηλότερη είναι η τιμή NDVI, το πιο πράσινο ή φωτοσυνθετικά ενεργά, είναι η φυτική κάλυψη (Ελληνική Κοινότητα Δασολόγων). Ακολουθεί πίνακας και σχολιασμός με τον δείκτη NDVI υπολογισμένο για τις παρατηρήσεις από φασματοραδιόμετρο και drone, όπου στις γραμμές χρωματισμένες με μπλέ βρίσκονται τα αριθμητικά αποτελέσματα των δεικτών NDVI για τις 2 μεθόδους.

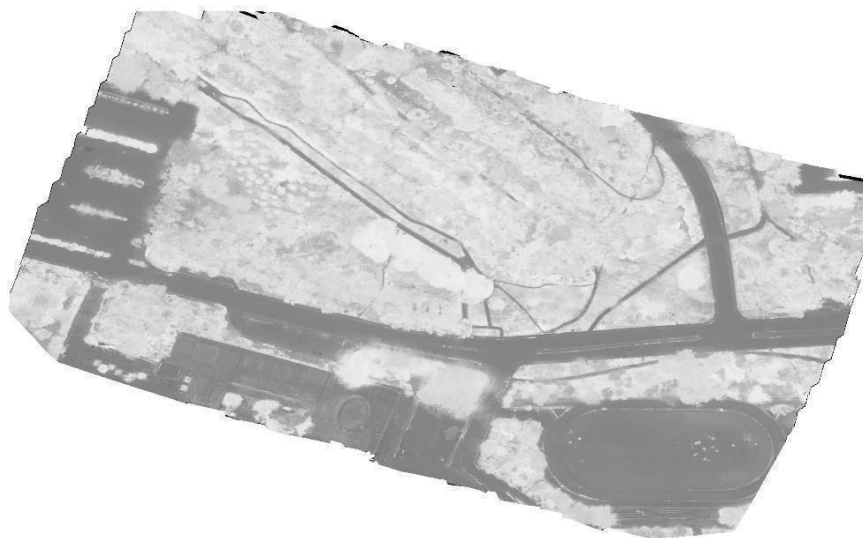
| band 3 | band 5 | ndvi<br>p4/mult |  | 650 nm ± 16 nm median | 840 nm ± 26 nm median | ndvi,spectro<br>rad |
|--------|--------|-----------------|--|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| 0.1053 | 0.5414 | 0.6742          |  | 0.0716                | 0.4202                | 0.70869             |
| 0.1346 | 0.2873 | 0.3617          |  | 0.1358                | 0.2407                | 0.27871             |
| 0.072  | 0.3862 | 0.6842          |  | 0.0677                | 0.4208                | 0.72284             |
| 0.0456 | 0.6566 | 0.8699          |  | 0.0414                | 0.67296               | 0.88396             |
| 0.0782 | 0.4820 | 0.7206          |  | 0.0712                | 0.4697                | 0.73674             |
| 0.3150 | 0.4341 | 0.1589          |  | 0.3108                | 0.3673                | 0.08330             |
| 0.2201 | 0.3928 | 0.2817          |  | 0.2960                | 0.3624                | 0.10078             |
| 0.2070 | 0.2624 | 0.118           |  | 0.2257                | 0.2589                | 0.06838             |
| 0.2490 | 0.3018 | 0.0958          |  | 0.2029                | 0.2458                | 0.09543             |
| 0.0998 | 0.5953 | 0.7128          |  | 0.0230                | 0.3707                | 0.88291             |
| 0.0865 | 0.3904 | 0.6370          |  | 0.0657                | 0.2930                | 0.63341             |
| 0.0787 | 0.3796 | 0.6568          |  | 0.0831                | 0.3330                | 0.60065             |
| 0.1595 | 0.1775 | 0.0533          |  | 0.1299                | 0.1366                | 0.02514             |

