



# ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

Δ.Π.Μ.Σ. "ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ"

---

## ΤΙΤΛΟΣ

"Ενσωμάτωση Φασματικών Αισθητήρων σε Μη  
Επανδρωμένα Εναέρια Οχήματα και Συγκριτική  
Αξιολόγηση Ταξινόμησης Δεδομένων"

---

*Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία*

*Ζερβός Παναγιώτης  
Αθήνα, Ιούνιος 2018*



**NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS**  
**SCHOOL OF RURAL AND SURVEYING ENGINEERING**  
**REMOTE SENSING LABORATORY**

**MSc in 'GeoInformatics'**

---

**TITLE**

**"Integrating Spectral Sensors in Unmanned Aerial Vehicles  
and Comparative Assessment of Supervised Classification"**

---

*Master Thesis*

*Zervos Panagiotis*  
*Athens, June 2018*



**RSLab**  
Remote Sensing Laboratory  
National Technical University of Athens  
✓ Sensing ✓ Analytics ✓ Monitoring





# ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

Δ.Π.Μ.Σ. "ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ"

---

## ΤΙΤΛΟΣ

"Ένσωμάτωση Φασματικών Αισθητήρων σε Μη  
Επανδρωμένα Εναέρια Οχήματα και Συγκριτική  
Αξιολόγηση Ταξινόμησης Δεδομένων"

---

### Τριμελής εξεταστική επιτροπή:

Κ. Καραντζαλος

Δ. Αργιαλάς

Β. Καραθανάση

.....

.....

.....

Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Επιβλέπων

Ζερβός Παναγιώτης

Αθήνα, Ιούνιος 2018



**RSLab**

Remote Sensing Laboratory  
National Technical University of Athens

✓ Sensing ✓ Analytics ✓ Monitoring



Παναγιώτης Ζερβός

Διπλωματούχος Μηχανικός Ορυκτών Πόρων Πολυτεχνείου Κρήτης

Copyright © All rights reserved. Παναγιώτης Ζερβός, 2018

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, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

## Ευχαριστίες

Στο σημείο αυτό, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα Καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Καράντζαλο που μου προσέφερε την ευκαιρία να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα, καθώς υπεισέρχεται εντός του τομέα ενασχόλησης και ενδιαφέροντός μου. Ιδιαίτερες ευχαριστίες του οφείλω τόσο για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο όλο εγχείρημα όσο και για τη διάθεση των αισθητήρων Τηλεπισκόπησης για το πειραματικό μέρος της εργασίας καθώς και για την άψογη συνεργασία που έχουμε όλα αυτά τα χρόνια.

Ταυτόχρονα, ευχαριστίες οφείλω στην εταιρεία UCANDRONE IKE και ιδιαίτερα στον φίλο και συνεργάτη κ. Δημήτρη Στεφανάκη για την υποστήριξη και τη διάθεση της πλατφόρμας UAS για την εκπόνηση των πτήσεων χαρτογράφησης.

Όλο το εγχείρημα της επεξεργασίας των δεδομένων δεν θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί χωρίς την πολύτιμη βοήθεια των διδακτορικών φοιτητών του εργαστηρίου, κ. Ζαχαρία Κανδυλάκη και κας Χριστίνα Καρακίζη.

Ευχαριστώ επίσης, το εργαστήριο Τηλεπισκόπησης της σχολής ΑΤΜ του ΕΜΠ και ιδιαίτερα τους καθηγητές κ. Δημήτριο Αργιαλά και κα Βασιλεία Καραθανάση για τη συμμετοχή στην τριμελή επιτροπή εξέτασης, καθώς και της διάθεσης πολύτιμων συμβουλών και παρατηρήσεων για τη διεξαγωγή και εμβάθυνση του αντικειμένου της παρούσας εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την οικογένεια και τους φίλους μου για τη στήριξη και βοήθεια που μου έχουν προσφέρει απλόχερα τα τελευταία χρόνια.

Παναγιώτης Ζερβός

Αθήνα, Ιούνιος 2018



## Περίληψη

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία είχε ως αντικείμενο τη συλλογή Τηλεπισκοπικών δεδομένων από πολλαπλούς αισθητήρες, ευαίσθητους σε διάφορα μήκη κύματος του Η/Μ φάσματος, από Μη Επανδρωμένο Εναέριο Όχημα / Σύστημα ( *UAV/UAS*). Πιο συγκεκριμένα σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε σύστημα σταθεροποίησης αισθητήρων (*brushless gimbal*) για την ενσωμάτωση υπερφασματικού αισθητήρα τύπου *Push-broom / Line Scanning* για τη λήψη εναέριων δεδομένων. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε ταυτόχρονη λήψη οπτικών, πολυφασματικών και θερμικών δεδομένων σε πτήση καταγραφής στην περιοχή μελέτης. Βασική επιδίωξη ήταν η συλλογή και προεπεξεργασία όλων των παραπάνω ετερογενών δεδομένων και η αξιολόγηση τους ως προς την αποτελεσματικότητά τους σε προβλήματα που απαιτείται η ταξινόμηση των δεδομένων. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκε η συγκριτική αξιολόγηση ενώ αναλυθήκαν τα επιμέρους χαρακτηριστικά και ιδιότητες των δεδομένων.

Η ενσωμάτωση ετερογενών αισθητήρων σε Μη Επανδρωμένα Εναέρια Συστήματα γνωρίζει ραγδαία ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια τόσο λόγω της ανάπτυξης πολυάριθμων συστημάτων *UAV* αλλά και λόγω της ανάπτυξης νέων, μικρού μεγέθους και ελάχιστων απαιτήσεων κατανάλωσης, φασματικών αισθητήρων Τηλεπισκόπησης. Τα πεδία εφαρμογής των παραπάνω συστημάτων είναι πολυάριθμα. Μέχρι σήμερα η απόκτηση τέτοιων δεδομένων προερχόταν αποκλειστικά από δορυφόρους και επανδρωμένα αεροσκάφη με αποτέλεσμα το κόστος τους στις περισσότερες περιπτώσεις να καθίσταται ιδιαίτερα υψηλό.

Προς αυτή την κατεύθυνση κατασκευάστηκε ολοκληρωμένο σύστημα σταθεροποίησης, μέσω του οποίου τοποθετήθηκε ο υπερφασματικός δέκτης και τα συστήματα προσδιορισμού θέσης (*GPS / INS*) πάνω στο *UAS*. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκαν πολλαπλά πειράματα για τον βέλτιστο σχεδιασμό και προγραμματισμό πτήσεων προς τη συλλογή δεδομένων λαμβάνοντας υπόψιν τα χαρακτηριστικά (χωρική ανάλυση, οπτικό πεδίο, κ.α.) του εκάστοτε αισθητήρα. Έπειτα από τις απαραίτητες προεπεξεργασίες (ραδιομετρικές, γεωμετρικές διορθώσεις, υπολογισμός μοντέλων επιφανείας, ορθοεικόνων, κοκ), τα δεδομένα ταξινομήθηκαν με τεχνικές μηχανικής μάθησης με βάση τα εικονοστοιχεία. Συγκεκριμένα υλοποιήθηκαν πολυάριθμες δοκιμές για κάθε σετ δεδομένων (*dataset*) αλλά και σε συνδυασμό τους (πχ. πολυφασματικά και θερμικά). Ειδικότερα στα υπερφασματικά δεδομένα επιχειρήθηκαν ταξινομήσεις τόσο στον αρχικό υπερκύβο, όσο και στα δεδομένα που προέκυψαν μετά από μείωση διαστάσεων. Τέλος, έγινε ποιοτική και ποσοτική αξιολόγηση όλων των παραπάνω αποτελεσμάτων. Η συγκριτική ανάλυση ανέδειξε τα υψηλά ποσοστά επιτυχίας στις ταξινομήσεις των υπερφασματικών δεδομένων (παρά τη σχετικά μικρότερη χωρική ανάλυση) αλλά και την αποτελεσματικότητα του συνδυασμού ετερογενών δεδομένων για ποικίλες εφαρμογές χαρτογράφησης.





# Abstract

The aim of this particular Postgraduate thesis was the acquisition of remote sensing data from multiple sensors, sensitive to various wavelengths of the Electromagnetic spectrum from Unmanned Aerial Vehicle/System (UAV/UAS). More specifically, a brushless gimbal system was designed and constructed in order to integrate a Push-broom hyperspectral sensor onboard the UAV. Furthermore, concurrent acquisition of optical, multispectral and thermal data was performed during a controlled flight in the study area. The scope was to manage and preprocess all the above collected data and evaluate their performance in image classification tasks.

In particular, nowadays, the rapid development of UAS systems as well as the advancement of remote sensing sensors have broadened the deployment of similar cutting-edge technology for various applications. The combination of the aforementioned systems seems like a relative cost-efficient solution for acquiring very/ultra high resolution multispectral and hyperspectral data, when comparing with certain cases with data from satellite or aerial manned acquisition platforms.

To this end, a new brushless stabilization system was designed, developed and integrated onboard a UAV for the hyperspectral sensor along with the GPS/INS hardware/software. Numerous experiments were conducted in order to optimize flight parameters and planning towards acquiring and fusing multimodal data from sensors with different characteristics (harmonizing e.g., spatial resolution, field of view, etc.). After the execution of the necessary preprocessing tasks (radiometric corrections, geometric corrections, digital surface models, orthoimages, etc) the produced data were classified with pixel-based machine learning techniques. Specifically, numerous experiments were carried out for each dataset as well as combined datasets (e.g., multispectral and thermal). Regarding the hyperspectral data, classification experiments were carried out both in the initial hypercubes as well as after a dimensionality reduction. A qualitative and quantitative evaluation for all aforementioned experiments highlighted the relative high accuracy rates for the hyperspectral data (despite the relative lower spatial resolution) as well as the effectiveness of the multimodal data fusion for a variety of geospatial mapping applications.



# Πίνακας Περιεχομένων

Ευχαριστίες.....	v
Περίληψη .....	vii
Abstract.....	ix
Πίνακας Περιεχομένων .....	xi
<b>1 Αντικείμενο και Σχετικές Εργασίες.....</b>	<b>1</b>
1.1 Στόχοι και Αντικείμενο μελέτης .....	1
1.2 Κίνητρο και Συνεισφορά της Εργασίας .....	2
1.3 Παρόμοιες Εργασίες και Συστήματα Λήψης Φασματικών Δεδομένων .....	2
1.4 Μη Επανδρωμένα Εναέρια Οχήματα .....	4
1.4.1 Κατηγορίες Μη Επανδρωμένων Εναέριων Μέσων .....	5
1.4.2 Νομοθεσία.....	7
1.4.3 Περιοχές απαγόρευσης πτήσεων ΣμηΕΑ.....	7
<b>2 Αισθητήρες, Δεδομένα και Προεπεξεργασίες .....</b>	<b>9</b>
2.1 UAS – Πολυκόπτερο .....	9
2.2 Φασματικοί Τηλεπισκοπικοί Αισθητήρες.....	10
2.2.1 Υπερφασματικός αισθητήρας – Headwall VNIR .....	11
2.2.2 Πολυφασματικός αισθητήρας – Parrot Sequoia NIR.....	12
2.2.3 Θερμικός αισθητήρας Flir Vue Pro.....	13
2.3 Βάση Σταθεροποίησης Υπερφασματικού αισθητήρα – Brushless Gimbal .....	14
2.4 Συλλογή Δεδομένων .....	18
2.4.1 Περιοχής μελέτης.....	18
2.4.2 Σχεδιασμός και Παράμετροι Πτήσης για τον Πολυφασματικό αισθητήρα .....	19
2.4.3 Σχεδιασμός και Παράμετροι Πτήσης για τον Θερμικό αισθητήρα.....	22
2.4.4 Σχεδιασμός και Παράμετροι Πτήσης για τον Υπερφασματικό Αισθητήρα.....	24
2.5 Προεπεξεργασία δεδομένων .....	25
2.5.1 Συσχέτιση τηλεπισκοπικών δεδομένων με τις θέσεις λήψεως .....	25

2.5.2 Δημιουργία ορθοεικόνων (οπτικά και πολυφασματικά).....	25
2.5.3 Δημιουργία Υπερφασματικού Μωσαϊκού .....	30
2.5.4 Συσχέτιση δεδομένων ανακλαστικότητας .....	32
2.5.5 Γεωμετρική αντιστοίχιση.....	33
2.6 Οπτικοποίηση Δεδομένων .....	36
<b>3 Ταξινόμηση Δεδομένων και Αξιολόγηση .....</b>	<b>41</b>
3.1 Αλγόριθμοι ταξινόμησης .....	41
3.1.1 Ελάχιστης απόστασης (Minimum Distance) .....	41
3.1.2 Αλγόριθμος μέγιστης πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood).....	42
3.1.3 Αλγόριθμος καθορισμού φασματικής γωνίας (Spectral Angle Mapping).....	43
3.1.4 Μηχανές διανυσμάτων υποστήριξης (Support Vector Machines - SVM).....	44
3.2 Δεδομένα αναφοράς.....	46
3.3 Φασματικές υπογραφές.....	51
3.4 Πειραματικά Αποτελέσματα και Αξιολόγηση .....	58
3.4.1 Ταξινομήσεις δεδομένων: <i>Semi – Automatic Classification</i> .....	59
Ταξινόμηση Πολυφασματικού Μωσαϊκού με τη μέθοδο <i>Maximum Likelihood</i> .....	59
Ταξινόμηση Πολυφασματικού – Θερμικού Μωσαϊκού με τη μέθοδο <i>Maximum Likelihood</i> .....	62
Ταξινόμηση Υπερφασματικού Μωσαϊκού (1) με τη μέθοδο <i>Maximum Likelihood</i> .....	64
Ταξινόμηση Υπερφασματικού Μωσαϊκού (2) με τη μέθοδο <i>Spectral Angle Mapping</i> ...	66
Ταξινόμηση Υπερφασματικού Μωσαϊκού (3) με τη μέθοδο <i>Minimum Distance</i> .....	68
3.4.2 Ταξινομήσεις δεδομένων: <i>Python SVM – PCA</i> .....	70
Ταξινόμηση Υπερφασματικού Μωσαϊκού (1) με <i>SVM – PCA</i> .....	70
Ταξινόμηση Υπερφασματικού Μωσαϊκού (2) με <i>SVM – PCA</i> .....	73
Ταξινόμηση Υπερφασματικού Μωσαϊκού (3) με <i>SVM – PCA</i> .....	76
3.4.3 Ταξινομήσεις δεδομένων: <i>Python SVM</i> .....	79
Ταξινόμηση Υπερφασματικού Μωσαϊκού (1) με <i>SVM</i> .....	79
Ταξινόμηση Υπερφασματικού Μωσαϊκού (2) με <i>SVM</i> .....	82
Ταξινόμηση Υπερφασματικού Μωσαϊκού (3) με <i>SVM</i> .....	85

<b>4 Συμπεράσματα και Προοπτικές.....</b>	<b>88</b>
4.1 Γενικά Συμπεράσματα .....	88
4.2 Ειδικά Συμπεράσματα.....	90
4.3 Προτάσεις για μελλοντική εργασία .....	91
<b>Βιβλιογραφία .....</b>	<b>92</b>
Ελληνική βιβλιογραφία.....	92
Διεθνής βιβλιογραφία .....	92
<b>Παράρτημα .....</b>	<b>95</b>
<b>Κατάλογος Σχημάτων.....</b>	<b>101</b>
<b>Κατάλογος Πινάκων .....</b>	<b>106</b>



# 1 Αντικείμενο και Σχετικές Εργασίες

Στο πρώτο κεφάλαιο περιγράφονται συνοπτικά οι στόχοι και το αντικείμενο της μεταπτυχιακής εργασίας. Επίσης, γίνεται αναφορά στο κίνητρο και τη συνεισφορά της, όπως επίσης και σε σχετικές εργασίες της βιβλιογραφίας.

## 1.1 Στόχοι και Αντικείμενο μελέτης

Ο κύριος στόχος της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας ήταν η ενσωμάτωση τηλεπισκοπικών αισθητήρων και η αξιολόγηση πιλοτικής χαρτογράφησης με Μη Επανδρωμένο Όχημα / Σύστημα (*UAV / UAS*). Για το σκοπό αυτό σχεδιάστηκε, κατασκευάστηκε και προγραμματίστηκε βάση σταθεροποίησης στην οποία ενσωματώθηκε υπερφασματικός αισθητήρας τύπου *push-broom (line-scanning)*. Στο *UAV* ενσωματώθηκαν επίσης οπτικός, πολυφασματικός και θερμικός αισθητήρας, για την ταυτόχρονη συλλογή των αντίστοιχων δεδομένων. Μέσω της πλατφόρμας των αισθητήρων που αναπτύχθηκε σε συνδυασμό με τους αισθητήρες προσδιορισμού θέσης, έγινε η συλλογή οπτικών, πολυφασματικών, υπερφασματικών και θερμικών δεδομένων. Βασική επιδίωξη αποτέλεσε η αξιολόγηση των παραπάνω δεδομένων και η συγκριτική ανάλυση των δυνατοτήτων τους σε εφαρμογές που απαιτούν την ταξινόμηση εικόνων και ορθοεικόνων.

Πιο αναλυτικά πραγματοποιήθηκαν οι ακόλουθες εργασίες. Αρχικά σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε ο σκελετός της βάσης σταθεροποίησης. Έπειτα προσαρμόστηκαν τα ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά μέρη, οι φασματικοί τηλεπισκοπικοί αισθητήρες καθώς και τα συστήματα προσδιορισμού θέσης (*GPS / INS*). Στη συνέχεια υλοποιήθηκαν πολυάριθμες δοκιμαστικές πτήσεις με σκοπό να διερευνηθούν οι προϋποθέσεις και παράμετροι πτήσης, για τη σωστή λήψη δεδομένων από τους παραπάνω αισθητήρες. Τα δεδομένα αυτά προκύπτουν από: i) πολυφασματικό αισθητήρα, ii) *RGB* αισθητήρα, iii) υπερφασματικό αισθητήρα iv) θερμικό αισθητήρα, καθώς και συνδυασμό των παραπάνω. Στόχος ήταν η λήψη του μέγιστου αριθμού τηλεπισκοπικών δεδομένων με τις ελάχιστες δυνατές πτήσεις καταγραφής. Αυτό επετεύχθη με την κατασκευή του συγκεκριμένου συστήματος σταθεροποίησης για τον υπερφασματικό αισθητήρα καθώς ήταν τεχνολογίας *Pushbroom / Line Scanning* και η συνεχής ενεργητική μικρο-διόρθωση προσανατολισμού του κατά τη διάρκεια της συλλογής ήταν απαραίτητη για την ορθή συλλογή δεδομένων. Τέλος, ήταν αναγκαία η ανάπτυξη

μεθοδολογίας που σχετίζεται με τον τρόπο και τις τεχνικές που απαιτούνται για την αξιοποίηση όλων των παραπάνω δεδομένων και κυρίως τα στάδια προεπεξεργασίας τηλεπισκοπικών εικόνων, αλλά και με την ποιοτική / ποσοτική ανάλυση και αξιολόγηση των μεθόδων ταξινόμησης των δεδομένων.

## **1.2 Κίνητρο και Συνεισφορά της Εργασίας**

Βασικό κίνητρο για τη διερεύνηση του συγκεκριμένου αντικειμένου, αποτέλεσε η ραγδαία ανάπτυξη του κλάδου των Μη Επανδρωμένων Εναέριων Συστημάτων συναρτήσει της τεχνολογικής ανάπτυξης των αισθητήρων Τηλεπισκόπησης. Σήμερα αναπτύσσονται συνεχώς αισθητήρες σχεδιασμένοι αποκλειστικά για συστήματα *UAS* με πλούσια φασματική ανάλυση και δυνατότητες για υψηλή/ πολύ-υψηλή χωρική ανάλυση. Λόγω του σχετικά υψηλού κόστους των δεδομένων που προέρχονται από δορυφορικά συστήματα και επανδρωμένα αεροσκάφη, τα συστήματα *UAS* μπορούν να παίξουν σημαντικό πλέον ρόλο στην χαρτογράφηση περιοχών ιδίως σε χρονικές περιόδους με νεφοκάλυψη. Οι λύσεις αυτές έχουν ήδη εφαρμογές στην ασφάλεια, γεωργία ακριβείας, χαρτογράφηση εδαφών και λατομείων κ.α.

Κίνητρο επίσης αποτέλεσε η διάθεση των παραπάνω αισθητήρων από το εργαστήριο Τηλεπισκόπησης και η ανάγκη ταυτόχρονης λήψης ετερογενών δεδομένων όπως υπερφασματικά, θερμικά, οπτικά, πολυφασματικά κ.α. με σκοπό την ανάπτυξη μεθοδολογίας συνδυασμού τους αλλά και αξιολόγησης τους για ποικίλες εφαρμογές.

Η συνεισφορά της παρούσας εργασίας συνοψίζεται:

1. Στο σχεδιασμό, κατασκευή και παραμετροποίηση βάσης σταθεροποίησης υπερφασματικού αισθητήρα.
2. Στην ενσωμάτωση πολλαπλών αισθητήρων (οπτικό, θερμικό, πολυφασματικό, υπερφασματικό) και συνδυασμό τους με αισθητήρες προσδιορισμού θέσης (*GPS / INS*).
3. Στη μελέτη και υλοποίηση διαδικασίας προεπεξεργασιών για την παραγωγή πολυφασματικών, υπερφασματικών, θερμικών ορθοεικόνων ανακλαστικότητας.
4. Στη μελέτη, υλοποίηση και αξιολόγηση ταξινομήσεων από τις ορθοεικόνες ανακλαστικότητας αλλά και το συνδυασμό ετερογενών δεδομένων (πχ. πολυφασματικά με θερμικά).

## **1.3 Παρόμοιες Εργασίες και Συστήματα Λήψης Φασματικών Δεδομένων**

Αρκετοί ερευνητές αλλά και εταιρείες μελετούν γενικότερα τα Συστήματα Μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών αλλά και ειδικότερα τη λήψη τηλεπισκοπικών δεδομένων με διάφορους αισθητήρες του Η/Μ φάσματος.



Τον Φεβρουάριο του 2014 οι *Duan et al.*, αξιολόγησαν την καταλληλότητα του μοντέλου *PROSAIL* για την εκτίμηση του *Leaf Area Index (LAI)* σε τρεις τυπικές γραμμικές καλλιέργειες (αραβόσιτου, πατάτας και ήλιου) με υπερφασματικά δεδομένα που λήφθηκαν από Μη Επανδρωμένα Εναέρια Οχήματα (*UAV*). Η εκτίμηση αυτή έγινε μέσω ενός πίνακα αναζήτησης (*LUT*) βασισμένο στην αντιστροφή του μοντέλου *PROSAIL*, η οποία στη συνέχεια αξιολογήθηκε με επιτόπου μετρήσεις του *LAI* στο έδαφος. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η μεθοδολογία αυτή ήταν αξιόπιστη για την εκτίμηση του *LAI* στις συγκεκριμένες τρεις καλλιέργειες με σφάλμα (*RMSE*) περίπου  $0,62 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$  και σχετικό σφάλμα (*RRMSE*) περίπου 15.5%.

Γενικότερα η εκτίμηση του *LAI* σε μεγάλη κλίμακα είναι σημαντική για διάφορες κλιματολογικές και γεωργικές εφαρμογές. Χρησιμοποιώντας την τεχνολογία των Μη Επανδρωμένων Εναέριων Οχημάτων για τη λήψη τηλεπισκοπικών δεδομένων με πλήθος αισθητήρων μπορούν να συγκριθούν και αξιολογηθούν διάφορες εκτιμήσεις του *LAI* σε καλλιέργειες αμπελιών στη Νεμέα, Ελλάδα. Τα δεδομένα αυτά ήταν συνδυασμός υπερφασματικών εικόνων, *RGB* ορθομωσαϊκών και μοντέλων επιφανείας. (*Kalisperakis et al., 2015*).

Το εργαστήριο *Boise Center Aerospace* του *Idaho State University* και το Εθνικό εργαστήριο του *Idaho* ανέπτυξαν σύστημα Μη Επανδρωμένου Εναέριου Οχήματος για τη λήψη υπερφασματικών δεδομένων. Πραγματοποίησαν δοκιμαστικές πτήσεις για να εξετασθεί η επιρροή του υψομέτρου στα γεωμετρικά σφάλματα, στη συνένωση (μωσαϊκό) των εικόνων και στην ταξινόμηση ξηρής βλάστησης. Μέσω των πτήσεων συλλέχθηκαν επιτυχώς χρήσιμα δεδομένα, τα οποία μπορούσαν στη συνέχεια να εισαχθούν σε διαδικασίες ταξινόμησης. Τα αποτελέσματα της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης υποστηρίζουν στόχους διαχείρισης βλάστησης που βασίζονται στη χαρτογράφηση θαμνωδών εκτάσεων και σχέδια διανομής. Πολλές φορές οι επιβλεπόμενες ταξινομήσεις εμφανίζουν έντονο θόρυβο ή σφάλματα στο μωσαϊκό που προέρχονται από εσφαλμένες περιοχές είτε λόγω εξισορρόπησης χρώματος είτε λόγω επικαλυπτόμενων εικόνων. (*Mitchell et al., 2012*).