|        |        |         |  |        |        |         |
|--------|--------|---------|--|--------|--------|---------|
| 0.5315 | 0.6244 | 0.08013 |  | 0.4145 | 0.4839 | 0.07729 |
| 0.2431 | 0.3278 | 0.14835 |  | 0.2617 | 0.3019 | 0.07133 |
| 0.4411 | 0.5195 | 0.08163 |  | 0.4486 | 0.4949 | 0.04878 |
| 0.0324 | 0.2886 | 0.79947 |  | 0.0533 | 0.3746 | 0.75070 |
| 0.0436 | 0.3655 | 0.78867 |  | 0.0248 | 0.3742 | 0.87544 |
| 0.0890 | 0.3413 | 0.58585 |  | 0.0993 | 0.2230 | 0.38391 |
| 0.0538 | 0.4357 | 0.77999 |  | 0.1162 | 0.2965 | 0.43674 |
| 0.0879 | 0.4589 | 0.67841 |  | 0.0501 | 0.4815 | 0.81149 |
| 0.0916 | 0.3884 | 0.61803 |  | 0.0637 | 0.2946 | 0.64439 |
| 0.0610 | 0.4722 | 0.77113 |  | 0.0441 | 0.5005 | 0.83790 |
| 0.0314 | 0.3845 | 0.84866 |  | 0.0185 | 0.2865 | 0.87850 |
| 0.0508 | 0.5495 | 0.83055 |  | 0.0236 | 0.3064 | 0.85658 |
| 0.3717 | 0.4167 | 0.05705 |  | 0.3266 | 0.3770 | 0.07165 |
| 0.1659 | 0.1814 | 0.04473 |  | 0.2182 | 0.2396 | 0.04677 |
| 0.1936 | 0.2230 | 0.07037 |  | 0.1860 | 0.2110 | 0.06300 |
| 0.2223 | 0.2390 | 0.03634 |  | 0.2118 | 0.2338 | 0.04946 |
| 0.2918 | 0.3249 | 0.05363 |  | 0.2720 | 0.3084 | 0.06266 |
| 0.3134 | 0.3641 | 0.0747  |  | 0.2868 | 0.3219 | 0.05772 |
| 0.1298 | 0.2886 | 0.37939 |  | 0.1193 | 0.2531 | 0.35935 |
| 0.3627 | 0.4509 | 0.10839 |  | 0.3065 | 0.3807 | 0.10793 |
| 0.0822 | 0.4782 | 0.70642 |  | 0.0532 | 0.3616 | 0.74321 |

Πίνακας 2: Υπολογισμός δείκτη NDVI

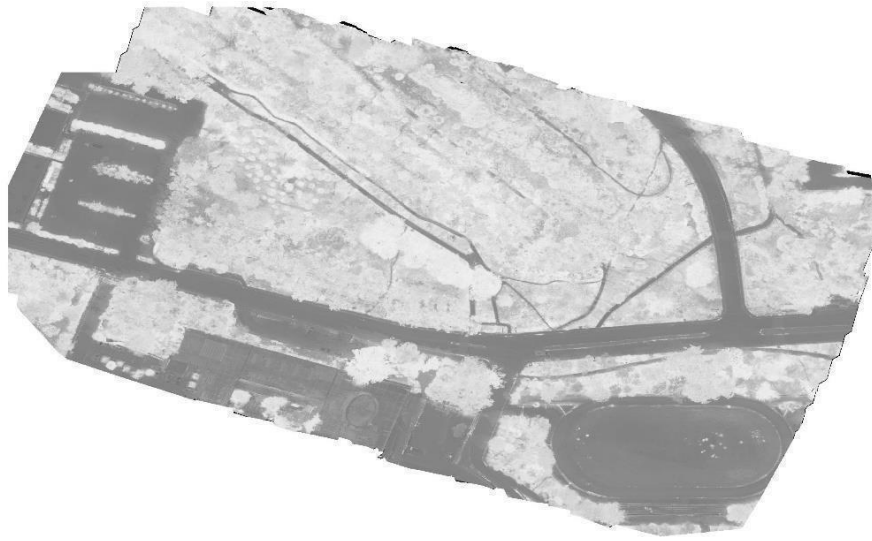
Γίνεται αντιληπτό πως η συνταύτιση στα περισσότερα σημεία είναι ικανοποιητική, με τις τιμές του δείκτη NDVI (κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης) να είναι κοντά για τις δύο μεθόδους. Οι μεγάλες αποκλίσεις σε μερικά σημεία ενδεχομένως να οφείλονται σε χονδροειδής παράγοντες, όπως εσφαλμένες μετρήσεις ή διαφορά στη χρονική διαφορά στις παρατηρήσεις κατά τη διάρκεια της ημέρας, κάτι το οποίο συνεπάγεται διαφορές στις τιμές φωτεινότητας λόγω της διαφορετικής θέσης του ήλιου. Συνεπώς, η καταγραφή φασματικής πληροφορίας μέσω UAV δίνει καλά και ακριβή αποτελέσματα και παρέχει στο χρήστη ακρίβεια και αξιοπιστία. Επίσης, λόγω του ότι το ύψος πτήσης είναι χαμηλό συγκριτικά με συμβατικές μεθόδους τηλεπισκόπησης που βασίζονται σε παρατηρήσεις από δορυφόρους, δεν υπεισέρχονται παράγοντες όπως αλλοιώσεις λόγω της ατμόσφαιρας που ενδεχομένως να αλλοιώνουν το αποτέλεσμα, και δε χρειάζονται για αυτή τη διαδικασία κάποιου είδους ατμοσφαιρικές και ραδιομετρικές διορθώσεις.

Ακολουθούν εικόνες που έχουν δημιουργηθεί στο περιβάλλον του QGIS, και οι οποίες δείχνουν τα αποτελέσματα των δεικτών NDVI από τα μωσαϊκά που έχουν προκύψει από τα λογισμικά PIX4D και DJI-TERRA. Σκοπός είναι μια περαιτέρω εξακρίβωση της αξιοπιστίας της μεθόδου (ποιοτικά και ποσοτικά) και σύγκριση αποτελεσμάτων, ακολουθεί παρουσίαση και σχολιασμός.



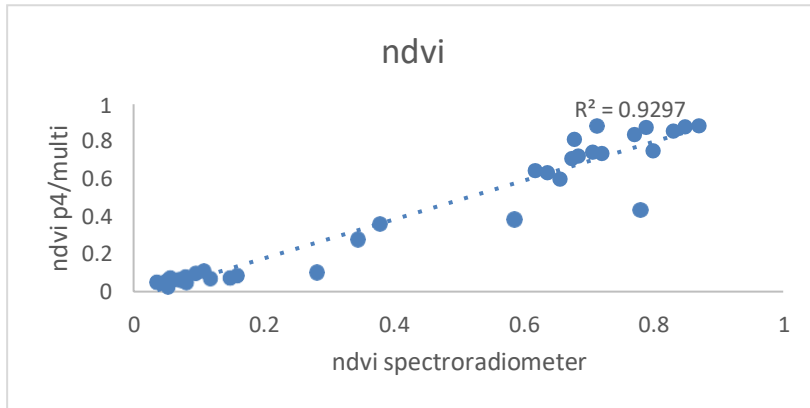
**Εικόνα 10:** NDVI PIX4D



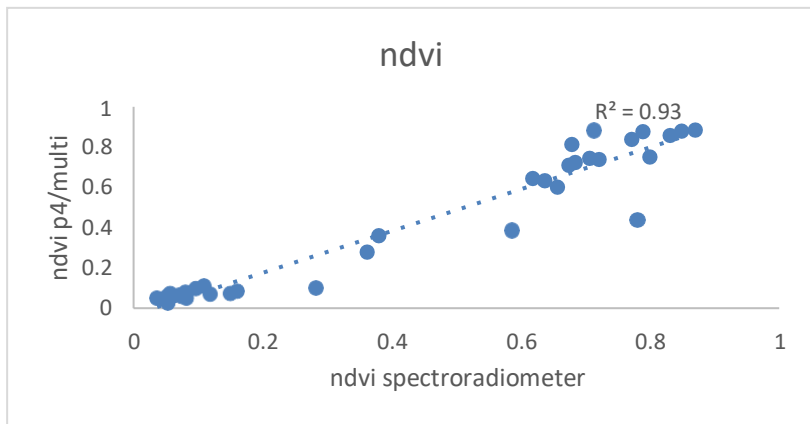


**Εικόνα 11:** NDVI DJI TERRA

Παρατηρούμε πως φωτοερμηνευτικά, οι εικόνες-αποσπάσματα από τα 2 λογισμικά συμπίπτουν σε πολύ ικανοποιητικό βαθμό, ενώ οι τιμές min και max είναι οι ίδιες από -1 έως 1. Τα μωσαϊκά εξήχθησαν με φορμάτ αρχείου .tiff απο τα επιμέρους λογισμικά και εισήχθησαν στο περιβάλλον του QGIS. Με χρήση του εργαλείου του QGIS identify tool επιλέχθηκαν χαρακτηριστικά εικονοστοιχεία σε περιοχές πολύ κοντινές και στις 2 εικόνες, για να ελεγχθεί το κατά πόσο η τιμές φωτεινότητας στην κλίμακα του γκρι συμπίπτουν. Τελικά επιλέχθηκε η εικόνα από το rix4d γιατί δίνει τιμές πιο κοντά σε αυτές του φασματοραδιόμετρου, οι οποίες είναι και οι αληθείς τιμές. Ακολουθούν τα διαγράμματα με τις τιμές του δείκτη NDVI για τα σημεία απο τα 2 ορθομωσαϊκά.



**Διάγραμμα 11:** Τιμές δείκτων NDVI για DJI TERRA



**Διάγραμμα 11:** Τιμές δείκτων NDVI για PIX4D

## Κεφάλαιο 5ο. Συμπεράσματα – προτάσεις

Το συγκεκριμένο πείραμα που αποτελεί και αντικείμενο αυτής της διπλωματικής αναδεικνύει την ακρίβεια, την αξιοπιστία και την εγκυρότητα της μελέτης ραδιομετρικής και φασματικής ανάλυσης με χαμηλού κόστους εναέριο πολυφασματικό δέκτη για αποτύπωση, καταγραφή δεδομένης μεγάλης κλίμακας. Η απάντηση στο ερώτημα για το ποιά μέθοδος είναι προτιμότερη δεν υπάρχει, καθώς αυτό εξαρτάται αποκλειστικά από τις ανάγκες της κάθε