Η μη καταστροφική μέθοδος παρακολούθησης της ανάπτυξης της καλλιέργειας με πολυφασματικούς ή υπερφασματικούς αισθητήρες είναι μια συνήθης πρακτική στη γεωργία ακριβείας. Τα δορυφορικά συστήματα ή τα αεροσκάφη δεν μπορούν να παρέχουν χωρική και χρονική διακριτικότητα για τέτοιες εφαρμογές λόγω του υψηλού τους κόστους. Η ανάπτυξη των Μη Επανδρωμένων Εναέριων Συστημάτων τα οποία είναι ικανά να εξοπλιστούν με υπερφασματικούς αισθητήρες μπορούν να αποτελούν την κατάλληλη λύση για να καλύψουν το παραπάνω κενό. (*Bareth et al., 2015*). Στη συγκεκριμένη δημοσίευση οι ερευνητές παρουσιάζουν δυο υπερφασματικούς *full – frame* αισθητήρες, οι οποίοι ζυγίζουν κάτω του 1 kg και μπορούν να τοποθετηθούν σε μικρού βάρους *UAVs* (<3kg). Τα πρώτα αποτελέσματα των παραπάνω υπερφασματικών δεδομένων συγκρίθηκαν με σπεκτροαδιόμετρο χειρός.

Πολλαπλοί κατανεμημένοι αισθητήρες σε ένα σύστημα δίνουν τη δυνατότητα για περισσότερη συλλογή πληροφορίας και πραγματοποίηση προχωρημένων εφαρμογών όπως αναγνώριση αντικειμένων και παρακολούθηση, αντικείμενα μελέτης που περιορίζονται με τη χρήση ενός μόνο αισθητήρα. Παρόλα αυτά, τέτοια συστήματα παρουσιάζουν περιορισμούς ως προς τη λειτουργία, λόγω δυσκολίας συντονισμού τους. Τα Μη Επανδρωμένα Εναέρια Συστήματα (UAVs) παρέχουν μοναδική ευκαιρία λειτουργίας συστημάτων πολλαπλών αισθητήρων. Παρόλο που και αυτά τα συστήματα συχνά περιορίζονται από παράγοντες όπως η διαθέσιμη ισχύς λόγω της χωρητικότητας των μπαταριών τους, πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις και αλγοριθμικές αναβαθμίσεις παρέχουν UAVs με περισσότερη διαθέσιμη υπολογιστική ισχύ. Ερευνητές της παρούσας δημοσίευσης ανακαλύπτουν σύνθεση εφαρμογών επεξεργασίας εικόνας και τεχνικές αναγνώρισης αντικειμένων με προοπτικές συνεργασίας σμήνους UAVs (Zientara et al., 2018).

Δεδομένα τριών διαστάσεων έχουν μεγάλη ζήτηση στην παρακολούθηση του περιβάλλοντος και των φυσικών καταστροφών. Για να αναπαρασταθεί ένας 3D χώρος με λεπτομέρεια είναι απαραίτητο να συλλεχθούν ταυτόχρονα και αποτελεσματικά δεδομένα του 3D σχήματος και της υψής. Ωστόσο αυτή η διαδικασία δεν είναι ούτε αξιόπιστη αλλά ούτε γρήγορη και φθηνή μέθοδος ειδικά όταν απαιτείται η υψηλή ανάλυση σε εξωτερικούς χώρους καθώς και κινούμενα περιβάλλοντα. Σε αυτήν την έρευνα προτείνεται η λύση των UAVs. Συνήθως, τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται σε στρατιωτικές εφαρμογές, παρόλα αυτά εμπλέκονται και σε πολιτικές εφαρμογές όπως χαρτογράφηση και παρακολούθηση καταστροφών. Τα UAVs μπορούν να ίπτανται σε χαμηλό ύψος και να λαμβάνουν ακριβείς πληροφορίες για επικίνδυνες συνθήκες, όμως ενέχουν περιορισμούς ως προς το ωφέλιμο βάρος που μπορούν να φέρουν. Σε αυτήν την έρευνα ο συνδυασμός ενός CCD αισθητήρα με ένα μικρού μεγέθους και οικονομικού laser scanner και με χαμηλού κόστους IMU και GPS παρουσιάζεται για ένα σύστημα 3D χαρτογράφησης. Επιτυγχάνεται αυτοματοποιημένη άμεση γεωαναφορά χρησιμοποιώντας όλους τους αισθητήρες χωρίς σημεία ελέγχου στο έδαφος, με τη σύνθεση των παραπάνω δεδομένων από φίλτρα Kalman (Nagai et al., 2008).

#### **1.4 Μη Επανδρωμένα Εναέρια Οχήματα**

Τα τελευταία χρόνια με την ανάπτυξη της τεχνολογίας τα Μη επανδρωμένα Εναέρια Οχήματα (UAV, UAS) εφαρμόζονται ολοένα και περισσότερο σε εφαρμογές που σχετίζονται με την έρευνα και τις εφαρμογές των Μηχανικών. Υπερτερούν έναντι των συμβατικών μεθόδων χαρτογράφησης λόγω της ταχύτητάς τους στην αποτύπωση, την ευκολία τους να επιχειρούν σε οποιοδήποτε ανάγλυφο γρήγορα και αποτελεσματικά καθώς και το χαμηλό κόστος τους (αγορά, συντήρηση, λειτουργία). Πλεονέκτημα που τα καθιστά εξαιρετικά ανταγωνιστικά σε σχέση με τις συμβατικές πλατφόρμες Τηλεπισκόπησης είναι η ευχέρεια της τοποθέτησης

οποιοδήποτε αισθητήρα και η λήψη πολυφασματικών – θερμικών ακόμα και υπερφασματικών δεδομένων σε άμεσο χρόνο και με ελάχιστο κόστος.

#### 1.4.1 Κατηγορίες Μη Επανδρωμένων Εναέριων Μέσων

Ανάλογα με τον τύπο του οχήματος αλλά και το είδος του συστήματος προώθησης, τα Μη Επανδρωμένα Εναέρια Οχήματα διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- **Αεροπλάνα:** οχήματα σταθερών πτερύγων σε ποικίλες διαστάσεις και τύπου καυσίμου. Η διάσταση του ανοίγματος πτέρυγας μπορεί να είναι από 50 cm έως και μερικά μέτρα. Η κινητήρια δύναμη μπορεί να είναι είτε ηλεκτρικός κινητήρας είτε κινητήρας εσωτερικής καύσης. Τα αεροσκάφη που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές χαρτογράφησης συνήθως είναι ηλεκτρικά, μπορούν να εξοπλιστούν με κάθε είδους αισθητήρα Τηλεπισκόπησης (πάντα σύμφωνα με τα όρια μάζας ανύψωσης του αεροσκάφους) και μπορούν να καλύψουν εκτάσεις από 1 έως και 15 τετραγωνικά χιλιόμετρα σε μία πτήση. Μειονέκτημα τους το υψηλό κόστος, η δυσκολία χειρισμού και η απαίτηση διαδρόμου από/προσγείωσης (Σχήμα 1.1).
- **Πολυκόπτερα:** οχήματα κινούμενων πτερύγων με πολλαπλούς βραχίονες στήριξης κινητήρων. Τα οχήματα αυτά μπορεί να είναι τεσσάρων, έξι, οκτώ κοκ. στροφείων με δυνατότητα ανύψωσης μεγαλύτερου βάρους συγκριτικά με το μέγεθος τους, σε σχέση με τα αεροπλάνα. Λειτουργούν με ηλεκτρικούς κινητήρες τροφοδοτούμενοι από επαναφορτιζόμενες μπαταρίες. Τα συστήματα αυτά μπορούν επίσης να εξοπλιστούν με διάφορους αισθητήρες τηλεπισκόπησης, ενώ μπορούν να από/προσγειώνονται κάθετα (*Vertical Take off and Landing – VTOL*). Μειονέκτημα τους ο μικρός χρόνος πτήσης, ο οποίος είναι της τάξης των 10-20 λεπτών με αποτέλεσμα τη μείωση της χαρτογραφούμενης έκτασης περίπου 100-300 στρέμματα (Σχήμα 1.2).
- **Ελικόπτερα:** οχήματα κινούμενων μεταβλητών πτερύγων σχήματος συμβατικών ελικοπτέρων. Τα ελικόπτερα έχουν δυνατότητα ανύψωσης μεγαλύτερου βάρους σε σχέση με τα πολυκόπτερα και μπορούν να έχουν κινητήρα εσωτερικής καύσης ή ηλεκτρικό. Μπορούν επίσης να φέρουν οποιασδήποτε μορφής τηλεπισκοπικό αισθητήρα και η από/προσγείωση τους γίνεται κάθετα ομοίως με τα πολυκόπτερα (*VTOL*). Η διάρκεια πτήσης τους είναι αυξημένη σε σχέση με τα προηγούμενα της τάξης των 30-70 λεπτών, με αποτέλεσμα να μπορούν να χαρτογραφήσουν εκτάσεις άνω των 300 στρεμμάτων έως μερικών τετραγωνικών χιλιομέτρων. Μειονεκτήματα τους η πολυπλοκότητα, ο δύσκολος χειρισμός καθώς και το υψηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης (Σχήμα 1.3).



Σχήμα 1.1 - Εικόνα Αεροσκάφους UAS της εταιρείας UCANDRONE IKE.



Σχήμα 1.2 - Εικόνα Πολυκοπτήρου UAS της εταιρείας DJI.



Σχήμα 1.3 - Εικόνα Ελικοπτήρου UAS της εταιρείας Velos Rotors LLC.

### 1.4.2 Νομοθεσία

Από 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου 2017, ισχύει νομικό πλαίσιο που είναι δημοσιευμένο στο ΦΕΚ Τεύχος Β' 3152/30.09.2016 για τον Κανονισμό – γενικό πλαίσιο πτήσεων Συστημάτων μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών – ΣμηΕΑ (*Unmanned Aircraft Systems – UAS*). Με τον συγκεκριμένο κανονισμό καθορίζονται οι όροι και οι προϋποθέσεις για την εκτέλεση πτήσεων UAS στον χώρο του *ATHINAI FIR / HELLAS UIR*.

Πιο συγκεκριμένα, η νομοθεσία διαχωρίζει τις κατηγορίες «Αερομοντέλα» και «Μη Επανδρωμένα Συστήματα» και αναφέρει τις επιχειρησιακές λειτουργίες που μπορούν να έχουν τα τελευταία. Τα ΣμηΕΑ χωρίζονται σε κατηγορίες ανάλογα με τα ακόλουθα κριτήρια:

- Μέγιστη μάζα απογείωσης (*Maximum Takeoff Mass – MTOM*)
- Είδος της χρήσης
- Ύψος άνωθεν της επιφάνειας της γης ή της θάλασσας όπου επιτρέπεται να ίπτανται
- Περιοχές (αποκλειστικές ή μη) όπου ίπτανται
- Τεχνικές δυνατότητες εκάστου ΣμηΕΑ
- Πολυπλοκότητα του περιβάλλοντος πτητικής λειτουργίας του ΣμηΕΑ.

Έτσι, λαμβάνονται υπόψη τα παραπάνω, οι κατηγορίες ΣμηΕΑ είναι οι εξής:

1. Η «ανοιχτή κατηγορία (*UAS Open Category*)
2. Η «ειδική» κατηγορία (*UAS Specific Category*)
3. Η «πιστοποιημένη» κατηγορία (*UAS Certified Category*)

Οι άδειες των χειριστών ΣμηΕΑ, εκδίδονται από την Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας μετά την επιτυχή παρακολούθηση εκπαίδευσης (θεωρητικής και πρακτικής) από πιστοποιημένα κέντρα εκπαίδευσης. Οι άδειες αυτές χωρίζονται ανάλογα με τη μέγιστη μάζα απογείωσής των Συστημάτων μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών ως εξής:

- ✚ Κατηγορία *A – UAS Pilot A*: Μέχρι 1 kg
- ✚ Κατηγορία *B – UAS Pilot B*: Από 1 kg έως 4 kg
- ✚ Κατηγορία *C – UAS Pilot C*: Από 4 kg έως 25 kg
- ✚ Κατηγορία *D – UAS Pilot D*: Από 25 kg έως 150 kg
- ✚ Κατηγορία *E – UAS Pilot E*: Από 150 kg και πάνω

### 1.4.3 Περιοχές απαγόρευσης πτήσεων ΣμηΕΑ

Για την πραγματοποίηση πτήσεων ΣμηΕΑ, των παρακάτω περιοχών απαιτείται ειδική άδεια από την ΥΠΑ/Δ4 καθώς και από την κατά λόγο αρμοδιότητας Δημόσια Υπηρεσία.

1. Σε απαγορευμένες, περιορισμένες, επικίνδυνες και δεσμευμένες περιοχές όπως αυτές αναφέρονται στις πάσης φύσεως αεροναυτικές εκδόσεις της ΥΠΑ
2. Σε ύψος μεγαλύτερο των τετρακοσίων ποδών (400 ft) από την επιφάνεια του εδάφους ή του ύδατος

*1 Αντικείμενο και Σχετικές Εργασίες*

3. Σε απόσταση μικρότερη των οκτώ χιλιομέτρων – πέντε ναυτικών μιλίων (8 km) από ελεγχόμενο αεροδρόμιο, πεδίο προσγειώσεως και ελικοδρόμιο
4. Άνωθεν, πλησίον ή εντός της πάσης φύσεως στρατιωτικών περιοχών / Εγκαταστάσεων, και ζωτικών υποδομών
5. Εντός στρατιωτικών ή πολιτικών αεροδρομίων και ελικοδρομίων
6. Άνωθεν ή πλησίον εγκαταστάσεων κοινής ωφέλειας
7. Άνωθεν ή πλησίον αρχαιολογικών χώρων
8. Σε περιοχές περιβαλλοντολογικής προστασίας

# 2 Αισθητήρες, Δεδομένα και Προεπεξεργασίες

Στο σημείο αυτό, αρχικά θα γίνει αναφορά στο Μη επανδρωμένο Εναέριο Όχημα που χρησιμοποιήθηκε καθώς και στο σύστημα σταθεροποίησης αισθητήρων. Το κεφάλαιο συνεχίζεται με τη διαδικασία σχεδιασμού των πτήσεων καταγραφής, τη συλλογή και προεπεξεργασία των δεδομένων και θα ολοκληρωθεί με την οπτικοποίηση των δεδομένων σε λογισμικό *GIS*.

## 2.1 UAS – Πολυκόπτερο

Για τις πτήσεις καταγραφής της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας, χρησιμοποιήθηκε το πολυκόπτερο της εταιρείας *UcanDrone IKE*. Η συγκεκριμένη πλατφόρμα αποτελείται από 8 βραχίονες σε σειρά και είναι τύπου οχτακόπτερου (*octa-copter*). Έχει κατασκευαστεί από την εταιρεία αποκλειστικά για πτήσεις χαρτογράφησης με δυνατότητα ανύψωσης ωφέλιμου βάρους έως και 4 kg, ενώ η μέγιστη διάρκεια πτήσης της είναι τα 25 min. Η επιλογή της διαμόρφωσης με 8 έλικες πλεονεκτεί σχετικά με την ασφάλεια που προσφέρει κατά την πτήση και πιο συγκεκριμένα η ιδιότητά του να προσγειώνεται με ασφάλεια σε περίπτωση αστοχίας έως και 2 ηλεκτρικών κινητήρων. Διαθέτει αυτόματο πιλότο του αμερικάνικου οίκου *ProfiCNC* και συγκεκριμένα τον *Pixhawk 2* με διπλό σύστημα εντοπισμού θέσης (*GPS*), εκ των οποίων το ένα είναι τεχνολογίας *RTK (Real – time Kinematic)*.

Το σύστημα το αυτόματου πιλότου είναι ανοιχτού υλικό – λογισμικού με αποτέλεσμα ο χρήστης (*operator*) να έχει πρόσβαση σε όλους τους παραμέτρους του κώδικα λειτουργίας του και να προσθέσει – αφαιρέσει οποιονδήποτε αισθητήρα επιθυμεί, ανάλογα πάντα με τα πρωτόκολλα επικοινωνίας που διαθέτει.

Ο *Pixhawk 2* αποτελείται από μια κεντρική πλακέτα – *carrier board*, μέσω της οποίας γίνεται η σύνδεση με τα υπόλοιπα υπο-συστήματα του σκάφους, και έναν κύβο (*cube*), ο οποίος περιλαμβάνει τους βασικούς αισθητήρες για την πλοήγηση του αεροσκάφους μονωμένους από εξωτερικές πηγές παρεμβολών και απότομων μεταβολών θερμοκρασίας. Οι αισθητήρες αυτοί λειτουργούν ταυτόχρονα και στην περίπτωση που κάποιος αστοχήσει, αυτόματα απενεργοποιείται και συνεχίζουν οι εναπομείναντες.

Οι αισθητήρες αυτοί είναι:

- Τρεις πυξίδες (*Compass*)

- Τρία επιταχυνσιόμετρα (*Accelerometer*)
- Τρία γυροσκόπια (*Gyro*)
- Τρία Βαρόμετρα (*Barometer*)



Σχήμα 2.1 - Εικόνα που απεικονίζει τον αυτόματο πιλότο του πολυκόπτερου καταγραφής

Στην θέση του πρωτεύοντος *GPS* του αυτόματου πιλότου έχει συνδεθεί το ο κινούμενος δέκτης (*Rover Module*) του συστήματος *RTK GPS* που αναφέρθηκε παραπάνω. Τα δεδομένα του (*ntrip*) μεταφέρονται μέσω της τηλεμετρίας στον σταθμό βάσης (*Base Module*), το οποίο έχει τοποθετηθεί σε σημείο γνωστών συντεταγμένων. Η μέγιστη σχετική ακρίβεια ολόκληρου του συστήματος εντοπισμού θέσης είναι της τάξης του εκατοστού. Αξίζει να αναφερθεί ότι υπάρχει συνδεδεμένος και δευτερεύον δέκτης *GPS*, χαμηλότερης ακρίβειας, ως δικλείδα ασφαλείας.

Η τηλεμετρία του συστήματος μεταφέρει τα δεδομένα της πτήσης σε πραγματικό χρόνο (*Real – time*) στον σταθμό εδάφους με ρυθμό ανανέωσης *50 Hz*. Έτσι, παρακολουθούνται όλοι οι αναγκαίοι παράμετροι του αεροσκάφους κατά την πτήση χαρτογράφησης, όπως η κατάσταση της μπαταρίας, η θέση του στον χάρτη, οι θέσεις λήψεως των εικόνων και άλλοι χρήσιμοι παράμετροι του αεροσκάφους. Ο χειριστής μπορεί να αποφασίσει ανά πάσα στιγμή την παύση ή τη ματαίωσή της αποστολής εάν κριθεί σκόπιμο.

Το λογισμικό παρακολούθησης και σχεδιασμού των πτήσεων είναι το *Mission Planner*, το οποίο έχει αναπτυχθεί από την ομάδα έρευνας και ανάπτυξης του *ArduPilot*. Αποτελεί και αυτό ανοιχτού κώδικα (*open source*) λογισμικό και πραγματοποιούνται ενημερώσεις (*updates*) σε συχνό χρονικό διάστημα από τους δημιουργούς του. Το συγκεκριμένο λογισμικό χρησιμοποιείται μαζί με άλλα όπως *Apm Planner*, *Tower*, *QGroundControl* σε πλατφόρμες βασισμένες στον κώδικα *ArduPilot* τα οποία μπορούν να είναι είτε εναέρια μέσα (αεροπλάνα, ελικόπτερα, πολυκόπτερα), είτε εδάφους (*Rover*, *Tracker*) είτε ακόμα και θαλάσσια – υποθαλάσσια (*Boat*, *UnderWater Rovers*).

## 2.2 Φασματικοί Τηλεπισκοπικοί Αισθητήρες

Για τη διεξαγωγή των πτήσεων καταγραφής και τη συλλογή χωρικής πληροφορίας χρησιμοποιήθηκαν διάφοροι αισθητήρες Τηλεπισκόπησης. Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε σε



αισθητήρες με υψηλή φασματική ανάλυση οι οποίοι αποτελούν πρόκληση λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών τους και των ποικίλων εφαρμογών αξιοποίησής τους. Στις επόμενες ενότητες γίνεται αναφορά στους αισθητήρες και τα επιμέρους τους χαρακτηριστικά.

### 2.2.1 Υπερφασματικός αισθητήρας – Headwall VNIR

Η αμερικάνικη εταιρεία *HeadWall Photonics*, κατασκευάζει υπερφασματικούς αισθητήρες διαφόρων περιοχών του Η/Μ φάσματος, για Μη επανδρωμένα Συστήματα και δορυφόρους. Η εταιρεία στοχεύει στην κατασκευή οπτικών υψηλής ακρίβειας και καλύπτει εφαρμογές τηλεπισκόπησης, προχωρημένης υπολογιστικής όρασης, ιατρικής-βιοτεχνολογίας καθώς και αμυντικές.

Ο συγκεκριμένος αισθητήρας είναι σχεδιασμένος για εφαρμογές Γεωργίας Ακρίβειας. Είναι ευαίσθητος σε φάσμα με εύρος από το ορατό έως και κοντινό υπέρυθρο (400-1000nm), είναι τεχνολογίας *PushBroom / Line Scanning* και διαθέτει 328 φασματικά κανάλια. Για τη λειτουργία του είναι απαραίτητος ηλεκτρονικός υπολογιστής με τον οποίο συνδέεται μέσω πλακέτας *PCI* και τα δεδομένα που λαμβάνονται αποθηκεύονται σε σκληρό δίσκο τεχνολογίας *SSD*.

Πάνω στον αισθητήρα έχει τοποθετηθεί αδρανειακό σύστημα (*IMU*) και εξωτερικός δέκτης εντοπισμού θέσης (*GPS*), τα οποία συνδέονται με τον κύριο υπολογιστή. Το λογισμικό *HeadWall SpectralView* της κατασκευάστριας εταιρείας, συσχετίζει τα δεδομένα από όλα τα υπο-συστήματα με τα δεδομένα λήψης του αισθητήρα και επιλύονται στη συνέχεια με σκοπό την εξαγωγή των ορθομωσαϊκών. Ακολούθως παρουσιάζονται η εικόνα του αισθητήρα (Σχήμα 2.2) καθώς και τα τεχνικά του χαρακτηριστικά (Πίνακας 2.1).



Σχήμα 2.2 - Εικόνα του Υπερφασματικού αισθητήρα HEADWALL VNIR.

Πίνακας 2.1 - Τεχνικά χαρακτηριστικά του Υπερφασματικού αισθητήρα HEADWALL VNIR.

Parameter	Result	Units
<b>Spectrometer Platform</b>	Micro_Hyperspec_VNIR A1 – Series	NA
<b>Selected Camera</b>	CCD, 1004x1004, 50 fps	NA
<b>Dispersion / Pixel</b>	1.85	nm/Pixel
<b>Entrance Slit Width</b>	25	μm
<b>FWHM of Slit Image</b>	4.0	nm
<b>Focal Length of chosen fore-optic</b>	17.0	mm
<b>Distance To Scene</b>	300.0	meters
<b>Linear FOV Along Slit Length</b>	131.80	meters
<b>Per Pixel IFOV</b>	0.13	meter
<b>Along Track Linear IFOV (across slit width)</b>	441.2	mm
<b>Scene @ Infinity</b>	Infinity	NA
<b>Angular FOV Along Slit Length</b>	24.65	deg
<b>Angular Per Pixel IFOV</b>	0.44	mrad
<b>Angular Along Track Linear IFOV (across slit width)</b>	1.47	mrad

### 2.2.2 Πολυφασματικός αισθητήρας – Parrot Sequoia NIR

Ο συγκεκριμένος αισθητήρας έχει κατασκευαστεί από τον εταιρεία *Parrot Drone SAS* και η χρήση του προορίζεται για εφαρμογές γεωργίας ακριβείας. Λόγω του μικρού της μεγέθους και βάρους μπορεί να τοποθετηθεί σε αρκετών ειδών μη επανδρωμένα συστήματα όπως αεροπλάνα, ελικόπτερα, πολυκόπτερα διαφόρων κατασκευαστών.

Διαθέτει 4 ξεχωριστά φασματικά κανάλια, *Green (550 BP 40)*, *Red (660 BP 40)*, *Red Edge (735 BP 10)* και *Near Infrared (790 BP 40)* τεχνολογίας *Global Shutter*, καθώς και έναν ανεξάρτητο αισθητήρα *RGB* τεχνολογίας *Rolling Shutter*. Η κάμερα συνδέεται μέσω καλωδίου με τον αισθητήρα φωτομέτρου, ο οποίος εκτός από τους 4 αισθητήρες για τη βαθμονόμηση των τεσσάρων καναλιών περιλαμβάνει επιπρόσθετα δέκτη *GPS*, αδρανειακό σύστημα *IMU* καθώς και υποδοχή κάρτας μνήμης.