μελέτης, τα χαρακτηριστικά και τις ιδιαιτερότητες που υπεισέρχονται σε κάθε εφαρμογή και προφανώς το διαθέσιμο κεφάλαιο για εξοπλισμό. Για παράδειγμα, η μέθοδος της συλλογής φασματικής πληροφορίας από προγραμματισμό πτήσης σε drone είναι ταχύτερη άλλα τροχοπέδη της μεθόδου μπορεί να αποτελέσουν εμπόδια που αποτρέπουν την οπτική επαφή της κάμερας του drone με το έδαφος, σε αντίθεση με την μέθοδο συλλογής φασματικής πληροφορίας με το φασματοραδιόμετρο όπου δεν υπεισέρχονται τέτοιου είδους εμπόδια αλλά η χρονική διάρκεια της καταγραφής είναι αισθητά μεγαλύτερη, και το κόστος απόκτησης του αρκετά υψηλό. Επίσης, οι μεγάλες διαφορές σε ορισμένα σημεία στο υπέρυθρο ενδεχομένως να οφείλονται στο ότι το συγκεκριμένο UAV, εκ κατασκευής, δεν έχει πολύ καλή και ακριβή δυνατότητα καταγραφής φασματικής υπογραφής στα υπέρυθρα κανάλια. Από τις προδιαγραφές του συγκεκριμένου UAV ενδεχομένως να οφείλονται λοιπόν οι όποιες αστοχίες στα υπέρυθρα κανάλια, όπως και φαίνεται στον πίνακα 2.

Ενδεχόμενος συνδυασμός των δύο μεθόδων μπορεί να δώσει επίσης πολύ καλά αποτελέσματα και να συμβάλλει στο να αμβλυθούν οι όποιοι περιορισμοί. Σημαντικό είναι επίσης να αναφερθεί πως η εγγύτητα των αποτελεσμάτων είναι επακόλουθο και των παραμέτρων που θα επιλέξει να εφαρμόσει ο χρήστης.

Ακολουθούν προτάσεις για μελλοντική έρευνα – ενασχόληση:

- Δημιουργία αλγορίθμου σε Python ο οποίος δέχεται ως input τα αρχεία .csv με τις παρατηρήσεις και εξάγει αρχείο .csv με τις διαφορές.
- Δημιουργία εφαρμογής GUI σε Python η οποία δέχεται τα ορθομωσαϊκά, υπολογίζει και εμφανίζει τους δείκτες NDVI και εν συνεχεία εμφανίζει τα σημεία που δεν είναι αποδεκτά.
- Εφαρμογή της μεθοδολογίας σε δεδομένα μεγάλης κλίμακας για ανίχνευση

μεταβολών ανά μικρά διαστήματα και εξαγωγή ποιοτικών και ποσοτικών συμπερασμάτων.