Σχήμα 2.3 - Εικόνα του Πολυφασματικού αισθητήρα Parrot Sequoia NIR. (Πηγή: [www.parrot.com](http://www.parrot.com) Drones SAS. Assessed: 10/5/2018).

Πίνακας 2.2 - Τεχνικά χαρακτηριστικά του Πολυφασματικού αισθητήρα Parrot Sequoia NIR. (Πηγή: [www.parrot.com](http://www.parrot.com) Parrot Drones SAS. Assessed: 10/5/2018).

16 MP RGB Camera	1.2 MP Global Shutter Single-Band Cameras	Dimensions & Characteristics
<b>Definition: 4608x3456 pixels</b>	Definition: 1280x960 pixels	59mm X 41mm X 28mm
<b>HFOV: 69.9°</b>	HFOV: 61.9°	72gr
<b>VFOV: 50.1°</b>	VFOV: 48.5°	Up to 1 fps
<b>DFOV: 73.5°</b>	DFOV: 73.7°	64 GB Built-in Storage

### 2.2.3 Θερμικός αισθητήρας Flir Vue Pro

Ο θερμικός αισθητήρας *Flir Vue Pro* έχει κατασκευαστεί από την αμερικάνικη εταιρεία *FLIR Systems Inc.* Ο αισθητήρας αναπτύχθηκε αποκλειστικά για χρήση σε μη επανδρωμένα συστήματα, το οποίο φανερώνεται από τα φυσικά του χαρακτηριστικά. Επίσης έχει τη δυνατότητα επικοινωνίας με πρωτόκολλα “MAVLINK” αλλά και έλεγχος μέσω παλμού (*PWM*), τα οποία διαθέτουν τα περισσότερα συστήματα *UAS*. Ο αισθητήρας, διαθέτει συγκεκριμένο λογισμικό (χρήση μέσω κινητού ή *tablet*) με το οποίο μπορεί ο χρήστης να ελέγξει ή τροποποιήσει όλους τους παραμέτρους του αισθητήρα. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα για αυτόματη λήψη εικόνων ανά συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, οι οποίες αποθηκεύονται στη συνέχεια σε κάρτα μνήμης που υπάρχει στο εσωτερικό του. Αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχει η επιλογή απόδοσης συντεταγμένων στην κάθε εικόνα λήψης, λαμβάνοντας και συσχετίζοντας τις θέσεις λήψης των εικόνων από τον αυτόματο πιλότο του αεροσκάφους.



Σχήμα 2.4 - Εικόνα του Θερμικού αισθητήρα Flir Vue Pro. (Πηγή: [www.flir.com](http://www.flir.com) Flir Systems Inc. Assessed: 10/5/2018).

Πίνακας 2.3 - Πίνακας των τεχνικών χαρακτηριστικών του Θερμικού αισθητήρα Flir Vue Pro. (Πηγή: [www.flir.com](http://www.flir.com) Flir Systems Inc. Assessed: 10/5/2018).

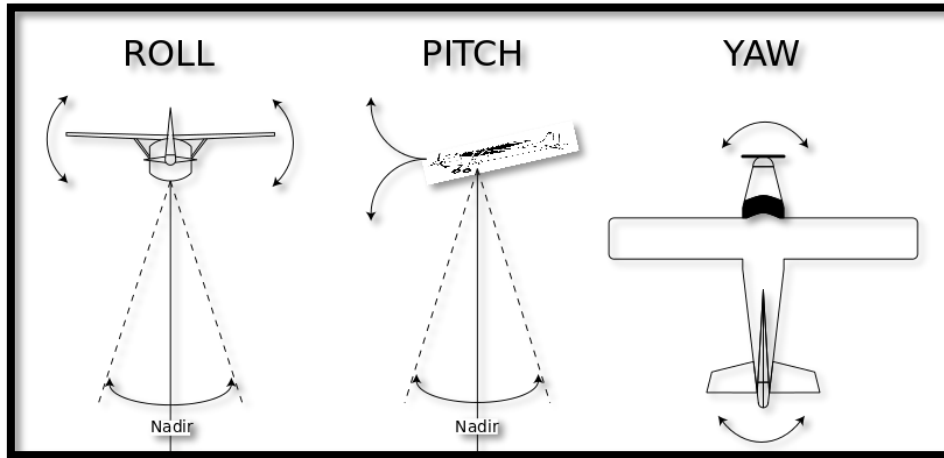
Precision Mounting Holes	Two M2x0.4 on each of two sides & bottom One 1/4-20 threaded hole on top
Size	2.26" x 1.75" (including lens)
Spectral Band	7.5 - 13.5 $\mu\text{m}$
Thermal Imager	Uncooled VOx Microbolometer
Zoom	Yes – Adjustable in App and via PWM
Analog Video Output	Yes
Non-Operating Temperature Range	-55°C to +95°C
Operating Temperature Range	-20°C to +50°C
Operational Altitude	+40,000 feet
Color palettes	Yes – Adjustable in App and via PWM
Full Frame Rate	7.5 Hz (NTSC); 8.3 Hz (PAL)
Image Optimization for sUAS	Yes
Invertable Image	Yes – Adjustable in App
Lens Options	9 mm; 69° × 56°
Scene Presets & Image Processing	Yes – Adjustable in App
Sensor Resolution	640 × 512
Lens Options [FOV for NTSC Analog Output]	9 mm: 62° × 49°
HDMI Output	1280x720 @ 50hz, 60hz

### 2.3 Βάση Σταθεροποίησης Υπερφασματικού αισθητήρα – Brushless Gimbal

Λόγω της πολύπλοκης λειτουργίας των υπερφασματικών αισθητήρων είναι αναγκαία η κατασκευή ειδικής βάσης στήριξης πάνω στις εναέριες πλατφόρμες τηλεπισκόπησης. Η βάση αυτή αφενός θα στηρίζει με ασφάλεια τον αισθητήρα πάνω στο αεροσκάφος, αφετέρου είναι απαραίτητος ο μηχανισμός σταθεροποίησης του αισθητήρα καθ' όλη τη διάρκεια της πτήσεως. Πιο συγκεκριμένα, όλες οι εναέριες πλατφόρμες κατά τη διάρκεια της πτήσης μπορούν να έχουν αποκλίσεις της τροχιάς τους ως προς τους τρεις βαθμούς ελευθερίας τους, οι οποίοι είναι:

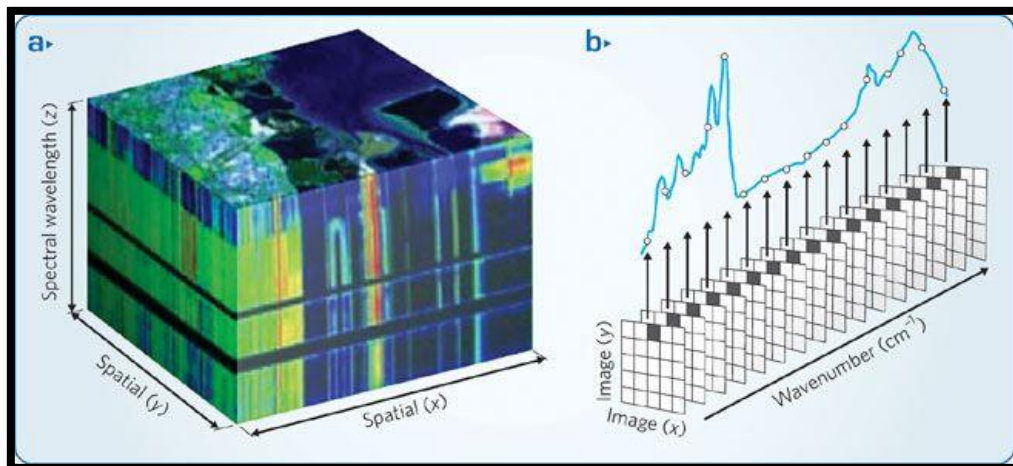
- Roll

- Pitch
- Yaw



Σχήμα 2.5 - Οι τρεις βαθμοί ελευθερίας ενός Εναέριου Συστήματος.

Οι διάφορες δοκιμές που έγιναν στο εργαστήριο με υπερφασματικούς αισθητήρες τύπου *PushBroom / Line Scanning*, έδειξαν ότι η παραμικρή απόκλιση σε οποιονδήποτε από τους τρεις παραπάνω άξονες αλλοιώνει σημαντικά την γραμμή σάρωσης των δεδομένων, με αποτέλεσμα να μην μπορούν να διορθωθούν και να συσχετισθούν στη συνέχεια. Η τεχνολογία *PushBroom* έναντι του συνηθισμένου *Global Shutter*, που έχουν οι περισσότερες φωτογραφικές μηχανές λαμβάνει την εικόνα σαρώνοντας την περιοχή μελέτης κατά μήκος το οποίο είναι κάθετο στον άξονα πτήσης. Έτσι λοιπόν κατά τη διάρκεια της σάρωσης αυτής, οποιαδήποτε γωνία του αισθητήρα (*Pitch, Roll, Yaw*) αλλοιώνει γεωμετρικά την γραμμή της σάρωσης.



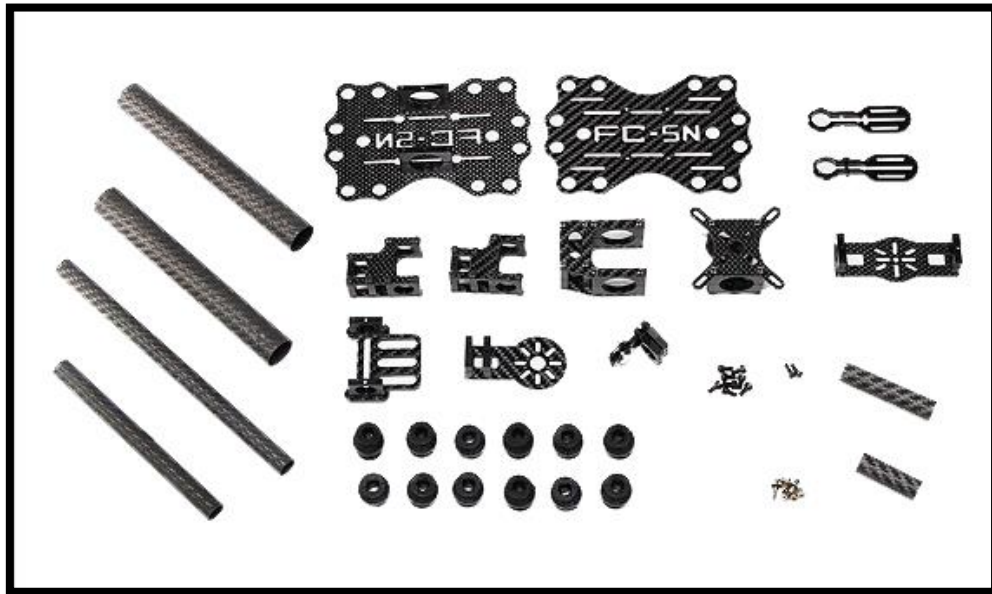
Σχήμα 2.6 - Διαδικασία σάρωσης Υπερφασματικού αισθητήρα. (Πηγή: *Headwall photonics, Inc USA. Assessed: 15/5/2018*).

Η βάση στήριξης που προϋπήρχε στο εργαστήριο Τηλεπισκόπησης της Σχολής ATM του ΕΜΠ, ήταν παλαιότερης τεχνολογίας (κίνηση με σερβομηχανισμούς) υστερούσε κατά πολύ

στην ακρίβεια και ταχύτητα διόρθωσης του προσανατολισμού του Υπερφασματικού αισθητήρα καθώς επίσης ζύγιζε περισσότερο με αποτέλεσμα να υπάρχει μειωμένη διάρκεια πτήσης του UAV.

Έτσι λοιπόν, σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε η νέα βάση στήριξης του Υπερφασματικού αισθητήρα, τεχνολογίας *Brushless Gimbal*. Η βάση αυτή αποτελείται από τον σκελετό ανθρακονήματος (*frame*) για μείωση του βάρους και αύξηση της αντοχής του, τους δυο τριφασικούς ηλεκτρικούς κινητήρες (ένας για κάθε βαθμό ελευθερίας *Pitch, Roll*) και τη μονάδα ελέγχου η οποία συμπεριλαμβάνει δυο ανεξάρτητα αδρανειακά συστήματα (*Inertial Measurement Unit – IMU*).

Αφού συναρμολογήθηκε ο σκελετός (Σχήμα 2.7), προσαρμόστηκαν οι ηλεκτρικοί κινητήρες και στη συνέχεια η μονάδα ελέγχου (Σχήματα 2.8, 2.9). Σειρά είχε η τοποθέτηση του Υπερφασματικού αισθητήρα πάνω στη βάση. Για να γίνει αυτό, σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν ειδικοί προσαρμογείς (*adaptors*), ώστε να συμπίπτει το κέντρο μάζας του αισθητήρα στο κέντρο των αξόνων κίνησης της βάσης (σημείο τομής αξόνων ηλεκτρικών κινητήρων). Η συγκεκριμένη διεργασία είναι η σημαντικότερη όλων, καθώς αν δεν υπάρχει απόλυτη ταύτιση των παραπάνω σημείων δεν μπορεί να λειτουργήσει αποτελεσματικά η ρύθμιση και παραμετροποίηση του συστήματος από τη μονάδα ελέγχου.



Σχήμα 2.7 - Σκελετός ανθρακονήματος της νέας βάσης σταθεροποίησης του Υπερφασματικού αισθητήρα.



Σχήμα 2.8 - Ηλεκτρικός τριφασικός κινητήρας βάσης σταθεροποίησης Υπερφασματικού αισθητήρα.

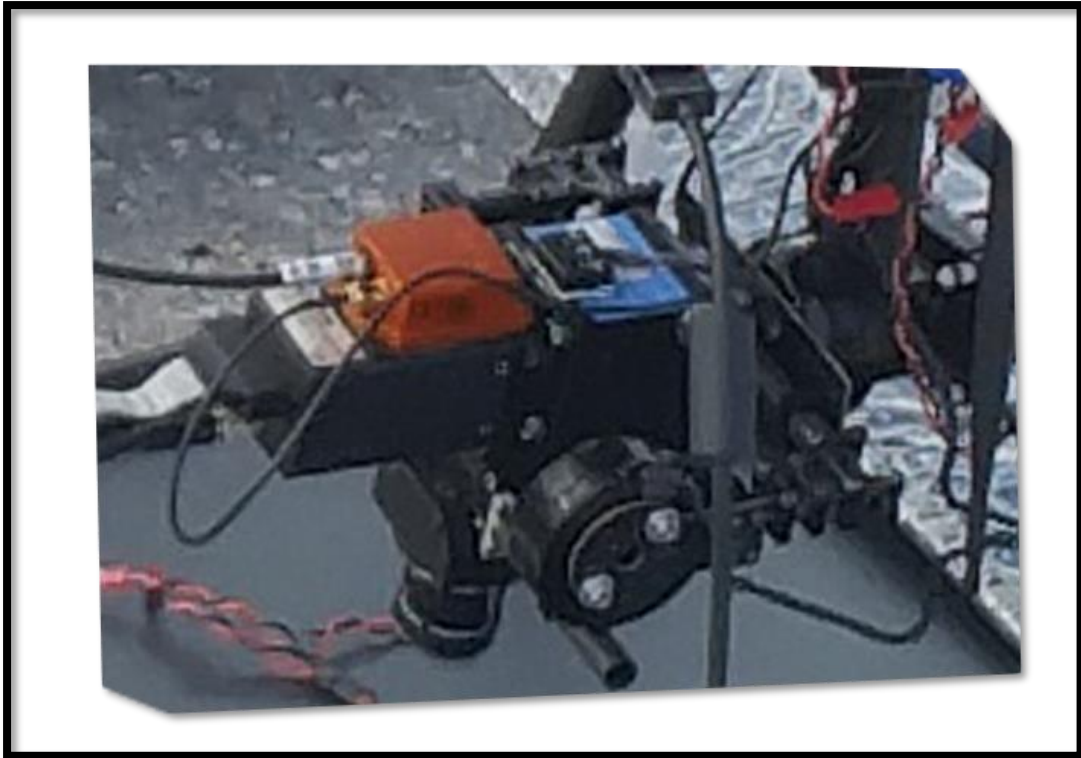


Σχήμα 2.9 - Μονάδα ελέγχου βάσης σταθεροποίησης Υπερφασματικού αισθητήρα.

Τέλος, έγινε η βαθμονόμηση των γυροσκοπίων και των επιταχυνσιόμετρων της μονάδας ελέγχου μέσω του λογισμικού της και η ρύθμιση και παραμετροποίηση των αλγορίθμων *PIDs* για τη βέλτιστη δυνατή ακρίβεια – ταχύτητα διόρθωσης του συστήματος για τον συγκεκριμένο Υπερφασματικό αισθητήρα.

Έτσι λοιπόν οποιαδήποτε γωνία σε οποιονδήποτε βαθμό ελευθερίας κι αν λάβει το αεροσκάφος κατά τη διάρκεια της καταγραφής, ο υπερφασματικός αισθητήρας θα έχει πάντα κατακόρυφο προσανατολισμό (Σχήμα 2.10).

Μετά τις στατικές δοκιμές της βάσης και του αισθητήρα, ξεκίνησαν οι πτητικές δοκιμές ώστε να επιβεβαιωθεί ότι λαμβάνονται δεδομένα τα οποία μπορούν να επιλυθούν στη συνέχεια και να χρησιμοποιηθούν με αξιοπιστία στην εξαγωγή συμπερασμάτων της συγκεκριμένης πειραματικής διαδικασίας.



Σχήμα 2.10 - Τελική εικόνα πλατφόρμας UAS με τοποθετημένο τον Υπερφασματικό αισθητήρα πάνω στη βάση σταθεροποίησης.

## 2.4 Συλλογή Δεδομένων

Στην ενότητα αυτή, γίνεται αναφορά στη διαδικασία σχεδιασμού των πτήσεων καταγραφής για τη συλλογή της χωρικής πληροφορίας της περιοχής μελέτης. Η περιοχή αυτή, είναι μια από τις μαρίνες του Δήμου Γλυφάδας στον νομό Αττικής. Η περιοχή αυτή επιλέχθηκε αφενός διότι αποτελεί ασφαλές μέρος για τη διεξαγωγή πτήσεων με UAS, αφετέρου παρουσιάζει πολλαπλά διαφορετικά υλικά / κατηγορίες κάλυψης όπως βλάστηση, έδαφος, θάλασσα, σκάφη, ασφαλτο κ.α. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας θα γίνει προσπάθεια ανάλυσης και αξιολόγησης της συμπεριφοράς των διαφορετικών αυτών υλικών από τη χαρτογράφηση με διαφορετικούς αισθητήρες, καθώς και στις ποικίλες μεθόδους ταξινόμησης που ακολουθούν. Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για το στάδιο αυτό ήταν το *Mission Planner*, το οποίο βασίζεται στον κώδικα του *ardupilot* και είναι συμβατό με την πλατφόρμα καταγραφής.

### 2.4.1 Περιοχής μελέτης

Αρχικό στάδιο της διαδικασίας σχεδιασμού, αποτελεί η οριοθέτηση της περιοχής μελέτης μέσω του λογισμικού που αναφέρθηκε παραπάνω. Έτσι λοιπόν, στην καρτέλα *flight plan* επιλέγεται ο σχεδιασμός πολυγώνου πάνω σε υπόβαθρο *google earth* (Σχήμα 2.11).





Σχήμα 2.11 - Πολύγωνο οριοθέτησης της περιοχής μελέτης.

Στη συνέχεια μέσω του εργαλείου *Auto WP* και στη συνέχεια επιλέγοντας το *Survey (GRID)* εμφανίζεται το παράθυρο της σχετικής επιλογής. Στο παράθυρο αυτό, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επιλέξει το είδος και τα χαρακτηριστικά του αισθητήρα που θα χρησιμοποιηθεί στην καταγραφή, το ύψος και τις ταχύτητες πτήσης καθώς και τις επιθυμητές επικαλύψεις κατά τις γραμμές πτήσης τόσο σε κατά μήκος (*overlap*) όσο και κατά πλάτος (*sidelap*). Έτσι λοιπόν δημιουργούνται τρεις πτήσεις καταγραφής μια για κάθε τηλεπισκοπικό αισθητήρα. Με την εφαρμογή όλων των παραπάνω στοιχείων το λογισμικό εμφανίζει τον τελικό σχεδιασμό των πτήσεων καταγραφής με τα χαρακτηριστικά της πτήσης να αναγράφονται κάτω σε ειδική λεζάντα όπως για παράδειγμα έκταση χαρτογραφούμενης περιοχής, μέγεθος εδαφοψηφίδας (*Ground Resolution*), αριθμό εικόνων που θα ληφθούν, χρόνος πτήσης κ.α.

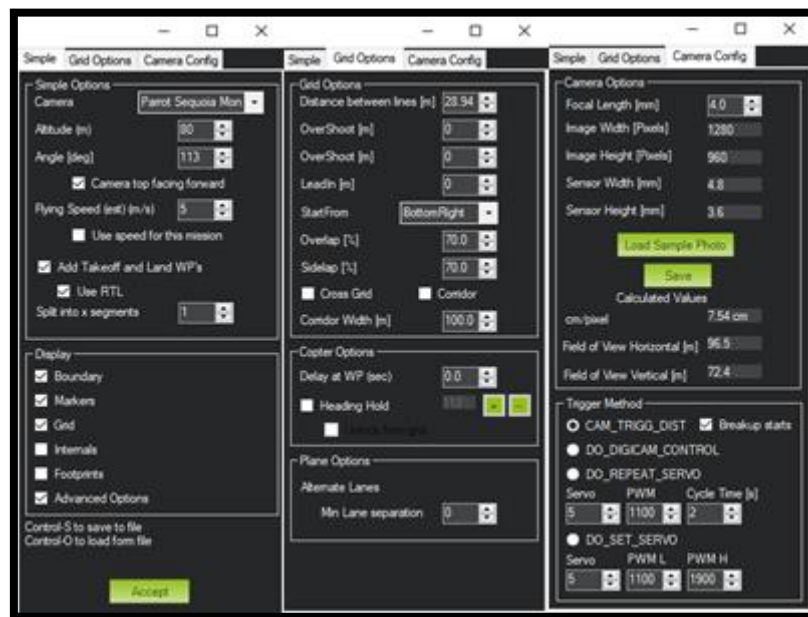
Το τελικό στάδιο της διαδικασίας σχεδιασμού περιλαμβάνει λεπτομερή έλεγχο της λίστας των προκαθορισμένων σημείων (*waypoints*) που προέκυψε από τον παραπάνω σχεδιασμό στον χάρτη, ώστε να διασφαλιστούν τα σωστά ύψη και συντεταγμένες πτήσης, καθώς και ο προσδιορισμός των πεδίων αυτόματης απογείωσης και προσγείωσης. Μετά τον έλεγχο, προωθείται το σχέδιο στον αυτόματο πιλότου του *UAS* μέσω της ασύρματης μετάδοσης τηλεμετρίας.

#### 2.4.2 Σχεδιασμός και Παράμετροι Πτήσης για τον Πολυφασματικό αισθητήρα

Ακολουθώντας την παραπάνω διαδικασία έγινε ο σχεδιασμός των πτήσεων χαρτογράφησης για τη συλλογή των πολυφασματικών δεδομένων με χρήση του αισθητήρα *Parrot Sequoia*. Ο συγκεκριμένος αισθητήρας όπως προαναφέραμε διαθέτει 4 ανεξάρτητα φασματικά κανάλια *global shutter Green, Red, Redge, NIR* τεχνολογίας «κλειστρου» *global shutter* καθώς και ένα *RGB* κανάλι με *rolling shutter*. Έτσι λοιπόν ο σχεδιασμός έγινε λαμβάνοντας υπόψιν τα 4

μονοχρωματικά κανάλια του αισθητήρα, τα οποία είναι αυτά που παίζουν καθοριστικό ρόλο στη συγκεκριμένη καταγραφή.

Το ύψος πτήσης για τη χαρτογράφηση αυτή, τέθηκε στα 80 m AGL (*Above Ground Level*), με ταχύτητα πτήσης στα 5 m/s (Σχήμα 2.12). Αξίζει να σημειωθεί ότι η συγκεκριμένη ταχύτητα έχει προκύψει έπειτα από πολλές ώρες δοκιμών στο πεδίο και αποτελεί τη βέλτιστη για τον συνδυασμό της συγκεκριμένης πλατφόρμας – αισθητήρα. Οι επικαλύψεις των εικόνων ορίστηκαν 70% *overlap* (θεωρητική) και 70% *sidelap*, οι οποίες αποτελούν ενδεδειγμένα ποσοστά επικάλυψης για τον αισθητήρα και το φωτογραμμετρικό λογισμικό που θα επιλύσει τα δεδομένα στη συνέχεια.



Σχήμα 2.12 - Εισαγωγή δεδομένων για την Πολυφασματική καταγραφή.