- Εφαρμογή της μεθοδολογίας για εξαγωγή συμπερασμάτων που αφορούν ασθένειες των φύλλων και αποτελεσματικότητα λιπασμάτων και άλλων γεωργικών τεχνικών.

## Κεφάλαιο 6ο. Δυνατότητες – προβλήματα

Στο τελευταίο κεφάλαιο θα αναλυθούν οι δυνατότητες που προκύπτουν από αυτή τη διαδικασία και τα προβλήματα που μπορεί να παρουσιαστούν. Γίνεται εύκολα αντιληπτό πως η χρήση UAV (drone) με πολυφασματική κάμερα επιτρέπει την γρήγορη και ακριβή καταγραφή φασματικής πληροφορίας για μεγάλη κλίμακα, με ακρίβεια, αξιοπιστία και εγκυρότητα που πολλές φορές δεν υφίστανται στις συμβατικές δορυφορικές μεθόδους τηλεπισκόπησης. Συνεπώς, η χρήση τέτοιων μεθόδων με προγραμματισμούς πτήσεις σε πολυφασματικά UAV και φασματοραδιόμετρος χειρός μπορεί να φανεί χρήσιμη σε πολλές εφαρμογές. Τέτοιες είναι μελέτες όπως η γεωργία ακριβείας, μελέτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων και φυσικών καταστροφών, ανίχνευση στατικής επάρκειας και ρηγμάτων αστοχίας σε κατασκευές κ.α. Επίσης ένα βασικό θετικό χαρακτηριστικό σε τέτοιες δουλειές είναι το ιδιαίτερα χαμηλό κόστος απόκτησης τέτοιου είδους μηχανημάτων, των λογισμικών επεξεργασίας των εικόνων και προσθέτων εργαλείων που συντελούν στην ακρίβεια και εγκυρότητα του συνόλου των διεργασιών (πχ γεωδαιτικός εξοπλισμός). Πολλοί επαγγελματίες ιδιώτες έχουν την οικονομική δυνατότητα να αποκτήσουν πρόσβαση στο σύνολο αυτού τον εξοπλισμό, ο οποίος και είναι απαραίτητος για να διεκδικήσουν μελέτες αυτού του τύπου. Επιπροσθέτως, η φασματική ακρίβεια καταγραφής εξαρτάται άμεσα από τη θέση του ήλιου μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή, και αυτό μπορεί να αποτελέσει τροχοπέδη σε προσπάθειες καταγραφής και σύγκρισης πληροφορίας ανάμεσα σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, κάτι το οποίο είναι αναγκαίο για πολλές εφαρμογές. Επίσης, είναι σημαντικό να αναφερθεί ως αρνητικό και το κόστος επισκευής των μηχανημάτων σε περίπτωση φθοράς και ατυχήματος.

Η πληροφορική και οι σύγχρονες τεχνολογίες, τα οποία έχουν ευρεία και άμεση εφαρμογή στα επιστημονικά πεδία της φωτογραμμετρίας και της τηλεπισκόπησης, μπορούν να συντελέσουν στην αυξημένη ακρίβεια τέτοιων εργασιών, στην αυτοματοποίηση διεργασιών, στη μείωση του χρόνου και του κόστους. Συγκεκριμένα, η τηλεπισκόπηση ως υποσύνολο του Data Science και πιο συγκεκριμένα του Image processing/Computer vision εμπεριέχει εφαρμογές επεξεργασίας δεδομένων με τεχνικές συμβατικές η μηχανικής μάθησης. Για να αυτοματοποιηθούν οι εργασίες και να μειωθεί χρόνος και ο κόπος, μπορούν να δημιουργηθούν σε γλώσσες προγραμματισμού scripts για εφαρμογές όπως object detection, change detection, classification, εφαρμογή φίλτρων κοκ. Έτσι, με εισαγωγή των εικόνων των ορθομωσαϊκών σαν inputs σε

εξειδικευμένα scripts, γίνεται αυτόματη επεξεργασία και εξαγωγή αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων, τα οποία ειδάλλως θα απαιτούσαν από τους χρήστες πολύωρη ανάλυση και επεξεργασία. Η χρήση του κατάλληλου ολοκληρωμένου προγραμματιστικού περιβάλλοντος (IDE) και γλώσσας εξαρτάται άμεσα από τις ανάγκες της εφαρμογής, τις γνώσεις και τις προτιμήσεις του χρήστη. Λόγου χάριν, η αντικειμενοστραφής γλώσσα C++ ταιριάζει καλύτερα σε περιπτώσεις ανάλυσης μεγάλου όγκου δεδομένων λόγω της υψηλής υπολογιστικής της ισχύς, ενώ η ευρέως διαδεδομένη γλώσσα προγραμματισμού Python μπορεί να ταιριάζει καλύτερα σε άλλες περιπτώσεις λόγω της ευκολονόητης σύνταξης της.



## Βιβλιογραφία

### Ελληνόγλωσση

1. Ιωάννου, Α., Ντάνος, Γ., Πήττας, Α. και Ράπτης, Σ. (1999). 2-2 Μηχανικά κύματα. Στο Φυσική Θετικής & Τεχνολογικής κατεύθυνσης (Γ' τάξης Γενικού Λυκείου). Αθήνα: Οργανισμός Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων
2. Καϊμάρης, Δ. (2014). Τηλεπισκόπηση-Θεωρητική Προσέγγιση και Εργαστηριακές Ασκήσεις. Θεσσαλονίκη: Ζήτη
3. Καρτάλης, Κ. και Φειδάς, Χ. (2006). Αρχές και εφαρμογές δορυφορικής τηλεπισκόπησης. Αθήνα: Β. Γκιούρδας
4. Μερτίκας, Σ. Π. (1999). Τηλεπισκόπηση και Ψηφιακή Ανάλυση Εικόνας. Αθήνα: Ίων.
5. Πατιάς, Π. (1991). Εισαγωγή στη φωτογραμμετρία. Θεσσαλονίκη: Ζήτη
6. Φουντάς, Σ., Γέμτος, Θ., 2015. Γεωργία ακριβείας [ηλεκτρ. βιβλ.], Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών.

### Ξενόγλωσση

1. Barmounakis, E.N.; Golias, J.C. Unmanned Aerial Aircraft Systems for transportation engineering: Current practice and future challenges. Int. J. Transp. Sci. Technol. 2016, 5, 111–122
2. Bell, D., Reinhardt, F., Shelman, M., 2016. The climate corporation (Case No. 9-516-060) Harvard Business School Publishing, Brighton, MA.
3. Baluja, J., Diago, M. P., Balda, P. Zorer, R., Meggio, F., Morales, F. & Tardaguila, J. (2012). Irrigation Science, November 2012, Vol. 30(6), σσ. 511–522, doi: 10.1007/s00271-012-0382-9
4. Berni, J. A. J., Tejada, P. J. Z., Suárez, L., Dugo, V. & Fereres, E. (2008). Remote sensing of vegetation from UAV platforms using lightweight multispectral and