Μάλιστα, η *overlap* πραγματική επικάλυψη θα είναι σαφώς μεγαλύτερη καθώς το λογισμικό υπολογίζει λήψη εικόνας ανά 4,34 sec ενώ ο χρονοδιακόπτης λήψης των εικόνων ορίστηκε στα 3 sec στον πολυφασματικό αισθητήρα για περισσότερη ασφάλεια των δεδομένων. Επομένως αναμένεται και μεγαλύτερος αριθμός εικόνων από τις 81 που αναφέρει το λογισμικό.

Τέλος ορίστηκαν τα σημεία από / προσγείωσης του UAV στο πεδίο καθώς και το σημείο έναρξης της χαρτογράφησης. Το τελικό σχέδιο πτήσεως καθώς και η λίστα με τα προκαθορισμένα σημεία φαίνονται στα σχήματα που ακολουθούν (Σχήματα 2.13, 2.14).



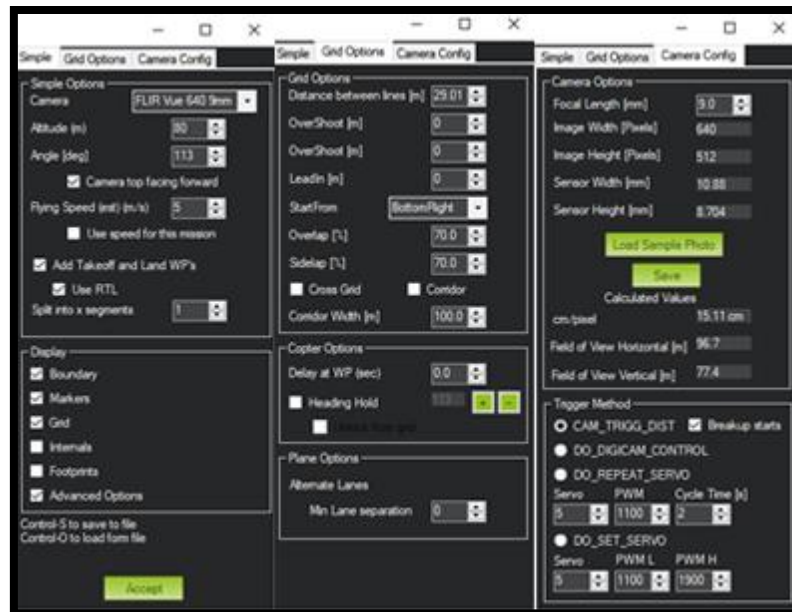
Σχήμα 2.13 - Σχέδιο πτήσης για τη συλλογή Πολυφασματικών δεδομένων.

Waypoints																					
WP Radius	Loiter Radius	Default Alt	Relative	Verify Height	Add Below	Alt Warn	Spline	Command													
30	50	100	Relative	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	<input type="checkbox"/>	TAKEOFF	20	0	0	0	0	50	X						
								WAYPOINT	0	0	0	37.869203	23.7337032	80	X		75.2	37.0	133.1	157	
								DO_SET_CAM_TRIGG_DIST	21.7085437774658	0	0	0	0	0	X		0	0	0	0	0
								WAYPOINT	0	0	0	37.8696274	23.7317890	80	X		0.0	0.0	185.5	295	
								DO_SET_CAM_TRIGG_DIST	0	0	0	0	0	0	X		0	0	0	0	0
								WAYPOINT	0	0	0	37.8699657	23.7316520	80	X		0.0	0.0	39.5	342	
								DO_SET_CAM_TRIGG_DIST	21.7085437774658	0	0	0	0	0	X		0	0	0	0	0
								WAYPOINT	0	0	0	37.8691376	23.7338934	80	X		0.0	0.0	217.2	115	
								DO_SET_CAM_TRIGG_DIST	0	0	0	0	0	0	X		0	0	0	0	0
								WAYPOINT	0	0	0	37.8693767	23.7340248	80	X		0.0	0.0	29.0	23	
								DO_SET_CAM_TRIGG_DIST	21.7085437774658	0	0	0	0	0	X		0	0	0	0	0
								WAYPOINT	0	0	0	37.8703039	23.7315150	80	X		0.0	0.0	243.2	295	
								DO_SET_CAM_TRIGG_DIST	0	0	0	0	0	0	X		0	0	0	0	0
								WAYPOINT	0	0	0	37.8705994	23.7314938	80	X		0.0	0.0	32.9	357	
								DO_SET_CAM_TRIGG_DIST	21.7085437774658	0	0	0	0	0	X		0	0	0	0	0
								DO_SET_CAM_TRIGG_DIST	0	0	0	0	0	0	X		0	0	0	0	0
								WAYPOINT	0	0	0	37.8696157	23.7341563	80	X		0.0	0.0	258.0	115	
								WAYPOINT	0	0	0	37.8698548	23.7342878	80	X		0.0	0.0	29.0	23	
								DO_SET_CAM_TRIGG_DIST	21.7085437774658	0	0	0	0	0	X		0	0	0	0	0
								WAYPOINT	0	0	0	37.8708911	23.7314826	80	X		0.0	0.0	271.9	295	
								DO_SET_CAM_TRIGG_DIST	0	0	0	0	0	0	X		0	0	0	0	0
								WAYPOINT	0	0	0	37.8711570	23.7315413	80	X		0.0	0.0	30.0	10	
								DO_SET_CAM_TRIGG_DIST	21.7085437774658	0	0	0	0	0	X		0	0	0	0	0
								WAYPOINT	0	0	0	37.8700938	23.7344192	80	X		0.0	0.0	278.9	115	
								DO_SET_CAM_TRIGG_DIST	0	0	0	0	0	0	X		0	0	0	0	0
								WAYPOINT	0	0	0	37.8709203	23.7329608	80	X		0.0	0.0	157.6	306	
								DO_SET_CAM_TRIGG_DIST	21.7085437774658	0	0	0	0	0	X		0	0	0	0	0
								WAYPOINT	0	0	0	37.8713996	23.7316633	80	X		0.0	0.0	125.7	295	
								DO_SET_CAM_TRIGG_DIST	0	0	0	0	0	0	X		0	0	0	0	0
								WAYPOINT	0	0	0	37.8716133	23.7318632	80	X		0.0	0.0	29.5	36	
								DO_SET_CAM_TRIGG_DIST	21.7085437774658	0	0	0	0	0	X		0	0	0	0	0
								WAYPOINT	0	0	0	37.8713523	23.7325697	80	X		0.0	0.0	68.5	115	
								DO_SET_CAM_TRIGG_DIST	0	0	0	0	0	0	X		0	0	0	0	0
								DO_SET_CAM_TRIGG_DIST	0	0	0	0	0	0	X		0	0	0	0	0
								RETURN_TO_LAUNCH	0	0	0	0	0	0	X		0	0	0	0	0

Σχήμα 2.14 - Λίστα προκαθορισμένων σημείων για την πτήση Πολυφασματικών δεδομένων.

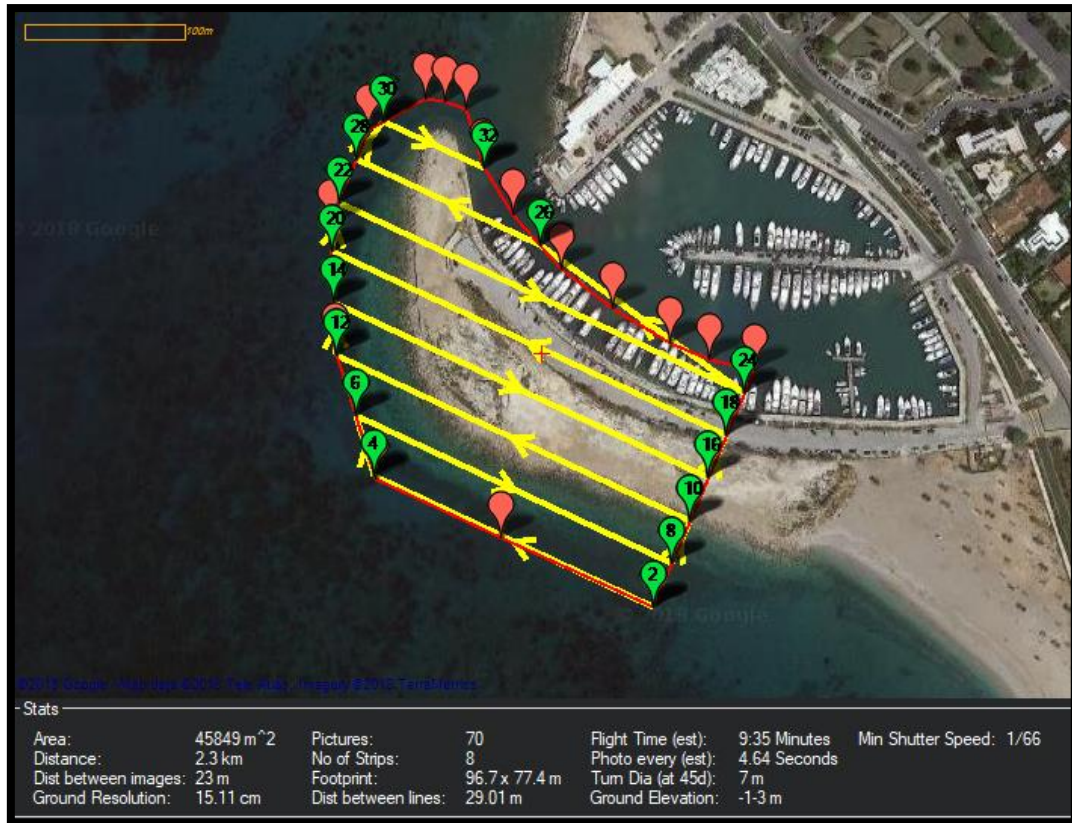
### 2.4.3 Σχεδιασμός και Παράμετροι Πτήσης για τον Θερμικό αισθητήρα

Όμοια διαδικασία ακολουθήθηκε για την πτήση καταγραφής της συλλογή των θερμικών δεδομένων με τον αισθητήρα *Flir Vue Pro UAS*. Ύψος πτήσης παρέμεινε στα 80 m AGL και η ταχύτητα ομοίως στα 5 m/s (Σχήμα 2.15). Επίσης διατηρήθηκαν οι ίδιες επικαλύψεις στα 70% *overlap* και 70% *sidelap* πάλι, με τη διαφορά ότι στο *overlap* θα επιτευχθεί αρκετά υψηλότερη επικάλυψη λόγω της σημαντικά ταχύτερης καταγραφής *frame* ανά 2 sec έναντι 4,64 sec που υπολογίζει το λογισμικό για την ασφάλεια των περισσότερων δεδομένων.



Σχήμα 2.15 - Εισαγωγή δεδομένων για τη Θερμική καταγραφή.

Ακολούθως, παρουσιάζονται το τελικό σχέδιο πτήσεως (Σχήμα 2.16), το οποίο ομοιάζει σε μεγάλο βαθμό με το προηγούμενο (Σχήμα 2.13), καθώς και η λίστα με τα προκαθορισμένα σημεία της πτήσεως αφού πρώτα ορίστηκαν τα σημεία από / προσγείωσης για τον έλεγχο πριν την πτήση (Σχήμα 2.17).



Σχήμα 2.16 - Σχέδιο πτήσης για τη συλλογή Θερμικών δεδομένων

Waypoints															
WP Radius	Letter Radius	Default Alt	Relative				Verify Height	Add Below	Alt Warn	Spline					
80		100													
Command								Alt	Delete	Up	Down	Grad %	Angle	Dist	AZ
1	TAKEOFF	20	0	0	0	0	0	50	X			0	0	0	0
2	WAYPOINT	0	0	0	0	37.8688671	23.7335242	80	X			74.8	36.8	133.5	166
3	DO_SET_CAM_TRIGG_DIST	23.210666564941	0	0	0	0	0	0	X			0	0	0	0
4	WAYPOINT	0	0	0	0	37.8696746	23.7317659	80	X			0.0	0.0	178.3	300
5	DO_SET_CAM_TRIGG_DIST	0	0	0	0	0	0	0	X			0	0	0	0
6	WAYPOINT	0	0	0	0	37.8700460	23.7316195	80	X			0.0	0.0	43.4	342
7	DO_SET_CAM_TRIGG_DIST	23.210666564941	0	0	0	0	0	0	X			0	0	0	0
8	WAYPOINT	0	0	0	0	37.8690331	23.7338159	80	X			0.0	0.0	223.6	120
9	DO_SET_CAM_TRIGG_DIST	0	0	0	0	0	0	0	X			0	0	0	0
10	WAYPOINT	0	0	0	0	37.8692731	23.7339551	80	X			0.0	0.0	29.2	24
11	DO_SET_CAM_TRIGG_DIST	23.210666564941	0	0	0	0	0	0	X			0	0	0	0
12	WAYPOINT	0	0	0	0	37.8704026	23.7315013	80	X			0.0	0.0	249.3	300
13	DO_SET_CAM_TRIGG_DIST	0	0	0	0	0	0	0	X			0	0	0	0
14	WAYPOINT	0	0	0	0	37.8707102	23.7314895	80	X			0.0	0.0	34.2	358
15	DO_SET_CAM_TRIGG_DIST	23.210666564941	0	0	0	0	0	0	X			0	0	0	0
16	WAYPOINT	0	0	0	0	37.8695130	23.7340903	80	X			0.0	0.0	264.3	120
17	DO_SET_CAM_TRIGG_DIST	0	0	0	0	0	0	0	X			0	0	0	0
18	WAYPOINT	0	0	0	0	37.8697530	23.7342255	80	X			0.0	0.0	29.2	24
19	DO_SET_CAM_TRIGG_DIST	23.210666564941	0	0	0	0	0	0	X			0	0	0	0
20	WAYPOINT	0	0	0	0	37.8710178	23.7314777	80	X			0.0	0.0	279.2	300
21	DO_SET_CAM_TRIGG_DIST	0	0	0	0	0	0	0	X			0	0	0	0
22	WAYPOINT	0	0	0	0	37.8712656	23.7315959	80	X			0.0	0.0	29.4	21
23	DO_SET_CAM_TRIGG_DIST	23.210666564941	0	0	0	0	0	0	X			0	0	0	0
24	WAYPOINT	0	0	0	0	37.8699929	23.7343607	80	X			0.0	0.0	280.9	120
25	DO_SET_CAM_TRIGG_DIST	0	0	0	0	0	0	0	X			0	0	0	0
26	WAYPOINT	0	0	0	0	37.8709616	23.7329128	80	X			0.0	0.0	166.6	310
27	DO_SET_CAM_TRIGG_DIST	23.210666564941	0	0	0	0	0	0	X			0	0	0	0
28	WAYPOINT	0	0	0	0	37.8715110	23.7317192	80	X			0.0	0.0	121.3	300
29	DO_SET_CAM_TRIGG_DIST	0	0	0	0	0	0	0	X			0	0	0	0
30	WAYPOINT	0	0	0	0	37.8716775	23.7320140	80	X			0.0	0.0	31.8	54
31	DO_SET_CAM_TRIGG_DIST	23.210666564941	0	0	0	0	0	0	X			0	0	0	0
32	WAYPOINT	0	0	0	0	37.8714394	23.7325312	80	X			0.0	0.0	52.6	120
33	DO_SET_CAM_TRIGG_DIST	0	0	0	0	0	0	0	X			0	0	0	0
34	DO_SET_CAM_TRIGG_DIST	0	0	0	0	0	0	0	X			0	0	0	0
35	RETURN_TO_LAUNCH	0	0	0	0	0	0	0	X			0	0	0	0

Σχήμα 2.17 - Λίστα προκαθορισμένων σημείων για την πτήση Θερμικών δεδομένων.

#### 2.4.4 Σχεδιασμός και Παράμετροι Πτήσης για τον Υπερφασματικό Αισθητήρα

Για τη συλλογή υπερφασματικών δεδομένων με τον αισθητήρα *HeadWall Micro-Hyperspec VNIR A1*, η μεθοδολογία σχεδιασμού πτήσεως διαφοροποιείται σημαντικά. Το λογισμικό που χρησιμοποιείται δεν έχει σχεδιαστεί για τη λήψη τέτοιων δεδομένων με αισθητήρα τεχνολογίας *Pushbroom / Line scanning*. Με συνέπεια το ειδικό εργαλείο *Survey (GRID)* που χρησιμοποιήθηκε προηγουμένως να είναι αναποτελεσματικό. Έτσι ο σχεδιασμός της πτήσης πραγματοποιήθηκε με μη αυτοματοποιημένο τρόπο εισάγοντας προκαθορισμένα σημεία στον χάρτη με τις υπο-περιοχές ενδιαφέροντος.

Έπειτα από πολυάριθμες πτητικές δοκιμές του συγκεκριμένου συνδυασμού πλατφόρμας – αισθητήρα με μεγάλο όγκο ανεπιτυχών δεδομένων, παρατηρήθηκε ότι ο βέλτιστος τρόπος πτήσης είναι μεγάλου μήκους σκέλη πτήσης με όσο το δυνατόν λιγότερες στροφές. Επομένως, δημιουργήθηκαν 3 σκέλη πτήσης όπως φαίνονται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 2.18).

Το βέλτιστο ύψος πτήσης καταγραφής για το συγκεκριμένο αισθητήρα, έπειτα από μελέτη και ανάλυση της βιβλιογραφίας του κατασκευαστή αλλά και εκτενών πειραματικών δοκιμών στο πεδίο σημειώθηκε στα 80 m AGL με ταχύτητα πτήσης στα 4 m/s. Επίσης, επιλέχθηκε τριγωνικό σχήμα πτήσης, διότι παρατηρήθηκαν σφάλματα στην επίλυση των δεδομένων στη συνέχεια από το λογισμικό της κατασκευάστριας εταιρείας, όταν υπήρχαν επικαλυπτόμενες περιοχές μέσα στην περιοχή καταγραφής. Με τον τρόπο αυτό, περιορίστηκε η επικάλυψη των περιοχών στη συγκεκριμένη πτήση.

Τέλος, ορίστηκαν τα σημεία απο / προσγείωσης του UAV στο πεδίο και έτσι το τελικό σχέδιο πτήσης (Σχήμα 2.18) καθώς και η λίστα με τα προκαθορισμένα σημεία (Σχήμα 2.19) φαίνονται παρακάτω.



Σχήμα 2.18 - Σχέδιο πτήσης για τη συλλογή Υπερφασματικών δεδομένων.

Waypoints															
WP Radius		Loiter Radius		Default Alt		Relative		Verify Height		Add Below		Alt Warn		Spline	
30		45		100								0			
	Command	Delay			Lat	Long	Alt	Delete	Up	Down	Grad %	Angle	Dist	AZ	
1	TAKEOFF	0	0	0	37.8697825	23.7328881	60	X	⬆️	⬇️	126.8	51.7	127.4	256	
2	WAYPOINT	0	0	0	37.8699731	23.7336016	80	X	⬆️	⬇️	517.9	79.1	81.5	278	
3	WAYPOINT	0	0	0	37.8709237	23.7321317	80	X	⬆️	⬇️	0.0	0.0	166.8	309	
4	WAYPOINT	0	0	0	37.8700747	23.7322310	80	X	⬆️	⬇️	0.0	0.0	94.8	175	
▶ 5	WAYPOINT	0	0	0	37.8698947	23.7336928	80	X	⬆️	⬇️	0.0	0.0	129.9	99	
6	RETURN_TO_LAUNCH	0	0	0	37.8701001	23.7328747	0	X	⬆️	⬇️	29.6	16.5	70.5	290	

Σχήμα 2.19 - Λίστα προκαθορισμένων σημείων για την πτήση Υπερφασματικών δεδομένων.

## 2.5 Προεπεξεργασία δεδομένων

Αφού συλλέχθηκαν τα δεδομένα από τις πτήσεις χαρτογράφησης, επόμενη διαδικασία είναι η προεπεξεργασία τους, με σκοπό την παραγωγή τελικών εικόνων (μωσαϊκών) της περιοχής μελέτης σε όλα τα διαθέσιμα φάσματα καταγραφής.

### 2.5.1 Συσχέτιση τηλεπισκοπικών δεδομένων με τις θέσεις λήψεις

Αρχικό στάδιο της προεπεξεργασίας των δεδομένων είναι η συσχέτιση των τηλεπισκοπικών εικόνων με τις θέσεις λήψεις και τον εξωτερικό τους προσανατολισμό. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω του λογισμικού της εναέριας πλατφόρμας μέσω του ειδικού εργαλείου *georef images*. Στο εργαλείο αυτό, εισάγεται το αρχείο του *log* του αυτόματου πιλότου το οποίο καταγράφει τις θέσεις λήψης των εικόνων με βάση το σύστημα *GPS* που διαθέτει. Επίσης δίνεται ο φάκελος με τις εικόνες που λήφθηκαν και στη συνέχεια το λογισμικό γεωαναφέρει τις διαθέσιμες εικόνες. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται μόνο για τα δεδομένα του θερμικού αισθητήρα, καθώς η πολυφασματική *sequoia* διαθέτει ανεξάρτητο δέκτη *GPS*, με αποτέλεσμα κάθε εικόνα που συλλέγεται και αποθηκεύεται στη μνήμη να έχει άμεση γεωαναφορά.

### 2.5.2 Δημιουργία ορθοεικόνων (οπτικά και πολυφασματικά)

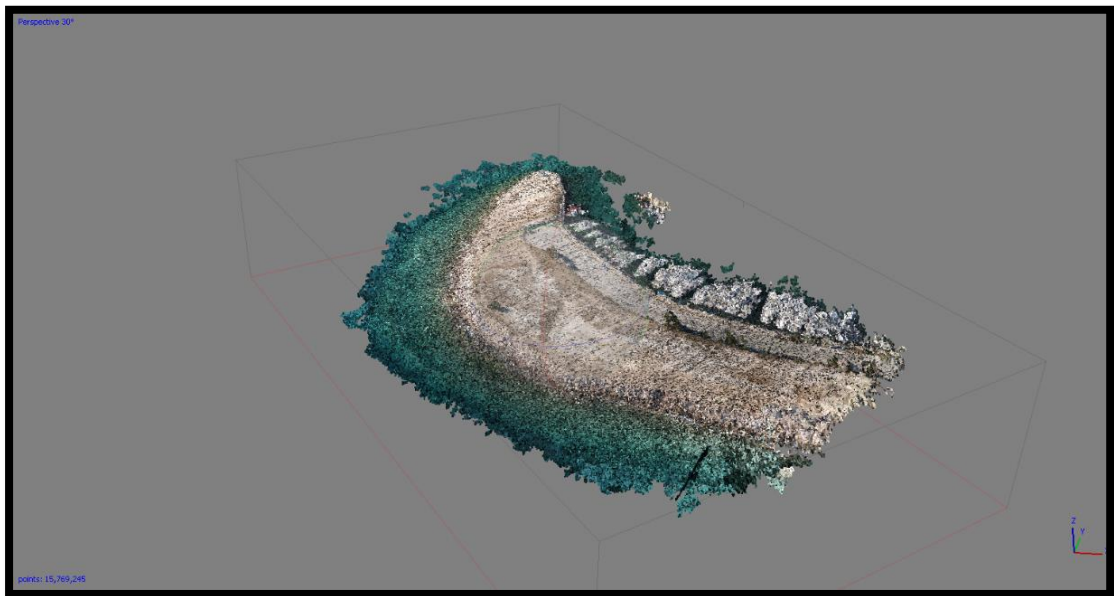
Η δημιουργία των ορθομωσαϊκών στα dataset των *RGB*, πολυφασματικών και θερμικών δεδομένων πραγματοποιήθηκε από το εμπορικό λογισμικό *Agisoft Photoscan*. Το λογισμικό αυτό χρησιμοποιεί τη μέθοδο *Structure From Motion – SFM* για την παραγωγή 3D μοντέλου της περιοχής καθώς και πλήθος άλλων παραγόμενων προϊόντων μεταξύ άλλων και Ορθομωσαϊκό.

Αρχικά εισάγονται οι εικόνες και οι θέσεις λήψεις (στοιχεία εξωτερικού προσανατολισμού) τους στο λογισμικό. Τα στοιχεία των θέσεων λήψης προκύπτουν είτε αυτοματοποιημένα λόγω άμεσης γεωαναφοράς στις πολυφασματικές εικόνες, είτε με μη αυτοματοποιημένο τρόπο για τα θερμικά δεδομένα όπως αναλύθηκε στην προηγούμενη παράγραφο. Αξίζει να σημειωθεί ότι πριν την πτήση καταγραφής, πραγματοποιήθηκε βαθμονόμηση των τεσσάρων καναλιών του

πολυφασματικού αισθητήρα, χρησιμοποιώντας την ειδική πλάκα βαθμονόμησης που δίνεται από την κατασκευάστρια εταιρεία.

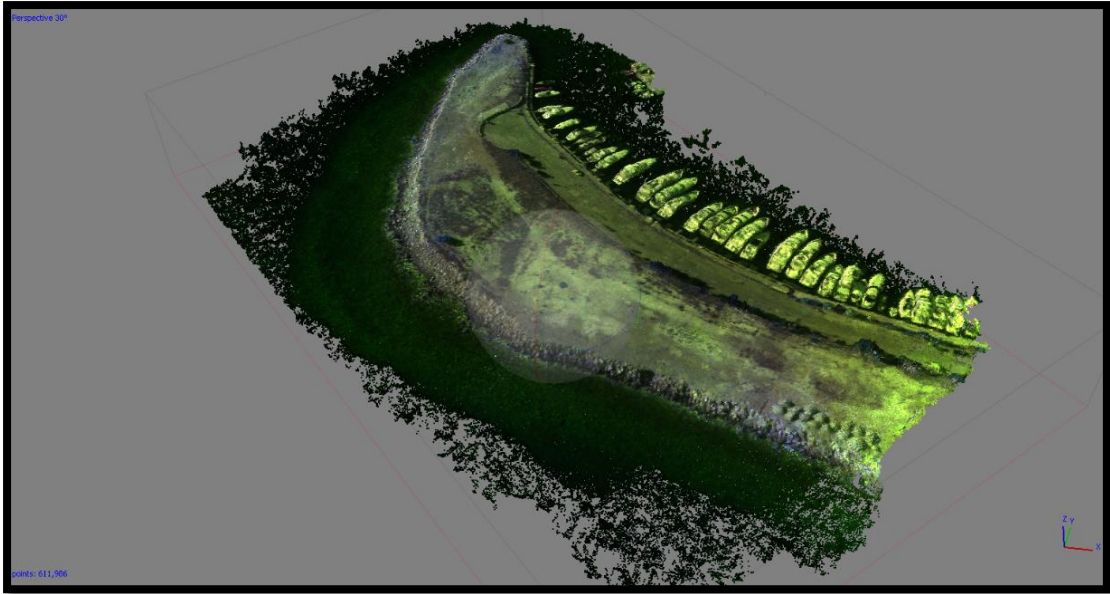
Το πρώτο βήμα επεξεργασίας του *Agisoft* είναι η ευθυγράμμιση των εικόνων (*photo alignment*). Αυτό επιτυγχάνεται με την τεχνική του *SFM* που επιτρέπεται η ανακατασκευή της τρισδιάστατης γεωμετρίας της σκηνής από την κίνηση της κάμερας. Αρχικά εντοπίζονται χαρακτηριστικά σημεία (*detecting points*) στις εικόνες και στη συνέχεια ο εντοπισμός τους στο σύνολο των εικόνων (*matching points*). Στη συνέχεια εκτιμώνται οι τρισδιάστατες θέσεις των σημείων και δημιουργείται ένα αραιό νέφος σημείων (*sparse point cloud*), οι θέσεις των φωτοληψιών καθώς και οι παράμετροι εσωτερικής βαθμονόμησης της φωτογραφικής μηχανής. Μετά το πέρας της συγκεκριμένης διαδικασίας μπορεί να γίνει έλεγχος στην ποιότητα των εικόνων που χρησιμοποιήθηκαν από τον εργαλείο “*estimate image quality*”. Το λογισμικό βαθμολογεί τις εικόνες από το 1.0 έως το 10.0 με κριτήριο την διαύγεια τους, τον θόρυβο κ.α. Έτσι λοιπόν ο χρήστης μπορεί να απομονώσει ή/και να διαγράψει οποιαδήποτε εικόνα έχει μη ικανοποιητική βαθμολογία.

Μετά την ευθυγράμμιση των εικόνων ακολουθεί η δημιουργία πυκνού νέφους σημείων (*Dense Point Cloud*). Αυτό γίνεται με την επιλογή “*Build Dense Cloud*” από το μενού “*Workflow*”. Πριν την έναρξη της πυκνής ανοικοδόμησης πραγματοποιείται ο «καθαρισμός» του μοντέλου από τον θόρυβο που ενδεχομένως να υπάρχει σβήνοντας χειροκίνητα σημεία εκτός του τρισδιάστατου μοντέλου.



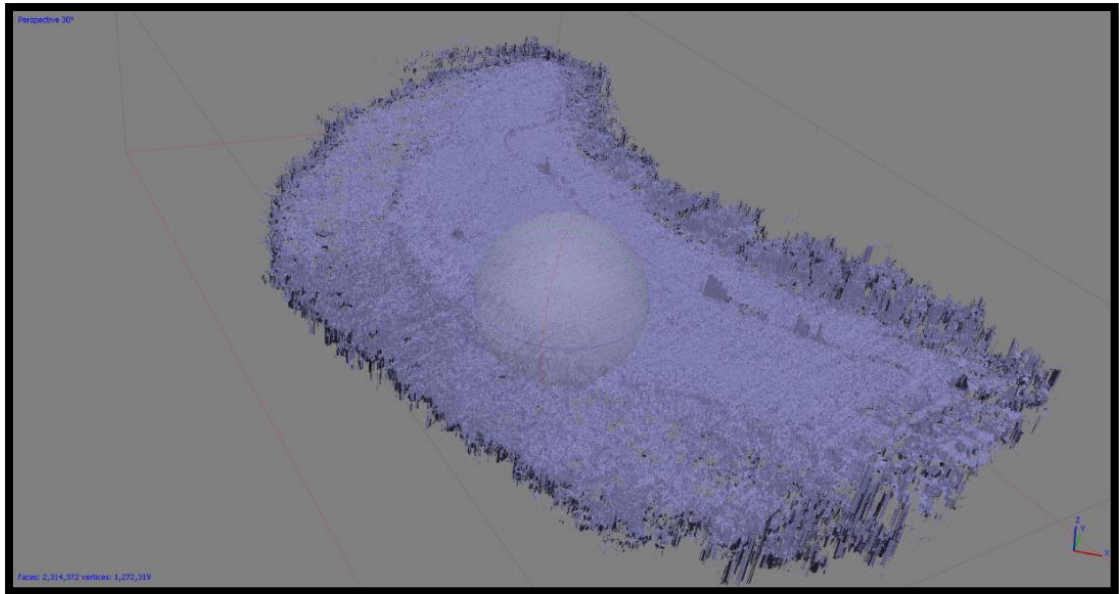
Σχήμα 2.20 - Πυκνό νέφος σημείων περιοχής μελέτης (δεδομένα RGB). Παρατηρείται υψηλός θόρυβος στο μοντέλο λόγω κυρίως του Rolling Shutter του RGB αισθητήρα.



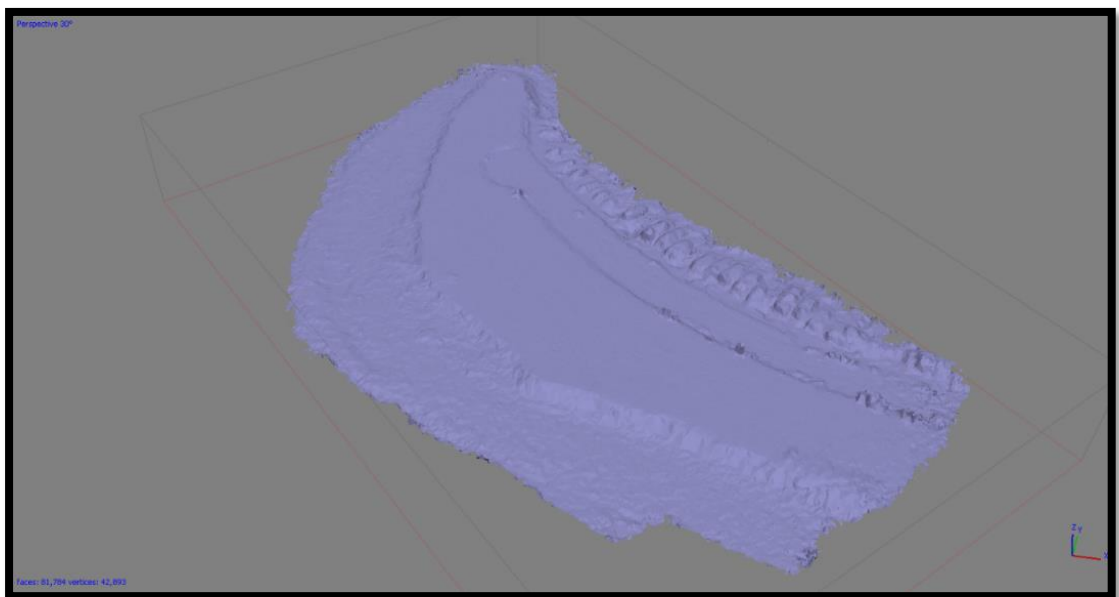


Σχήμα 2.21 - Πυκνό νέφος σημείων περιοχής μελέτης (πολυφασματικά δεδομένα). Παρατηρείται αισθητά βελτιωμένο μοντέλο λόγω των τεσσάρων ανεξάρτητων πολυφασματικών καναλιών τεχνολογίας Global Shutter.

Επίσης, πριν την έναρξη του επόμενου βήματος, εισάγονται τα επιπρόσθετα *GCPs* με σκοπό τη βελτίωση της ακρίβειας του μοντέλου λόγω της μειωμένης ακρίβειας των θέσεων από το σύστημα *GPS* της πλατφόρμας. Επίσης πραγματοποιείται και ο έλεγχος της γεωαναφοράς, αξιολογώντας το συνολικό σφάλμα στο μοντέλο του *RGB* και στο πολυφασματικό. Συνεχίζοντας, από το μενού “*Workflow*” επιλέγεται το εργαλείο “*Build Mesh*” το οποίο τριγωνίζει την επιφάνεια του αντικειμένου ή της περιοχής μελέτης (*mesh*) με βάση το πυκνό νέφος σημείων που δημιουργήθηκε προηγουμένως. Εδώ υπάρχει η δυνατότητα διαγραφής κάποιων ανεπιθύμητων τμημάτων επιφανείας ή κλείσιμο κενών που ενδεχομένως να προκύψουν από τον μη ικανοποιητικό τριγωνισμό ορισμένων σημείων επιφανειών.

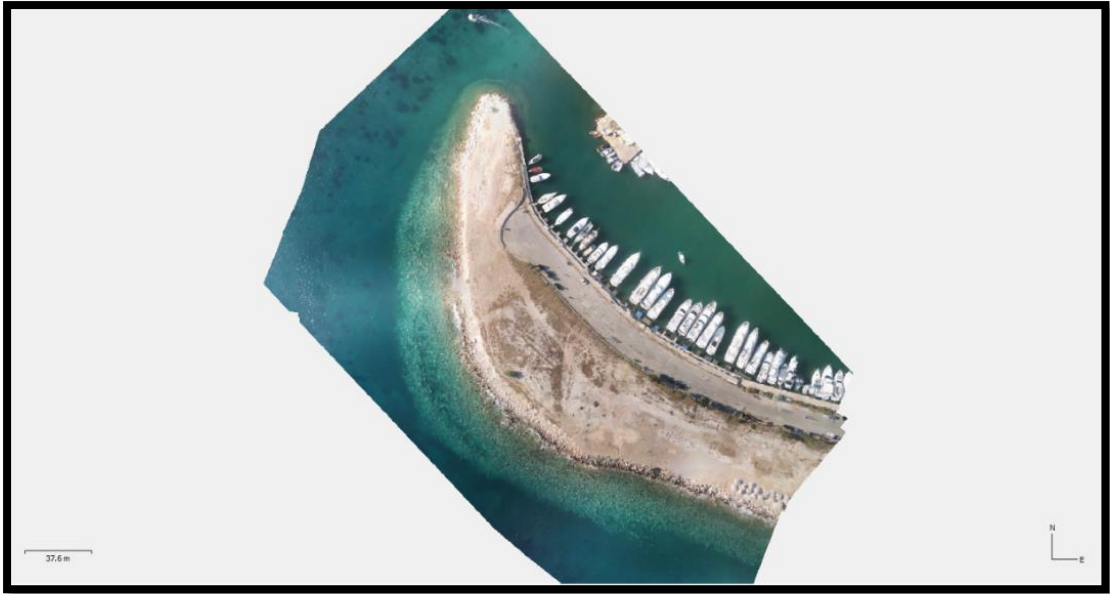


Σχήμα 2.22 - 3D επιφάνεια (mesh) της περιοχής μελέτης (δεδομένα RGB). Παρατηρείται αντίστοιχα θόρυβος και artifacts λόγω κυρίως του Rolling Shutter.

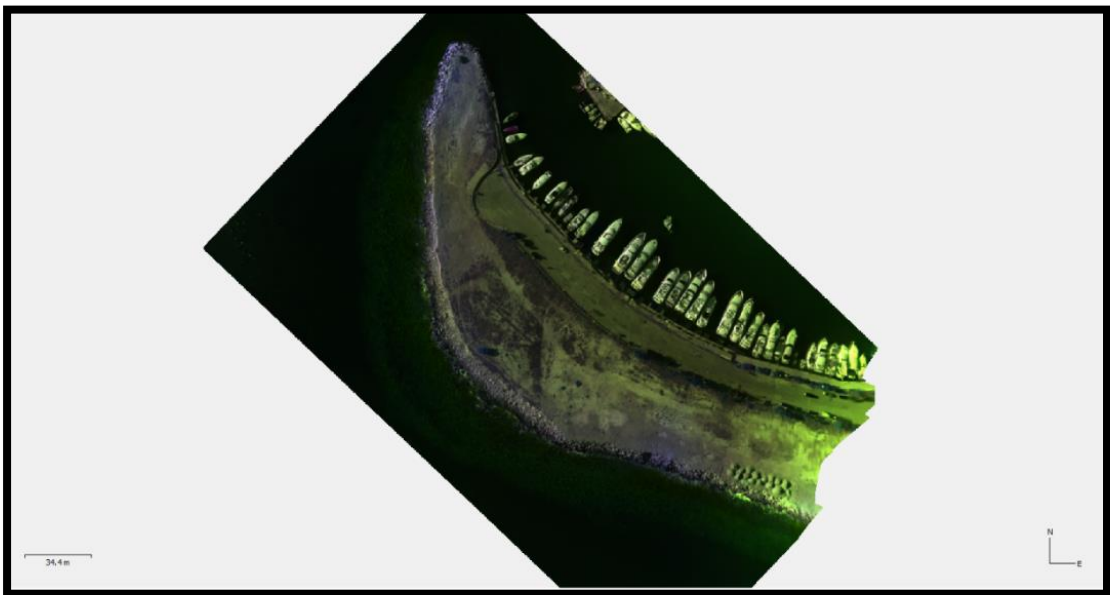


Σχήμα 2.23 - 3D επιφάνεια (mesh) της περιοχής μελέτης (πολυφασματικά δεδομένα). Παρατηρείται αισθητή βελτίωση του μοντέλου και της επιφάνειας.

Επόμενο στάδιο της επεξεργασίας είναι η δημιουργία υφής και χρώματος (*texture*) στο μοντέλο. Αυτό επιτυγχάνεται από το μενού “*Workflow*” και την επιλογή “*Build Texture*”. Έτσι προκύπτει ένα ρεαλιστικό τρισδιάστατο μοντέλο, το οποίο απεικονίζει με μεγάλη ακρίβεια την πραγματική αποτύπωση του αντικειμένου ή της περιοχής μελέτης, με δυνατότητα εξαγωγής ορθοεικόνας υψηλής ανάλυσης.



Σχήμα 2.24 - Ορθοεικόνια (δεδομένα RGB) της περιοχής μελέτης.



Σχήμα 2.25 - Ορθοεικόνια (δεδομένα πολυφασματικά) της περιοχής μελέτης.

Μετά το πέρας όλων των παραπάνω διεργασιών, ο χρήστης μπορεί να ξεκινήσει τη διαδικασία εξαγωγής όλων των παραγόμενων προϊόντων. Το λογισμικό δίνει πλήθος δυνατοτήτων εξαγωγής αρχείων όπως:

- Γεωαναφερμένες ορθοεικόνες με σκοπό την εισαγωγή τους σε λογισμικά *GIS*
- Νέφους σημείων (*point cloud*)
- Τριγωνικού πλέγματος επιφανείας (*mesh*)
- Υφής (*texture*)
- Φωτοσταθερά, σημεία ελέγχου, θέσεις λήψης εικόνων

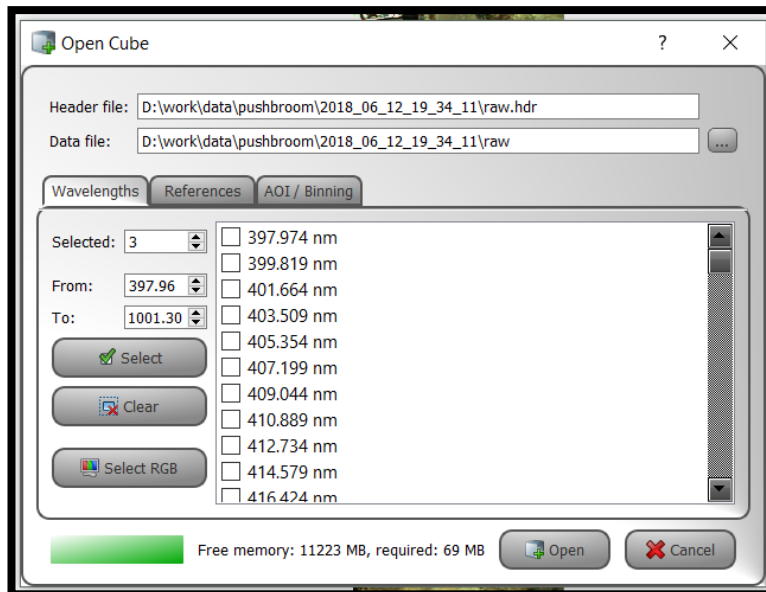
- Μοντέλα επιφανείας (*DSM, DTM, DEM*)

Το λογισμικό παρουσιάζει υψηλά ποσοστά διαλειτουργικότητας με άλλα λογισμικά *CAD, GIS* κ.α. καθώς έχει τη δυνατότητα εξαγωγής πολλαπλών τύπων αρχείων που αναγνωρίζονται και εισάγονται από την πλειονότητα των αντίστοιχων λογισμικών. Τέτοια αρχεία είναι:

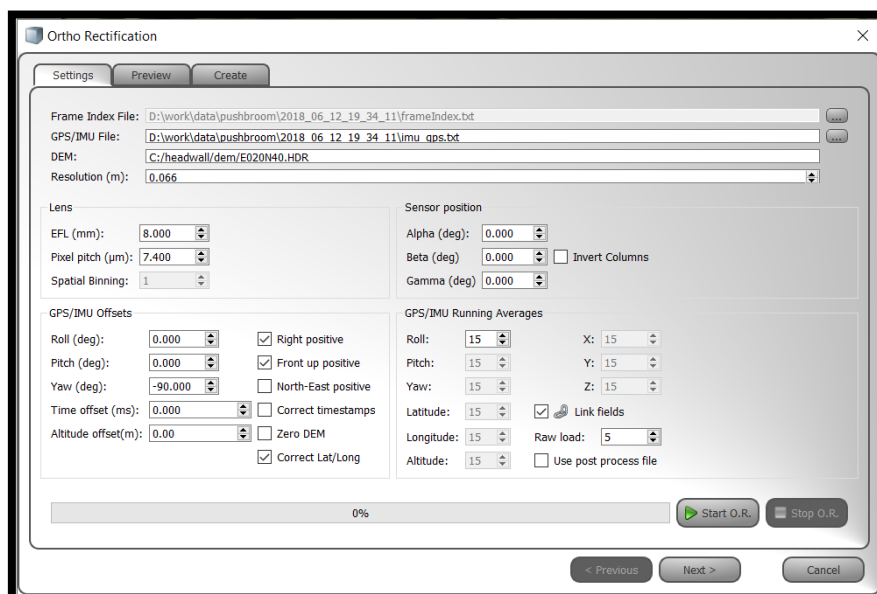
- Μοντέλο σε αρχείο *CAD*
- Γεωαναφερμένες ορθοεικόνες με σκοπό την εισαγωγή τους σε λογισμικά *GIS*
- *3D* Μοντέλα και Ορθοεικόνες σε περιβάλλον *Google Earth*
- *3D* Μοντέλα σε περιβάλλον *PDF*, όπου μπορεί ο οποιοσδήποτε χρήστης να το ανοίξει και να μετρήσει πάνω σε αυτό οποιαδήποτε διάσταση του αντικειμένου ή της περιοχής

### 2.5.3 Δημιουργία Υπερφασματικού Μωσαϊκού

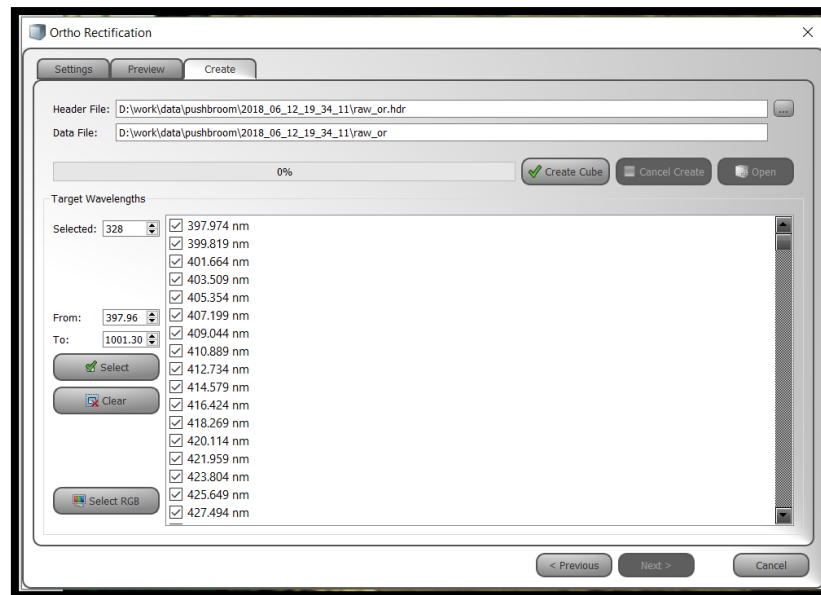
Τα δεδομένα που λήφθηκαν από τον υπερφασματικό αισθητήρα *Headwall VNIR*, υπέστησαν προεπεξεργασία στο αντίστοιχο λογισμικό της κατασκευάστριας εταιρείας. Μέσω του λογισμικού αυτού ο χρήστης εισάγει τα δεδομένα που συλλέχθηκαν σε μορφή *raw*, καθώς και τα αρχεία που καταγράφηκαν από το αδρανειακό σύστημα και το *GPS*. Στη συνέχεια δίνεται η δυνατότητα οπτικοποίησης των δεδομένων για γρήγορη προεπισκόπηση των αποτελεσμάτων της καταγραφής. Η οπτικοποίηση πραγματοποιείται στην *raw* μορφή των δεδομένων και σε όποια φασματικά κανάλια επιλέξει ο χρήστης (Σχήμα 2.26). Στη συνέχεια ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να δημιουργήσει ορθομωσαϊκό από την αντίστοιχη επιλογή στο λογισμικό. Εκεί εισάγονται τα τηλεπισκοπικά δεδομένα, τα αρχεία αδρανειακού και *GPS* καθώς και *DEM* της περιοχής, το οποίο είναι απαραίτητο για την γεωμετρική διόρθωση των δεδομένων και την παραγωγή ορθομωσαϊκού. Ζητούνται επίσης, τα στοιχεία του σχετικού προσανατολισμού του αισθητήρα και του αδρανειακού συστήματος καθώς και το επιθυμητό μέγεθος εδαφοψηφίδας που θα έχει το μωσαϊκό (Σχήμα 2.27). Η εξαγωγή του μπορεί να πραγματοποιηθεί με το σύνολο ή μέρος των καναλιών που επιθυμεί ο χρήστης (Σχήμα 2.28).



Σχήμα 2.26 - Οπτικοποίηση υπερφασματικών δεδομένων στο λογισμικό της κατασκευάστριας εταιρείας.



Σχήμα 2.27 - Διαδικασία δημιουργίας ορθομωσαϊκού και επιλογή βασικών παραμέτρων.



Σχήμα 2.28 - Επιλογή των επιθυμητών φασματικών καναλιών για την εξαγωγή του ορθομωσαϊκού.