- thermal imaging sensors. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVII, σσ. 1-6
5. Campbell, J. B. (2006). *Introduction to remote sensing*. Abingdon: Taylor & Francis
  6. Candiago, S., Remondino, F., Giglio, M., Dubbini, M. & Gattelli, M. (2015). Evaluating Multispectral Images and Vegetation Indices for Precision Farming Applications from UAV Images. *Remote Sensing*, Vol.7(4), σσ. 4026-4047, doi: 10.3390/rs70404026
  7. Cowley, C. D., Moriarty, C., Geddes, G., Brown, L. G., Wade T & Nichol J. C. (2018). UAVs in Context: Archaeological Airborne Recording in a National Body of Survey and Record. *MDPI, Drones*, 2, Vol. 2(1), σσ. 1-16, doi: 10.3390/drones2010002
  8. Cai, G.; Lum, K.-Y.; Chen, B.M.; Lee, T.H. A brief overview on miniature fixed-wing unmanned aerial vehicles. In *Proceedings of the IEEE ICCA 2010, Xiamen, China, 9–11 June 2010*; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2010; pp. 285–290.
  9. Clay Dillow, (2017). “Prospero the Swarming Farmbot Wants to Show You the Future of Agriculture” , 17 March 2018. <http://www.popsci.com/technology/article/2012-06/futureagriculture-swarm-farmbots-can-manage-field-plant-plant>
  10. Delgado, R. D., Cazacu, C. & Adamescu, M. (2019). Rapid Assessment of Ecological Integrity for LTER Wetland Sites by Using UAV Multispectral Mapping. *Drones*, Vol. 3(1), σσ. 1-20, doi: 10.3390/drones3010003
  11. Granados, F., Sánchez, J., Pérez, A., Castro, A., Carrascosa, Fco. J & Peña, J. (2016). Early season weed mapping in sunflower using UAV technology: variability of herbicide treatment maps against weed thresholds. *Precision Agriculture*, April 2016, Vol. 17(2), σσ. 183–199, doi: 10.1007/s11119-015-9415-8
  12. Grenzdörffer, G. J., Engel, A. & Teichert, B. (2008). The photogrammetric potential of low-cost UAVs in forestry and agriculture. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XXXVII. Part B1. Beijing 2008, σσ. 1207-1214
  13. Guisuraga, J. M., Ablanedo, E., Seoane, S. & Calvo, L. (2018). Using Unmanned Aerial Vehicles in Postfire Vegetation Survey Campaigns through Large and Heterogeneous Areas: Opportunities and Challenges. *Sensors*, Vol. 18(2), σσ. 1-17, doi: 10.3390/s18020586
  14. Hassanalian, M.; Abdelkefi, A. Classifications, applications, and design challenges of drones: A review. *Prog. Aerosp. Sci.* 2017, 91.

15. Hassanalian, M.; Khaki, H.; Khosravi, M. A new method for design of fixed wing micro air vehicle. *Proc. Inst. Mech. Eng. Part G J. Aerosp. Eng.* 2015, 229, 837–850
16. Hassanalian, M.; Rice, D.; Abdelkefi, A. Evolution of space drones for planetary exploration: A review. *Prog. Aerosp. Sci.* 2018, 97
17. Keane, J.F.; Carr, S.S. A brief history of early unmanned aircraft. *Johns Hopkins APL Tech. Dig.* 2013, 32, 558–571.
18. Kindervater, K.H. The emergence of lethal surveillance: Watching and killing in the history of drone technology. *Secur. Dialogue* 2016, 47, 223–238
19. Lee, S.; Choi, Y. Reviews of unmanned aerial vehicle (drone) technology trends and its applications in the mining industry. *Geosyst. Eng.* 2016, 19, 197–204
20. Luff, R.; Stöhlker, U.; Bossew, P. Unmanned aerial vehicles (drones) as tools for small scale radiometric surveys. In *Proceedings of the IJC Radio 2017, Golania, Brazil, 25– 29 September 2017.*
21. Molnar, A.; Lovas, I.; Domozi, Z. Measurement of outdoor gamma dose distribution with a multicopter. In *Proceedings of the IEEE 24th International Conference on Intelligent Engineering Systems (INES), Reykjavík, Iceland, 8–10 July 2020; pp. 103–108.*
22. Moore, G.K. What is a picture worth? A history of remote sensing/Quelle est la valeur d'une image? Un tour d'horizon de télédétection. *Hydrol. Sci. Bull.* 2010, 24, 477–485
23. Ranjan, A.; Panigrahi, B.; Sahu, H.B.; Misra, P. SkyHelp: UAV Assisted Emergency Communication in Deep Open Pit Mines. In *Proceedings of the 1st International Workshop on Internet of People, Assistive Robots and Things-IoPARTS'18, Munich, Germany, 10 June 2018; pp. 31–36.*
24. Rambat, S. A Low-cost Remote Sensing System for Agricultural Applications. Ph.D. Dissertation, Aston University, Birmingham, UK, 2011.
25. Roma, A., 2017. Drones and popularisation of space. *Space Policy* 41, 65–67
26. Sanada, Y.; Torii, T. Aerial radiation monitoring around the Fukushima Dai-ichi nuclear powerplant using an unmanned helicopter. *J. Environ. Radioact.* 2015, 13, 294–299.