### 2.5.4 Συσχέτιση δεδομένων ανακλαστικότητας

Επόμενο βήμα της προεπεξεργασίας των δεδομένων είναι η διαδικασία υπολογισμού τιμών ανακλαστικότητας (*reflectance*). Πιο συγκεκριμένα, οι τιμές που εμφανίζονται στα *pixel* των ορθοεικόνων αποτελούν τις ανακλώμενες τιμές ακτινοβολίας του αντίστοιχου στόχου. Για οποιαδήποτε επόμενη διαδικασία οι τιμές αυτές πρέπει να αναχθούν σε τιμές ανακλαστικότητας λαμβάνοντας υπόψιν τις τιμές της προσπίπτουσας ακτινοβολίας τη στιγμή της συλλογής των δεδομένων. Με τον τρόπο αυτό, τα τελικά αποτελέσματα είναι ανεξάρτητα των περιβαλλοντικών συνθηκών της συγκεκριμένης ημέρας καταγραφής. Ο τρόπος υπολογισμού των τιμών ανακλαστικότητας δίνεται παρακάτω:

$$\rho_T = L_T / L_r * k$$

όπου,

$\rho_T$ : το φάσμα ανακλαστικότητας του στόχου

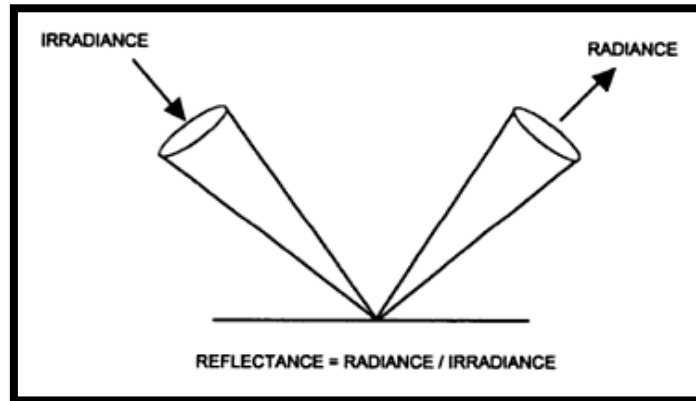
$L_T$ : η ακτινοβολία που ανακλάται από τον υπό εξέταση στόχο,  $L$

$L_r$ : η ακτινοβολία που ανακλάται από ένα δείγμα αναφοράς (*reference sample*)

$k$ : διορθωτικός συντελεστής που ισούται με τον λόγο της ηλιακής ακτινοβολίας προς την επανεκπομπή από την επιφάνεια του δείγματος αναφοράς. Υπό ιδανικές συνθήκες ισούται με την μονάδα.

Με βάση την παραπάνω σχέση, υπολογίσθηκαν όλες οι τιμές ανακλαστικότητας για την υπο – εξέταση περιοχή μελέτης, σε όλα τα διαθέσιμα φάσματα καταγραφής. Ως δείγμα αναφοράς χρησιμοποιήθηκε ειδική βαθμονομημένη πλάκα ανάκλασης, η οποία τοποθετήθηκε στο έδαφος τη στιγμή των πτήσεων καταγραφής. Έτσι λοιπόν οι τιμές αυτές προέκυψαν από τον λόγο των τιμών ανακλώμενης ακτινοβολίας (*radiance*), οι οποίες αποτυπώθηκαν στις τιμές των

εικονοστοιχείων (*pixels*) των ορθοεικόνων, προς τις τιμές της ανακλώμενης ακτινοβολίας της επιφανείας ανάκλασης (*irradiance*).

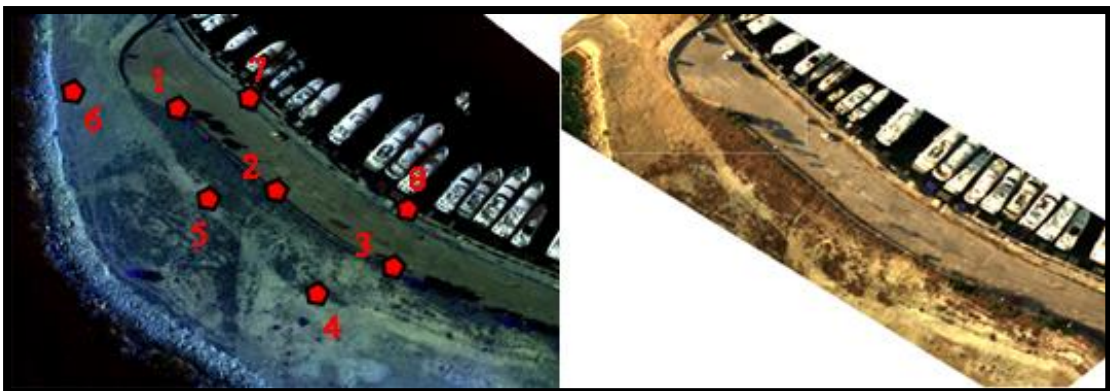


Σχήμα 2.29 - Reflectance, Irradiance και Radiance.

### 2.5.5 Γεωμετρική αντιστοίχιση

Τελευταίο στάδιο της προεπεξεργασίας αποτελεί η γεωμετρική αντιστοίχιση των παραγόμενων εικόνων μεταξύ τους. Κατά τη διαδικασία αυτήν, γίνεται αντιστοίχιση όλων των διαθέσιμων εικόνων με υπόβαθρο αναφοράς την ορθοεικόνα των πολυφασματικών δεδομένων το οποίο είχε γεωαναφορά (*WGS 84*). Επιπροσθέτως για την πολυφασματική ορθοεικόνα πραγματοποιήθηκε έλεγχος σε σημεία ελέγχου (*GCPs*) αξιολογώντας το μέσο σφάλμα στα *4cm*.

Η αντιστοίχιση των υπερφασματικών μωσαϊκών πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον *ArcGis*. Η διαδικασία έγινε για κάθε ένα από τα τρία μωσαϊκά που προέκυψαν από τα τρία σκέλη πτήσης. Το μοντέλο μετασχηματίστηκε με *Affine* πρώτου βαθμού πολυωνυμική εξίσωση με συνολικά 8 σημεία και τελικό *RMS Error* *3,6 pixels* (Σχήματα 2.30, 2.31).



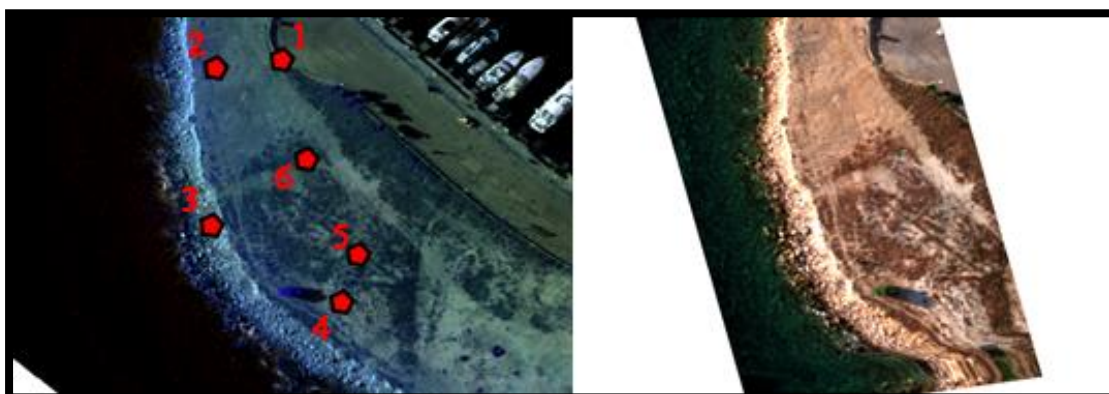
Σχήμα 2.30 - Διαδικασία αντιστοίχισης πρώτου Υπερφασματικού μωσαϊκού. Αριστερά οι θέσεις των *GCPs*. Δεξιά το μωσαϊκό μετά την αντιστοίχιση.

		Total RMS Error:		Forward:3.60401e-006				
	Link	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual_x	Residual_y	Residual
<input checked="" type="checkbox"/>	1	486.604385	-3765.930994	23.732506	37.870680	-1.54725e-006	0	1.54725e-006
<input checked="" type="checkbox"/>	2	584.527544	-3403.106370	23.732840	37.870397	-2.26911e-006	-2.48938e-006	3.36836e-006
<input checked="" type="checkbox"/>	3	626.215386	-3033.592941	23.733223	37.870139	6.93772e-006	-8.29586e-007	6.98715e-006
<input checked="" type="checkbox"/>	4	970.920419	-3093.065193	23.732953	37.870023	-2.39118e-006	-5.6413e-007	2.45682e-006
<input checked="" type="checkbox"/>	5	816.449698	-3493.578049	23.732610	37.870358	-2.15376e-006	3.14395e-006	3.81091e-006
<input checked="" type="checkbox"/>	6	695.136003	-3972.464707	23.732170	37.870720	3.79729e-006	-8.82565e-007	3.8985e-006
<input checked="" type="checkbox"/>	7	263.546067	-3652.408451	23.732757	37.870706	-4.40182e-007	0	4.40182e-007
<input checked="" type="checkbox"/>	8	366.582668	-3130.977439	23.733258	37.870321	-1.93354e-006	1.28903e-006	2.32383e-006

Auto Adjust Transformation: 1st Order Polynomial (Affine)

Σχήμα 2.31 - Πίνακας σφαλμάτων γεωαναφοράς για το πρώτο Υπερφασματικό μωσαϊκό.

Ομοίως για το δεύτερο μωσαϊκό χρησιμοποιήθηκε ο ίδιος μετασχηματισμός εικόνας *Affine*, πρώτη πολυωνμικής εξίσωση με συνολικά 6 σημεία και τελικό *RMS Error* 6,3 pixels. Ακολούθως φαίνονται οι εικόνες κατά τη διαδικασία της γεωαναφοράς καθώς και ο πίνακας με τα σφάλματα των επιμέρους σημείων (Σχήματα 2.32, 2.33).



Σχήμα 2.32 - Διαδικασία αντιστοίχισης Υπερφασματικού δεύτερου μωσαϊκού. Αριστερά οι θέσεις των GCPs. Δεξιά το μωσαϊκό μετά την αντιστοίχιση.

		Total RMS Error:		Forward:6.39118e-006				
	Link	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual_x	Residual_y	Residual
<input checked="" type="checkbox"/>	1	750.615922	-4407.330928	23.732338	37.870749	-6.69277e-006	7.65124e-007	6.73637e-006
<input checked="" type="checkbox"/>	2	531.291294	-4411.156357	23.732172	37.870720	0	1.44589e-006	1.44589e-006
<input checked="" type="checkbox"/>	3	359.454349	-4769.011423	23.732152	37.870294	-7.58777e-007	-5.80356e-007	9.55277e-007
<input checked="" type="checkbox"/>	4	716.444615	-4985.265383	23.732503	37.870091	-2.341e-006	9.89838e-007	2.54167e-006
<input checked="" type="checkbox"/>	5	805.997812	-4892.088413	23.732543	37.870207	-3.02411e-006	1.06489e-006	3.20613e-006
<input checked="" type="checkbox"/>	6	732.990915	-4647.170743	23.732421	37.870471	1.28988e-005	-3.68538e-006	1.3415e-005

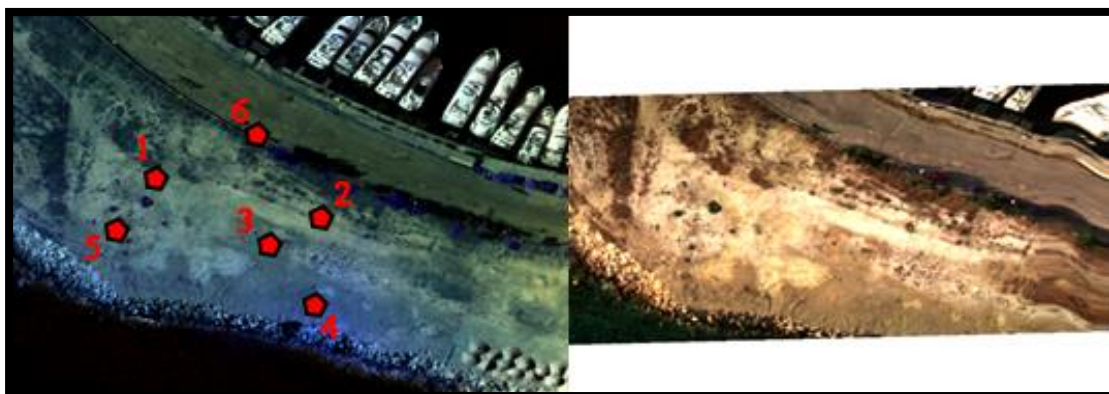
Auto Adjust Transformation: 1st Order Polynomial (Affine)

Σχήμα 2.33 - Πίνακας σφαλμάτων γεωαναφοράς για το δεύτερο Υπερφασματικό μωσαϊκό.

Όμοια διαδικασία και για το τρίτο υπερφασματικό μωσαϊκό. Η περιοχή κάλυψης από τη συγκεκριμένη εικόνα ήταν ελαφρώς μικρότερη από τις προηγούμενες, με αποτέλεσμα να



δυσκολεύεται ιδιαίτερα η διαδικασία εύρεσης κοινών σημείων για την αντιστοίχιση. Παρόλα αυτά έγινε ο μετασχηματισμός με *Affine* πρώτη πολυωνυμική εξίσωση με 6 σημεία και συνολικό *RMS Error* 4.2 pixels (Σχήμα 2.34, 2.35).



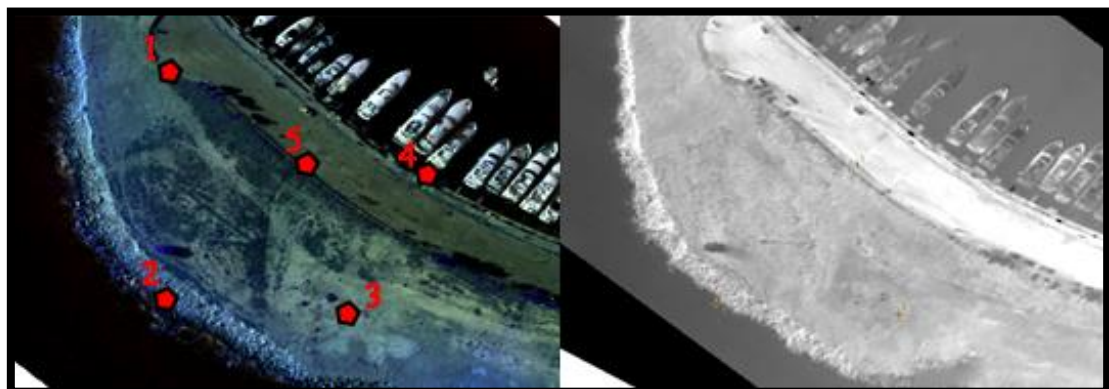
Σχήμα 2.34 - Διαδικασία αντιστοίχισης Υπερφασματικού τρίτου μωσαϊκού. Αριστερά οι θέσεις των GCPs. Δεξιά το μωσαϊκό μετά την αντιστοίχιση.

		Total RMS Error:				Forward: 4.21847e-006			
	Link	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual_x	Residual_y	Residual	
<input checked="" type="checkbox"/>	1	632.265534	-5598.161777	23.732953	37.870023	-7.51138e-007	5.14455e-006	5.19909e-006	
<input checked="" type="checkbox"/>	2	424.229381	-5947.388488	23.733417	37.869903	3.73829e-006	0	3.73829e-006	
<input checked="" type="checkbox"/>	3	343.208452	-5839.796452	23.733267	37.869853	2.2838e-006	3.30267e-006	4.01539e-006	
<input checked="" type="checkbox"/>	4	41.800745	-5939.653224	23.733381	37.869667	-3.68986e-006	-1.34785e-006	3.92833e-006	
<input checked="" type="checkbox"/>	5	413.148688	-5522.387851	23.732842	37.869878	1.06738e-006	-3.80309e-006	3.95004e-006	
<input checked="" type="checkbox"/>	6	823.697667	-5793.149611	23.733222	37.870139	-2.64847e-006	-3.40518e-006	4.31389e-006	

Auto Adjust      Transformation: 1st Order Polynomial (Affine)

Σχήμα 2.35 - Πίνακας σφαλμάτων γεωαναφοράς για το τρίτο Υπερφασματικό μωσαϊκό.

Τέλος, η διαδικασία της γεωαναφοράς ολοκληρώνεται με την αντιστοίχιση του μωσαϊκού θερμικού φάσματος. Όμοιος μετασχηματισμός με τις προηγούμενες αντιστοιχίσεις με 5 σημεία και συνολικό *RMS Error* 5 pixels (Σχήματα 2.36, 2.37).



Σχήμα 2.36 - Διαδικασία αντιστοίχισης του Θερμικού μωσαϊκού. Αριστερά οι θέσεις των GCPs. Δεξιά το μωσαϊκό μετά την αντιστοίχιση.

		Total RMS Error:		Forward: 5.02008e-006				
	Link	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual_x	Residual_y	Residual
<input checked="" type="checkbox"/>	1	-1.485405	-8.609395	23.732395	37.870711	0	3.10043e-006	3.10043e-006
<input checked="" type="checkbox"/>	2	5.445427	-3.178349	23.732374	37.869946	-2.10551e-006	7.5863e-007	2.23801e-006
<input checked="" type="checkbox"/>	3	2.967080	2.358585	23.732974	37.869907	2.06767e-006	9.53808e-007	2.27706e-006
<input checked="" type="checkbox"/>	4	-2.587441	1.495989	23.733259	37.870376	-3.04891e-006	3.72063e-006	4.8103e-006
<input checked="" type="checkbox"/>	5	-0.852079	-2.494681	23.732839	37.870396	3.20006e-006	-8.53349e-006	9.11378e-006

Auto Adjust      Transformation: 1st Order Polynomial (Affine)

Σχήμα 2.37 - Πίνακας σφαλμάτων γεωαναφοράς για το Θερμικό μωσαϊκό.

## 2.6 Οπτικοποίηση Δεδομένων

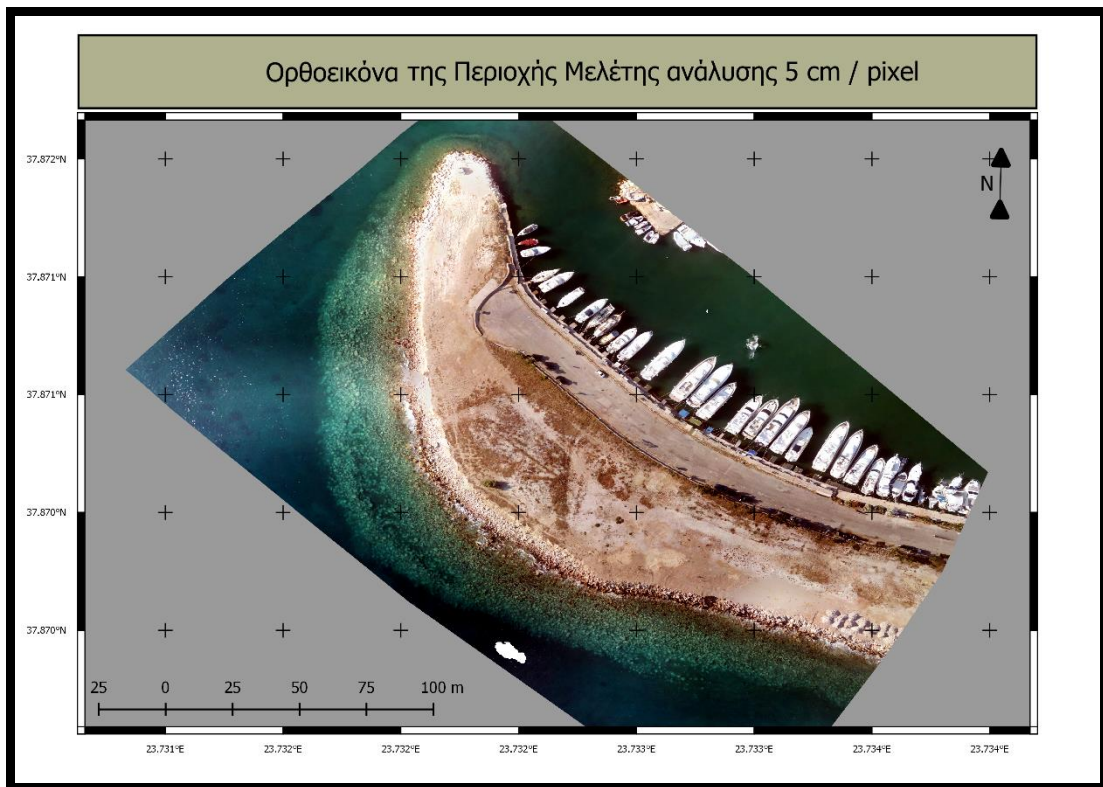
Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (*Geographic Information Systems – GIS*), αποτελούν συστήματα διαχείρισης και συσχέτισης χωρικών και περιγραφικών δεδομένων. Μέσα από τα συστήματα αυτά, ο χρήστης μπορεί να εισάγει, επεξεργαστεί, αναλύσει, τροποποιήσει και οπτικοποιήσει χωρικά δεδομένα και στη συνέχεια να τα αποδώσει σε αναλογικά (κατασκευή χαρτών, διαγραμμάτων κλπ) ή ψηφιακά δεδομένα (τύποι αρχείων ή βάσεις χωρικών δεδομένων, διαδραστικοί χάρτες κλπ). Υπάρχουν πολυάριθμα λογισμικά *GIS*, τα πιο γνωστά από αυτά είναι το εμπορικό λογισμικό *ArcGis* της εταιρείας *Esri* και το ελεύθερο *Quantum GIS*.

Ολοκληρώνοντας την προεπεξεργασία των δεδομένων γίνεται η εισαγωγή όλων των δεδομένων σε περιβάλλον *GIS*, για τον ποιοτικό και ποσοτικό έλεγχο των αποτελεσμάτων καθώς και τελικές επεξεργασίες πριν ξεκινήσουν οι διαδικασίες των ταξινομήσεων.

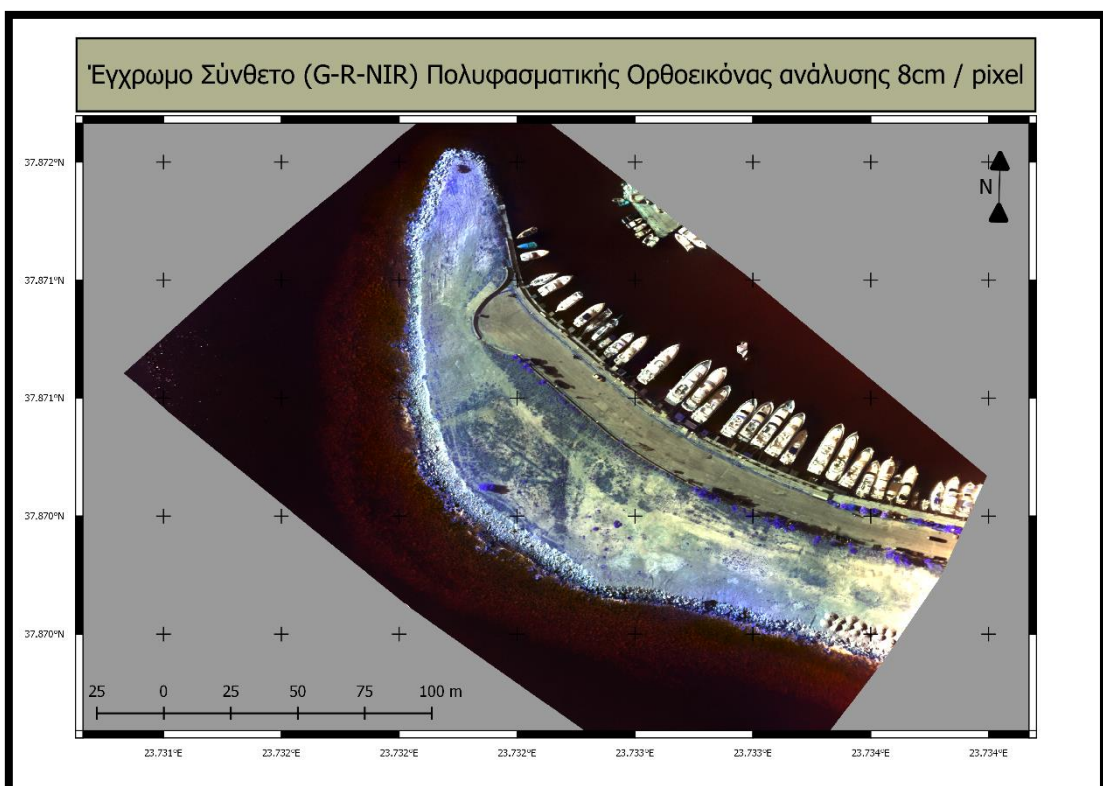
Αρχικά πραγματοποιούνται περικοπές (*clips*) στα Υπερφασματικά μωσαϊκά λόγω στρέβλωσης κατά τη διαδικασία σάρωσης στη λήψη των δεδομένων. Αυτό έγινε με το εργαλείο *Raster → Clipper* σε περιβάλλον *QGIS*. Στη συνέχεια ελέγχεται ποιοτικά η ακρίβεια της γεωαναφοράς (απόλυτης και σχετικής) προβάλλοντας το σύνολο των δεδομένων σε χάρτη στο εν λόγω λογισμικό.

Τέλος, πραγματοποιείται σύνθεση του Πολυφασματικού και του Θερμικού μωσαϊκού, με σκοπό να διερευνηθεί η συνεισφορά της θερμικής πληροφορίας σε διαδικασίες ταξινόμησης. Η διαδικασία αυτή έγινε μέσω του εργαλείου *Raster → Merge* από το ελεύθερο λογισμικό *QGIS*, αφού πρώτα γίνει *Resample* του θερμικού μωσαϊκού στην ανάλυση του Πολυφασματικού ώστε να υπάρχει αντιστοιχία στις τιμές των *pixels*.

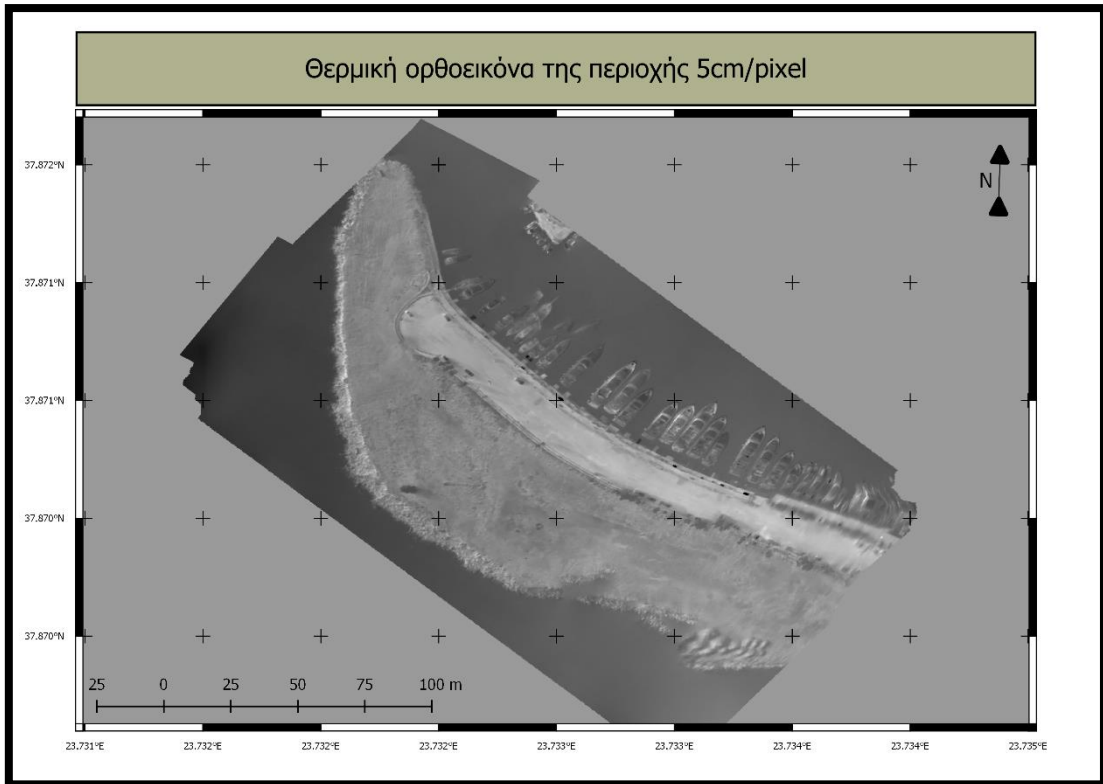
Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται όλα τα παραγόμενα αποτελέσματα από τη διαδικασία της προεπεξεργασίας, αφού πρώτα ενσωματώθηκαν σε χάρτη για την ορθότερη οπτικοποίηση της χωρικής πληροφορίας.



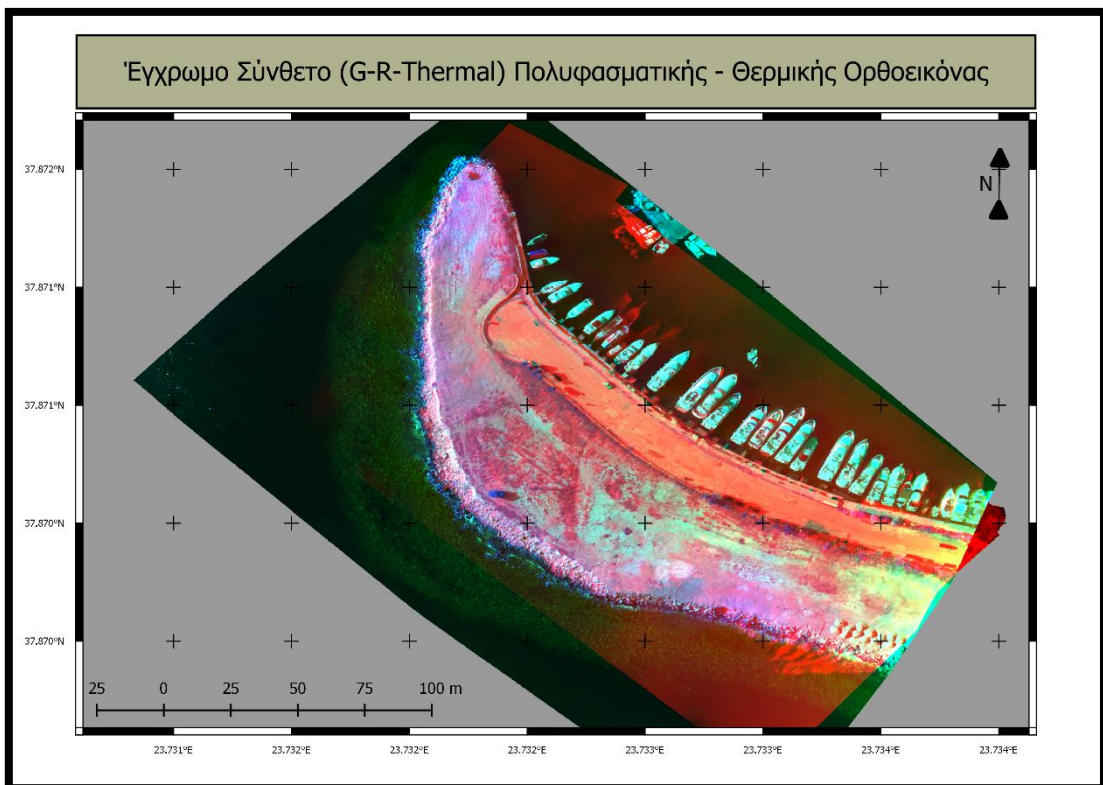
Σχήμα 2.38 - Ορθοεικόνια της περιοχής μελέτης, προερχόμενη από τις 126 RGB εικόνες, με χωρική ανάλυση τα 5cm.



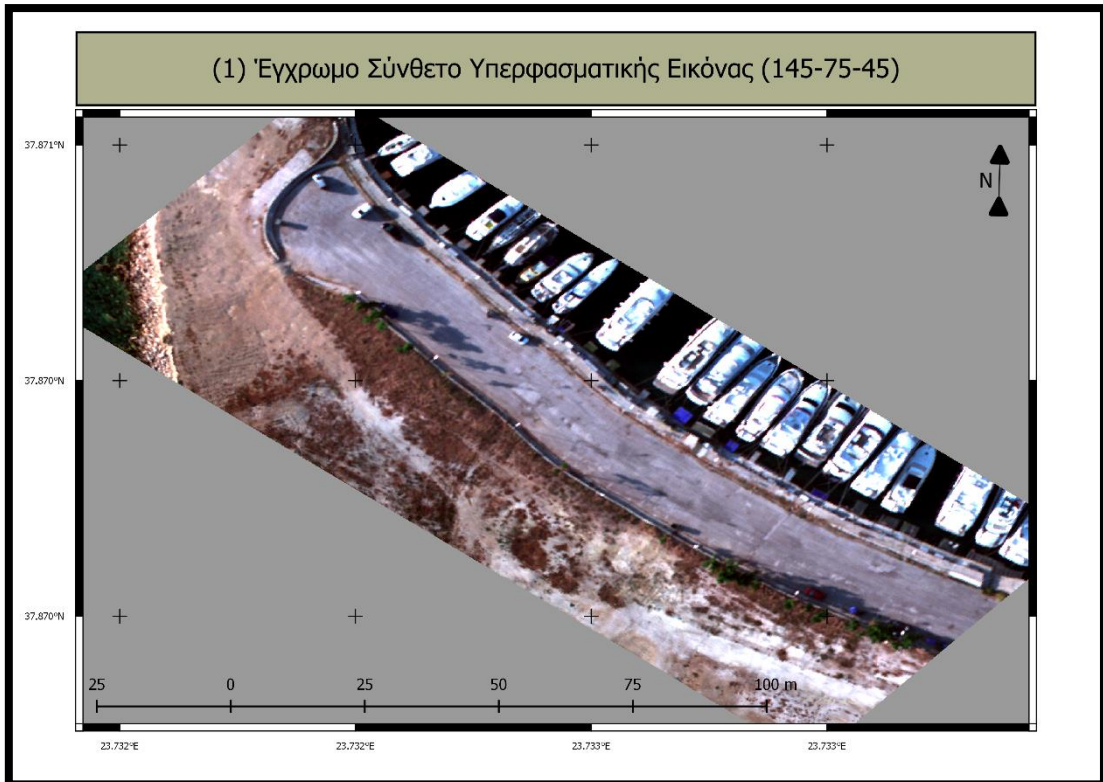
Σχήμα 2.39 - Ορθοεικόνια της περιοχής μελέτης, προερχόμενη από τις 126 πολυφασματικές εικόνες της SeaWiFS, με χωρική ανάλυση τα 8 cm. Ο χάρτης αποτελεί έγχρωμο σύνθετο των καναλιών G-R-NIR.



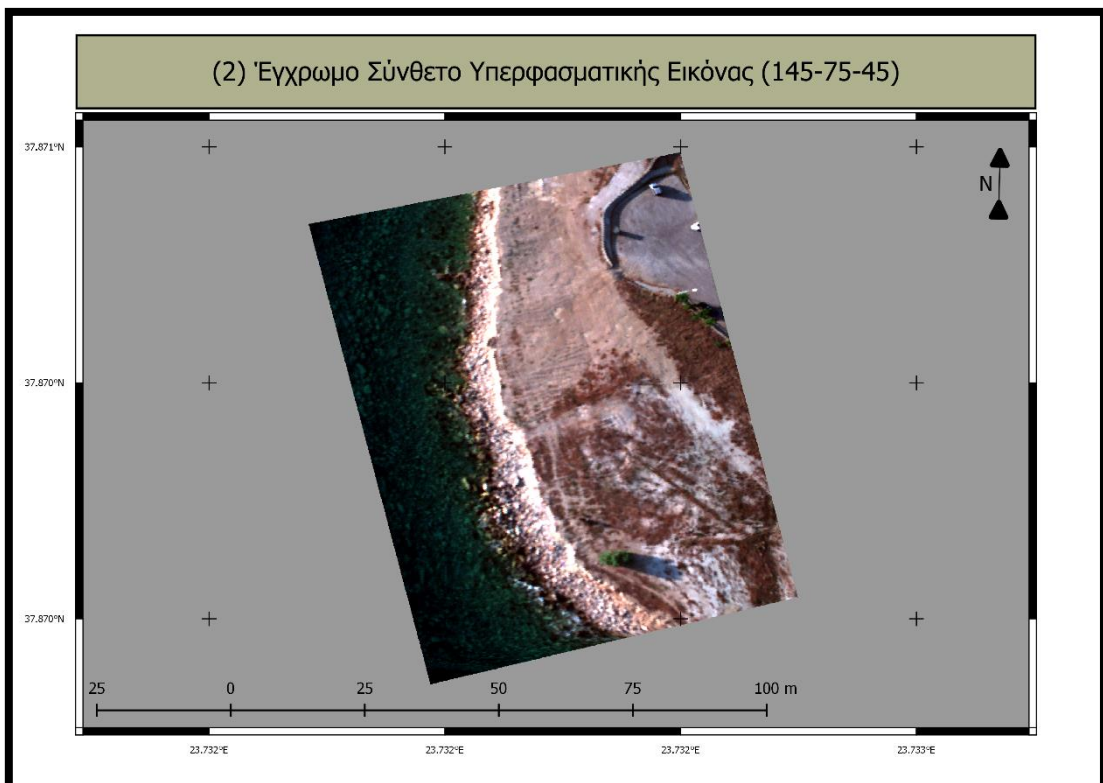
Σχήμα 2.40 - Ορθοεικόνια της περιοχής μελέτης από τις 195 θερμικές εικόνες του Flir Vue Pro, με χωρική ανάλυση τα 5 cm.



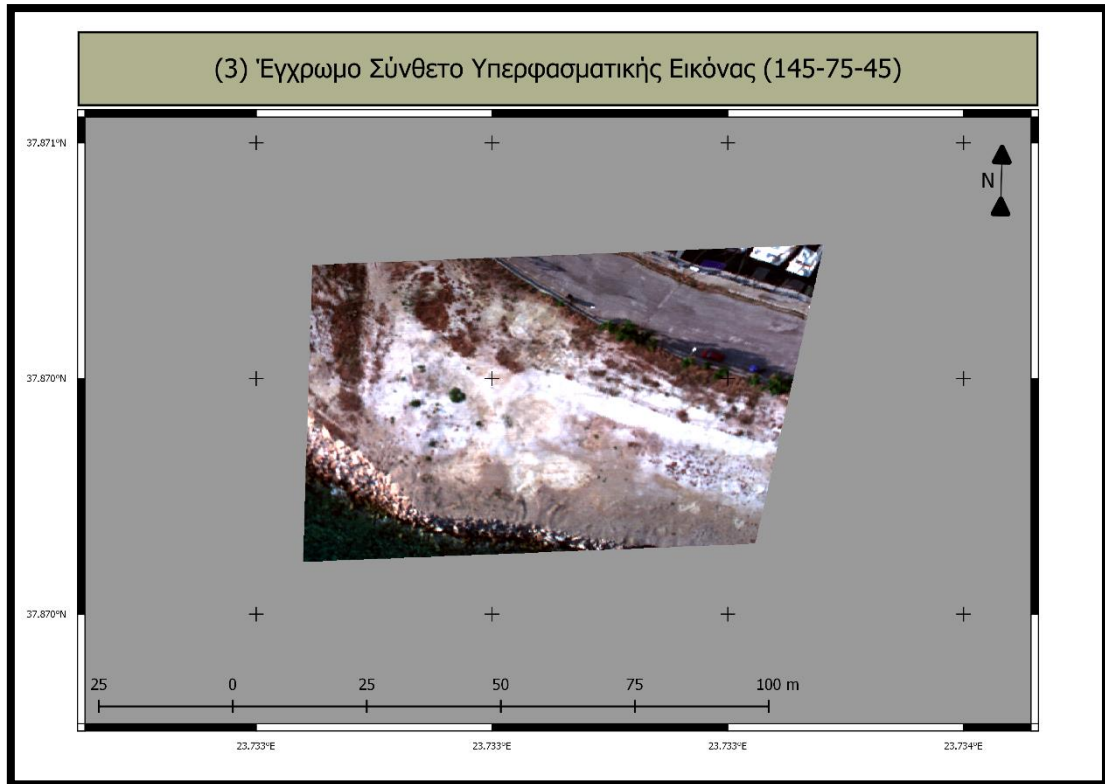
Σχήμα 2.41 - Ορθοεικόνια της περιοχής μελέτης από τη συγχώνευση των πολυφασματικών και θερμικών δεδομένων στα 5cm. Ο χάρτης αποτελεί έγχρωμο σύνθετο των καναλιών G-R-Thermal.



Σχήμα 2.42 - Έγχρωμο σύνθετο των καναλιών RGB:145-75-45 της Υπερφασματικής εικόνας του πρώτου σκέλους πτήσης.



Σχήμα 2.43 - Έγχρωμο σύνθετο των καναλιών RGB:145-75-45 της Υπερφασματικής εικόνας του δεύτερου σκέλους πτήσης.



Σχήμα 2.44 - Έγχρωμο σύνθετο των καναλιών RGB:145-75-45 της Υπερφασματικής εικόνας του τρίτου σκέλους πτήσης.

# 3

## Ταξινόμηση Δεδομένων και Αξιολόγηση

Ταξινόμηση ψηφιακής εικόνας είναι η διαδικασία αντιστοίχισης ή τοποθέτησης των τιμών φωτεινότητας των εικονοστοιχείων σε ομάδες που παρουσιάζουν την ίδια μορφή, τις ίδιες περίπου ιδιότητες. Ο απλούστερος τρόπος για την ταξινόμηση εικόνας είναι να εξεταστεί κάθε εικονοστοιχείο ξεχωριστά και να τοποθετηθεί σε μια ομάδα ανάλογα με τις τιμές της φωτεινότητας που μετρήθηκαν σε διαφορετικές φασματικές ζώνες (κανάλια). Τέτοιου είδους ταξινομητές (*classifiers*) που βασίζονται σε φασματικές μετρήσεις ονομάζονται φασματικοί ταξινομητές (*spectral*). Μια εναλλακτική λύση θα ήταν να θεωρηθούν σύνολα ή συγκεντρώσεις εικονοστοιχείων ανάλογα με τη θέση που κατέχουν στον χώρο ή τον χρόνο, ή βάσει άλλης πληροφορίας της εικόνας. Εδώ πλέον γίνεται λόγος για χωρικούς ταξινομητές ή ταξινομητές συνάφειας (*classifiers*). (Μερτίκας, 2009).

Υπάρχουν πολυάριθμοι αλγόριθμοι που έχουν δημιουργηθεί για τις ταξινομήσεις ψηφιακών εικόνων. Με βάση τη βιβλιογραφία, δυο είναι οι κύριες κατηγορίες που κατατάσσονται οι παραπάνω αλγόριθμοι ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας τους. Η πρώτη είναι η επιβλεπόμενη ή καθοδηγούμενη ταξινόμηση (*supervised classification*) όπου ο χρήστης «εκπαιδεύει» τον αλγόριθμο δίνοντάς του ορισμένες περιοχές εκπαίδευσης (*training fields*), με αποτέλεσμα αυτός στη συνέχεια να κατατάσσει τα εικονοστοιχεία της εικόνας σε συγκεκριμένες θεματικές κατηγορίες ή τάξεις. Με τον τρόπο αυτό λαμβάνονται υπόψιν οι φασματικές υπογραφές και χαρακτηριστικά της κάθε κατηγορίας ή τάξης. Αλγόριθμοι αυτού του είδους ταξινόμησης αποτελούν οι ελάχιστης απόστασης, του κανόνα του παραλληλεπιπέδου, μέθοδος μέγιστης πιθανοφάνειας κ.α. Η δεύτερη ονομάζεται αυτόματη ταξινόμηση (*unsupervised classification*), όπου ο χρήστης δεν γνωρίζει τίποτα για την ύπαρξη ή το είδος της πληροφορίας των τάξεων.

### 3.1 Αλγόριθμοι ταξινόμησης

Στο σημείο αυτό θα γίνει αναφορά στους αλγόριθμους που θα χρησιμοποιηθούν στο επόμενο κεφάλαιο για τις ταξινομήσεις εικόνων.

#### 3.1.1 Ελάχιστης απόστασης (Minimum Distance)

Ο αλγόριθμος της ελάχιστης απόστασης υπολογίζει την Ευκλείδεια απόσταση  $d(x, y)$  ανάμεσα στις φασματικές υπογραφές των εικονοστοιχείων (*pixels*) της εικόνας και τις φασματικές

υπογραφές των πεδίων εκπαίδευσης που έχουν δοθεί από τον χρήστη. Η εξίσωση είναι η παρακάτω:

$$d(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}$$

όπου:

$x$  = διάνυσμα της φασματικής υπογραφής εικονοστοιχείου της εικόνας

$y$  = διάνυσμα της φασματικής υπογραφής της περιοχής εκπαίδευσης

$n$  = αριθμός καναλιών της εικόνας

Επομένως υπολογίζεται η απόσταση για κάθε εικονοστοιχείο της εικόνας, κατατάσσοντας το στην κατηγορία που είναι πιο κοντά οι φασματικές υπογραφές σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση (Richards and Jia, 2006):

$$x \in C_k \leftrightarrow d(x, y_k) < d(x, y_j) \forall j \neq k$$

όπου:

$C_k$  = η κάλυψη γης κατηγορίας  $k$

$y_k$  = η φασματική υπογραφή της κατηγορίας  $k$

$y_j$  = η φασματική υπογραφή της κατηγορίας  $j$

Επίσης, είναι εφικτό να ορισθεί κατώφλι  $T_i$ , με σκοπό την εξαίρεση εικονοστοιχείων κάτω από την τιμή αυτή κατά τη διάρκεια της ταξινόμησης:

$$x \in C_k \leftrightarrow d(x, y_k) < d(x, y_j) \forall j \neq k$$

και

$$d(x, y_k) < T_i$$

### 3.1.2 Αλγόριθμος μέγιστης πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood)

Ο αλγόριθμος μέγιστης πιθανοφάνειας υπολογίζει την κατανομή πιθανότητας για τις κατηγορίες, με βάση το θεώρημα του *Bayes*, εκτιμώντας εάν ένα εικονοστοιχείο ανήκει στην κατηγορία κάλυψης γης. Συγκεκριμένα, ορίζεται η κατανομή πιθανότητας για τις κατηγορίες με τη μορφή ενός πολυμεταβλητού κανονικού μοντέλου (Richards & Jia, 2006). Για να χρησιμοποιηθεί αυτός ο αλγόριθμος, απαιτείται επαρκής αριθμός εικονοστοιχείων ως περιοχή εκπαίδευσης για κάθε κατηγορία για να προσδιοριστεί ο πίνακας συνδιασποράς (*covariance matrix*). Η παρακάτω εξίσωση επιλύεται για κάθε εικονοστοιχείο (Richards & Jia, 2006) :

$$g_k = \ln p(C_k) - \frac{1}{2} \ln |\Sigma_k| - \frac{1}{2} (x - y_k)^t \Sigma_k^{-1} (x - y_k)$$

όπου:

$C_k$  = η κάλυψη γης κατηγορίας  $k$

$x$  = το διάνυσμα φασματικής υπογραφής του εικονοστοιχείου της εικόνας

$p(C_k)$  = η πιθανότητα ότι η σωστή κατηγορία είναι η  $C_k$



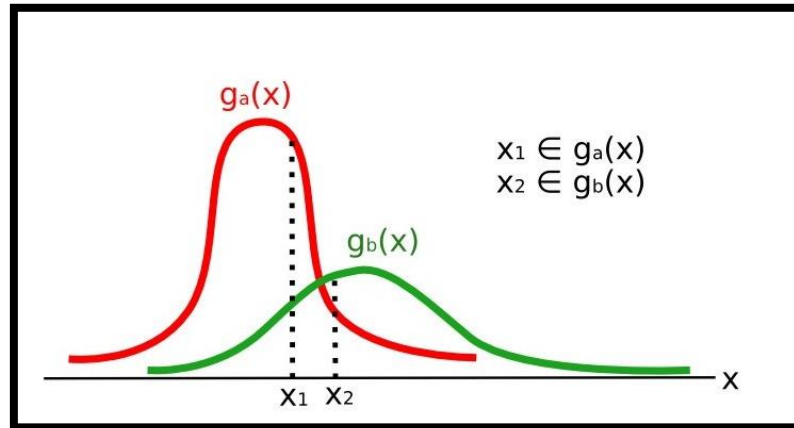
$|\Sigma_k|$  = η ορίζουσα του πίνακα συνδιασποράς των δεδομένων στην κατηγορία  $C_k$

$\Sigma_k^{-1}$  = ο αντίστροφος του πίνακα συνδιασποράς

$y_k$  = το διάνυσμα της φασματικής υπογραφής της κατηγορίας  $k$

Επομένως:

$$x \in C_k \leftrightarrow g_k(x) > g_j(x) \forall k \neq j$$



Σχήμα 3.1 - Παράδειγμα ταξινόμησης με τον αλγόριθμο Μέγιστης πιθανοφάνειας

Και στην περίπτωση αυτή, μπορεί να ορισθεί κατώφλι  $T_i$ , με σκοπό την εξαίρεση εικονοστοιχείων κάτω από την τιμή αυτή κατά τη διάρκεια της ταξινόμησης:

$$x \in C_k \leftrightarrow g_k(x) > g_j(x) \forall k \neq j$$

και

$$g_k(x) > T_i$$

ο συγκεκριμένος αλγόριθμος είναι από τους πιο συνηθισμένους στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση, παρόλο που η διαδικασία ταξινόμησης διαρκεί περισσότερο από τον αλγόριθμο ελάχιστης απόστασης.

### 3.1.3 Αλγόριθμος καθορισμού φασματικής γωνίας (Spectral Angle Mapping)

Ο αλγόριθμος καθορισμού φασματικής γωνίας υπολογίζει τη φασματική γωνία ανάμεσα στις φασματικές υπογραφές των εικονοστοιχείων της εικόνας και των περιοχών εκπαίδευσης. Η φασματική γωνία  $\theta$  προσδιορίζεται ως (Kruse et al., 1993):

$$\theta(x, y) = \cos^{-1} \left( \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\left( \sum_{i=1}^n x_i^2 \right)^{\frac{1}{2}} * \left( \sum_{i=1}^n y_i^2 \right)^{\frac{1}{2}}} \right)$$

όπου:

$x$  = το διάνυσμα της φασματικής υπογραφής εικονοστοιχείου της εικόνας

$y$  = το διάνυσμα της φασματικής υπογραφής της περιοχής εκπαίδευσης

$n$  = ο αριθμός των καναλιών της εικόνας

Επομένως, ένα εικονοστοιχείο ανήκει στην κατηγορία με τη μικρότερη γωνία δηλαδή:

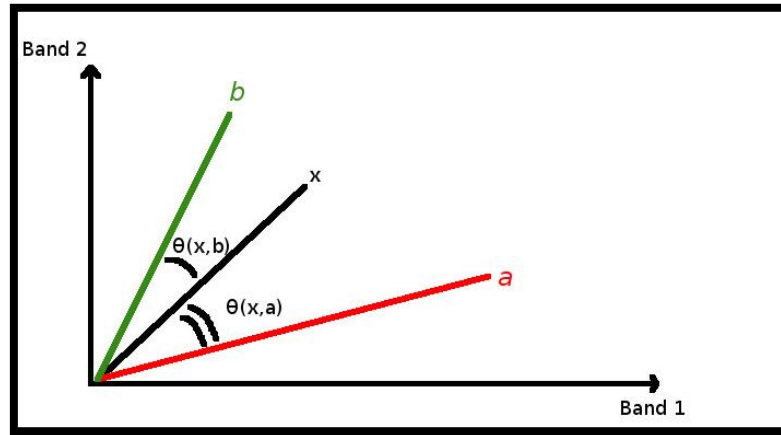
$$x \in C_k \leftrightarrow \theta(x, y_k) < \theta(x, y_j) \forall k \neq j$$

όπου:

$C_k$  = η κάλυψη γης κατηγορίας k

$y_k$  = η φασματική υπογραφή της κατηγορίας k

$y_j$  = η φασματική υπογραφή της κατηγορίας j



Σχήμα 3.2 - Παράδειγμα ταξινόμησης με τον αλγόριθμο Spectral Angle Mapping.

για να εξαιρεθούν εικονοστοιχεία κατά τη διάρκεια της ταξινόμησης κάτω από μια συγκεκριμένη τιμή ορίζεται και εδώ, κατώφλι  $T_i$ :

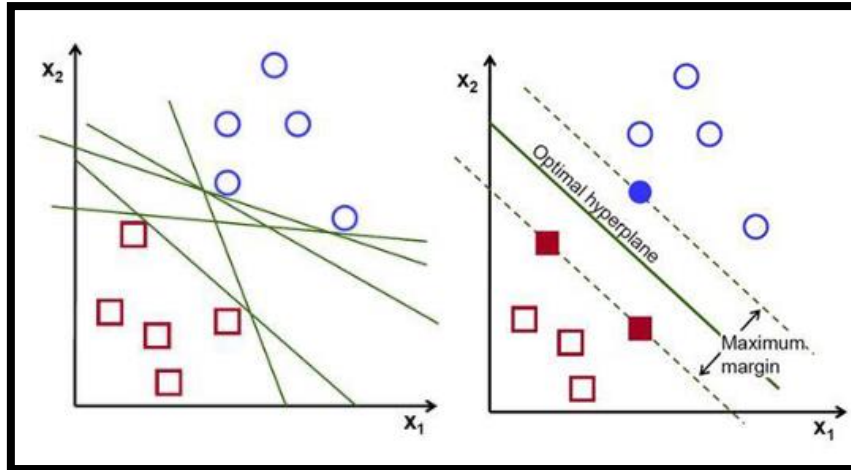
$$x \in C_k \leftrightarrow \theta(x, y_k) < \theta(x, y_j) \forall k \neq j$$

και

$$\theta(x, y_k) < T_i$$

### 3.1.4 Μηχανές διανυσμάτων υποστήριξης (Support Vector Machines - SVM)

Οι μηχανές διανυσμάτων υποστήριξης προέρχονται από τον κλάδο της Μηχανικής Μάθησης (*Machine Learning*) και αποτελούν μοντέλα επιβλεπόμενης μάθησης. Χρησιμοποιούνται ευρέως σε εφαρμογές ανάλυσης δεδομένων, ταξινόμησης κ.α. Αφού δοθούν δεδομένα εκπαίδευσης, οι αλγόριθμοι αυτοί τα διαχωρίζουν σε δυο κλάσεις. Αυτό επιτυγχάνεται υπολογίζοντας και επιλέγοντας το βέλτιστο «όριο απόφασης» (*decision boundary*) μεταξύ των δεδομένων, το οποίο και καθορίζει σε ποια κλάση ανήκει το επιμέρους δείγμα. Το όριο αυτό, ορίζεται από τη γραμμή που διχοτομεί το μεγαλύτερο πιθανό κενό μεταξύ των δεδομένων των δυο κατηγοριών. Η απόσταση μεταξύ του ορίου απόφασης και του επιπέδου δεδομένων της μιας κατηγορίας ονομάζεται «περιθώριο» (*margin*) και τα δείγματα των κατηγοριών που βρίσκονται πιο κοντά στο όριο απόφασης ονομάζονται «διανύσματα υποστήριξης» (*support vectors*). Έτσι λοιπόν, προβάλλοντας τα νέα δεδομένα που εισέρχονται στο σύστημα και ανάλογα με την κοντινότερη απόσταση του περιθωρίου, ταξινομούνται σε μια από τις δυο κατηγορίες.



Σχήμα 3.3 - Οι διάφορες πιθανές γραμμές που μπορούν να χωρίσουν τα δεδομένα σε 2 κατηγορίες (Αριστερά). Η υλοποίηση του ορίου απόφασης ως η διχοτόμος του μέγιστου δυνατού κενού μεταξύ των δεδομένων (Πηγή: [www.docs.opencv.org](http://www.docs.opencv.org) Assessed: 10/5/2018)

### Συστήματα πολλών κλάσεων

Αρχικά οι Μηχανές διανυσμάτων υποστήριξης αναπτύχθηκαν για την κατηγοριοποίηση δεδομένων σε δυο κλάσεις. Όμως, η πλειονότητα των εφαρμογών ταξινόμησης, απαιτούν διαχωρισμό δειγμάτων σε περισσότερες από δυο κατηγορίες. Για τον λόγο αυτό, δημιουργήθηκαν παραλλαγές και επεκτάσεις της μεθόδου για την επίλυση προβλημάτων κατηγοριοποίησης περισσότερων κλάσεων. Οι πιο γνωστές μέθοδοι είναι οι παρακάτω:

- Μέθοδος «ένας εναντίον όλων» (*one-against-all*)
- Μέθοδος «ένας εναντίον ενός» (*one-against-one*)
- Μέθοδος των καθοδηγούμενων μη – κυκλικών γραφημάτων (*Directed acyclic graphs SVM – DAGSVM*)
- Οι κώδικες διόρθωσης σφάλματος εξόδου
- Η μέθοδος *Crammer and Singer* που ανάγει το πρόβλημα σε βελτιστοποίηση

### Μη γραμμικοί ταξινομητές

Εκτός από τις περιπτώσεις γραμμικών ταξινομήσεων, οι μηχανές διανυσμάτων υποστήριξης μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε εφαρμογές με δεδομένα τα οποία δεν είναι γραμμικά διαχωρίσιμα. Για να γίνει αυτό, έχουν αναπτυχθεί διάφοροι μέθοδοι και συναρτήσεις μερικοί από τους οποίους αναφέρονται παρακάτω:

- Το τέχνασμα του πυρήνα
- Συνθήκες *Mercer*
- Συναρτήσεις Πυρήνα (*Kernel Functions*) σε συναρτήσεις Γραμμικού και Πολυωνυμικού πυρήνα
- Σιγμοειδής Πυρήνας (*Sigmoid Kernel*)

Μείωση διάστασης δεδομένων (Dimensionality Reduction)

Κατά την επεξεργασία τηλεπισκοπικών δεδομένων τόσο υπερφασματικών όσο και πολυφασματικών, είναι αναγκαία η μείωση του καταλαμβανόμενου όγκου τους και παράλληλα του υπολογιστικού φόρτου επεξεργασίας του συστήματος. Για να γίνει αυτό, επιχειρείται η μείωση της τρίτης διάστασης των δεδομένων. Υπάρχουν πολλές τεχνικές που επιλύουν το παραπάνω πρόβλημα, στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία «Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών» (*Principal Component Analysis – PCA*). Στη διαδικασία αυτή, χρησιμοποιείται ένας ορθογωνικός μετασχηματισμός όπου μετατρέπει ένα σύνολο συσχετιζόμενων δεδομένων, σε ένα σύνολο ασυσχέτιστων γραμμικών μεταβλητών, οι οποίες ονομάζονται «Κύριες Συνιστώσες» (*Principal Components*). Στις πολυφασματικές ή υπερφασματικές εικόνες χρησιμοποιείται η ανάλυση *PCA* στη 3<sup>η</sup> διάσταση των δεδομένων, με σκοπό την αισθητή μείωση του όγκου τους, χωρίς να χάνεται μεγάλο ποσοστό πληροφορίας.

### 3.2 Δεδομένα αναφοράς

Στις επιβλεπόμενες ταξινομήσεις, απαιτείται από το χρήστη δημιουργία δεδομένων αναφοράς τα οποία είναι συνήθως πολύγωνα με διακριτές περιοχές στο έδαφος τα οποία αφορούν μια συγκεκριμένη κατηγορία ταξινόμησης. Μέρος των δεδομένων αυτών αρχικά, χρησιμοποιούνται ως δεδομένα εκπαίδευσης ώστε να «εκπαιδευτεί» ο αλγόριθμος υπολογίζοντας και αναλύοντας τις φασματικές τους υπογραφές. Στη συνέχεια διαφορετικό μέρος τους χρησιμοποιείται ως δεδομένα ελέγχου με τα οποία εκτιμώνται οι ακρίβειες και τα αποτελέσματα της ταξινόμησης.

Αφού εντοπίστηκαν και αναλύθηκαν λεπτομερώς οι κυρίαρχες καλύψεις και τα υλικά της περιοχής μελέτης, δημιουργήθηκαν συνολικά 9 κατηγορίες ταξινόμησης. Οι κατηγορίες αυτές μαζί με τα χρώματα και κάποια ενδεικτικά πολύγωνα της κάθε μίας όπως φαίνονται πάνω στα διαθέσιμα δεδομένα ανά αισθητήρα, παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 3.1).

Στη συνέχεια έγινε λεπτομερής δημιουργία πολυγώνων εκπαίδευσης και ελέγχου για κάθε κατηγορία ταξινόμησης σε διανυσματικά αρχεία (*Vectors*) στο λογισμικό *QGIS*, ομοιόμορφα κατανεμημένα σε όλη τη διαθέσιμη περιοχή μελέτης. Στη συνέχεια μέσω του ίδιου λογισμικού, υπολογίστηκαν οι φασματικές υπογραφές καθώς και ο αριθμός των συνολικών εικονοστοιχείων (*pixels*) των πεδίων εκπαίδευσης που προέκυψαν από τα δεδομένα του πολυφασματικού και υπερφασματικού αισθητήρα.


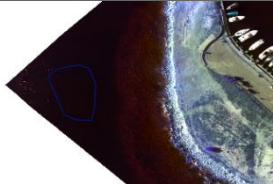
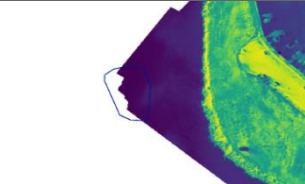



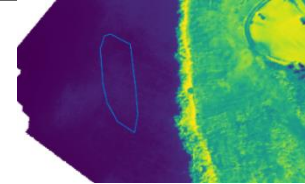
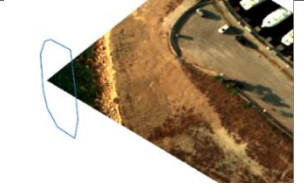



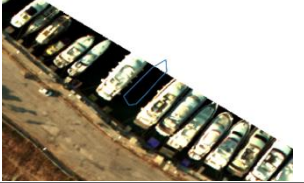

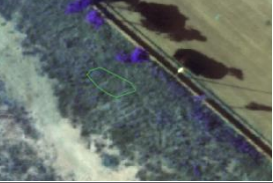
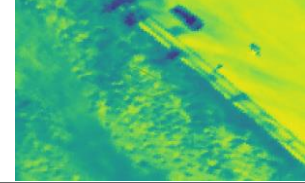


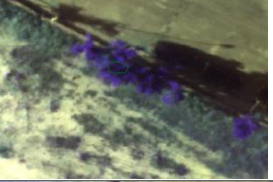
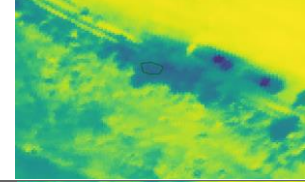



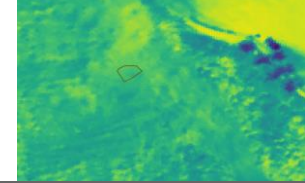


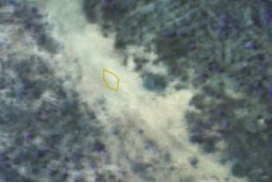
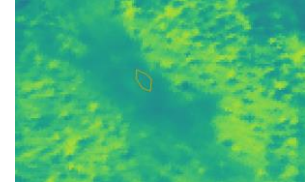
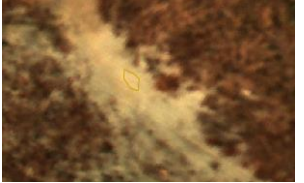


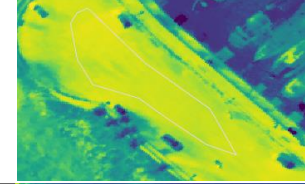




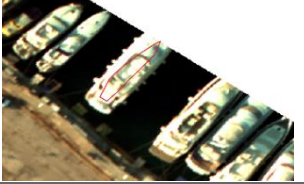
Στο σημείο αυτό, αξίζει να σημειωθεί ότι στη μεθοδολογία ταξινόμησης των υπερφασματικών μωσαϊκών στο λογισμικό *QGIS*, χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα αναφοράς ένα σημαντικό μειωμένο υποσύνολο του συνολικού αριθμού περιοχών εκπαίδευσης / ελέγχου και όχι το σύνολο των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε στα πολυφασματικά δεδομένα (Σχήμα 3.4).

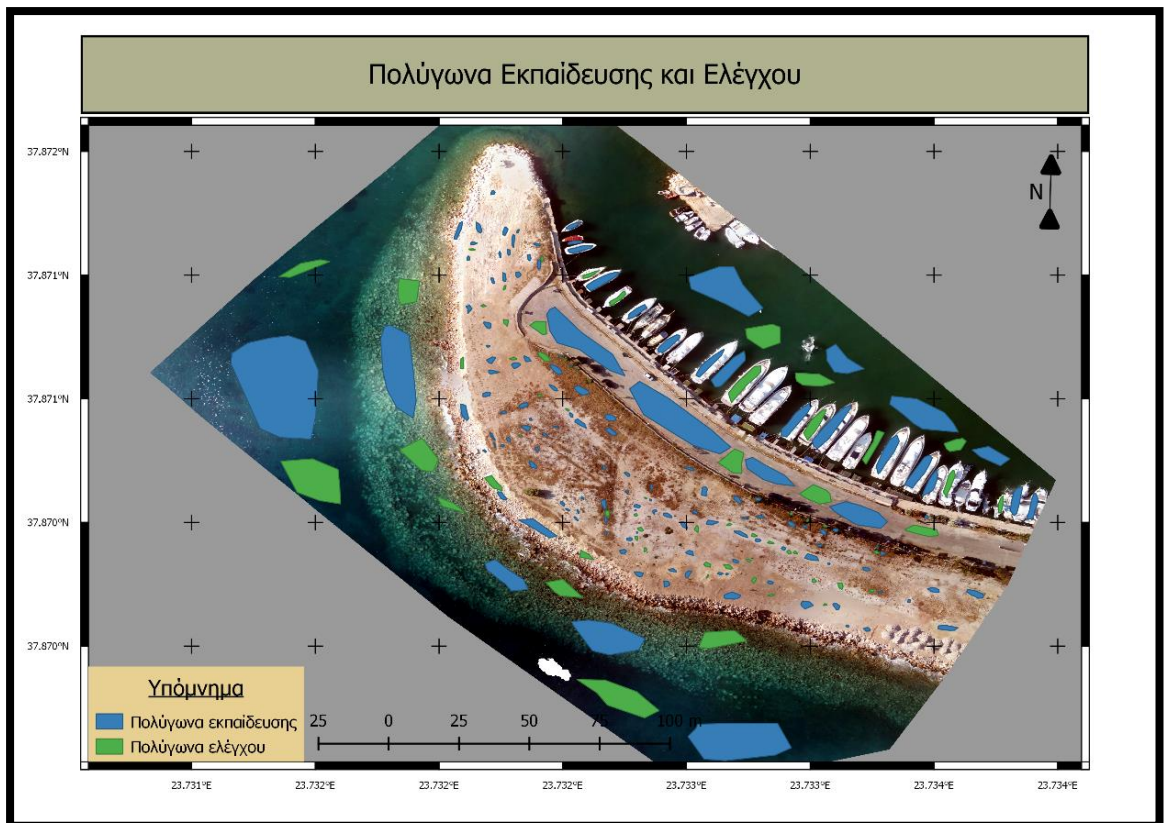
Αυτό οφείλεται αφενός λόγω της μικρότερης περιοχής κάλυψης στις υπερφασματικές εικόνες σε σχέση με τις πολυφασματικές, αφετέρου στον μεγάλο όγκο των υπερφασματικών δεδομένων και στη χρονοβόρα διαδικασία υπολογισμού φασματικής υπογραφής για κάθε νέο πολύγωνο εκπαίδευσης. Παρόλα αυτά, στις ταξινομήσεις των δεδομένων αυτών, συμμετείχαν όλα τα διαθέσιμα κανάλια του υπερφασματικού αισθητήρα (328).

Εν αντιθέσει, κατά τη διαδικασία ταξινόμησης των Υπερφασματικών μωσαϊκών με κώδικα της γλώσσας *Python*, χρησιμοποιήθηκε το σύνολο των δεδομένων αναφοράς που δημιουργήθηκε (Σχήματα 3.5, 3.6, 3.7) και πραγματοποιήθηκαν ταξινομήσεις για διάφορα ποσοστά εκπαίδευσης – ελέγχου (20%-80%, 35%-50%, 65%-35%, 80%-20% αντίστοιχα) και στις δυο μεθόδους (*SVM* με *PCA* και *SVM* με όλα τα κανάλια καταγραφής).

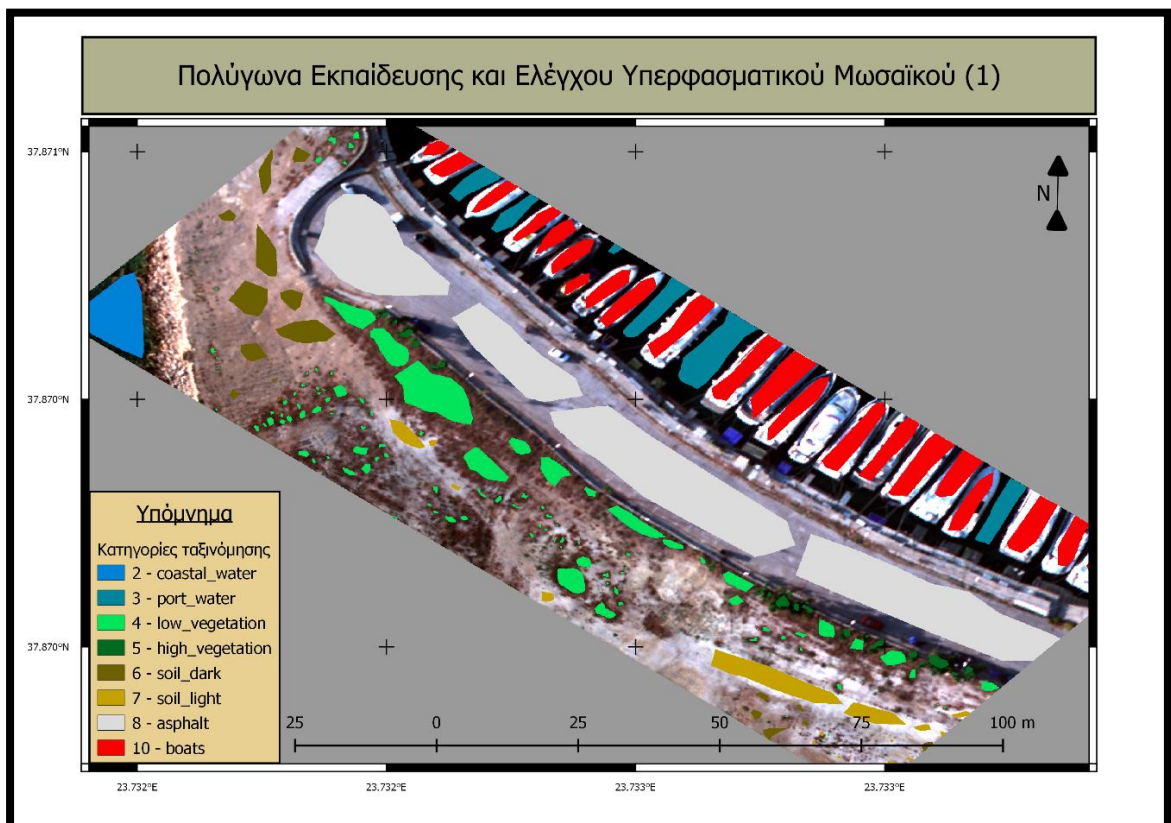
### 3 Ταξινόμηση Δεδομένων και Αξιολόγηση

Πίνακας 3.1 - Πίνακας ανάλυσης κατηγοριών ταξινόμησης. Στον πίνακα φαίνονται τα ονόματα και χρώματα της κάθε κατηγορίας καθώς και η ανάλυση της κάθε κατηγορίας στα διαθέσιμα φάσματα.

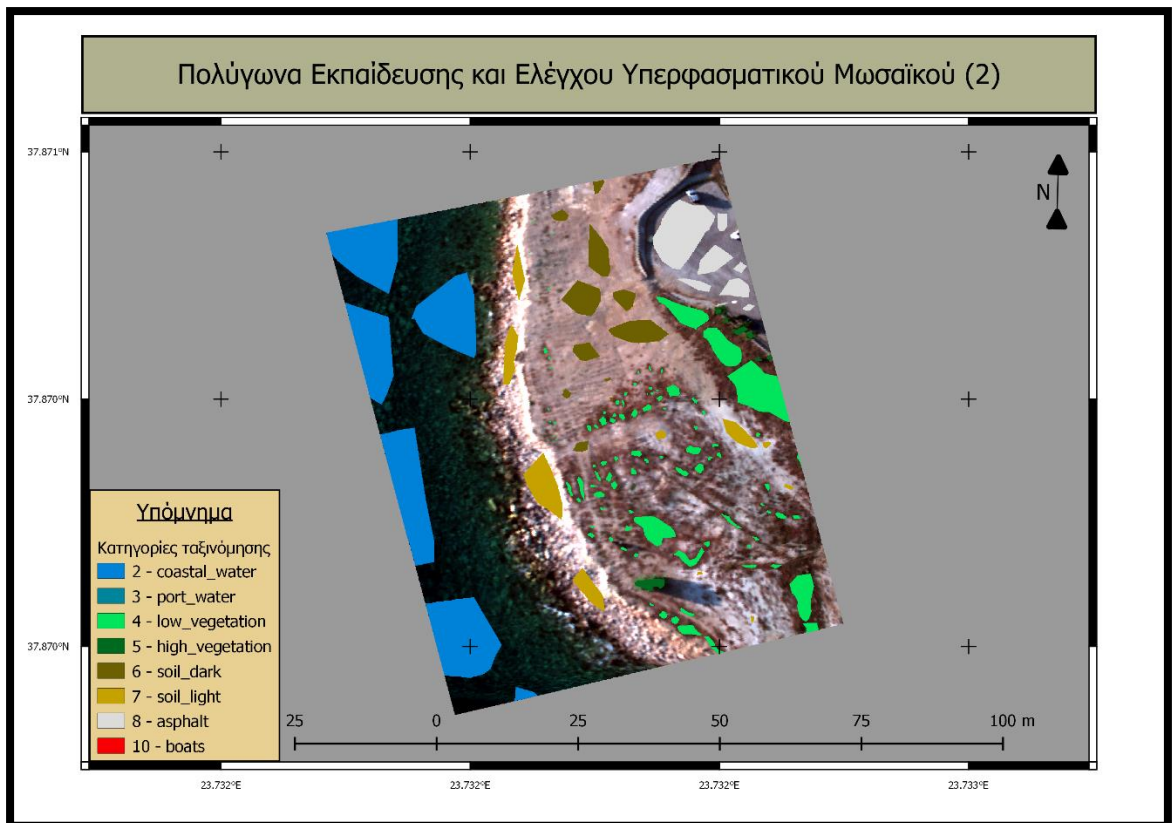
	Πολυφασματική (G-R-NIR)	Θερμική	Υπερφασματική (145-75-45)
1. Deep Water 			
2. Coastal Water 			
3. Port Water 			
4. Low Vegetation 			
5. High Vegetation 			
6. Soil Dark 			
7. Soil Light 			
8. Asphalt 			
10. Boats 			



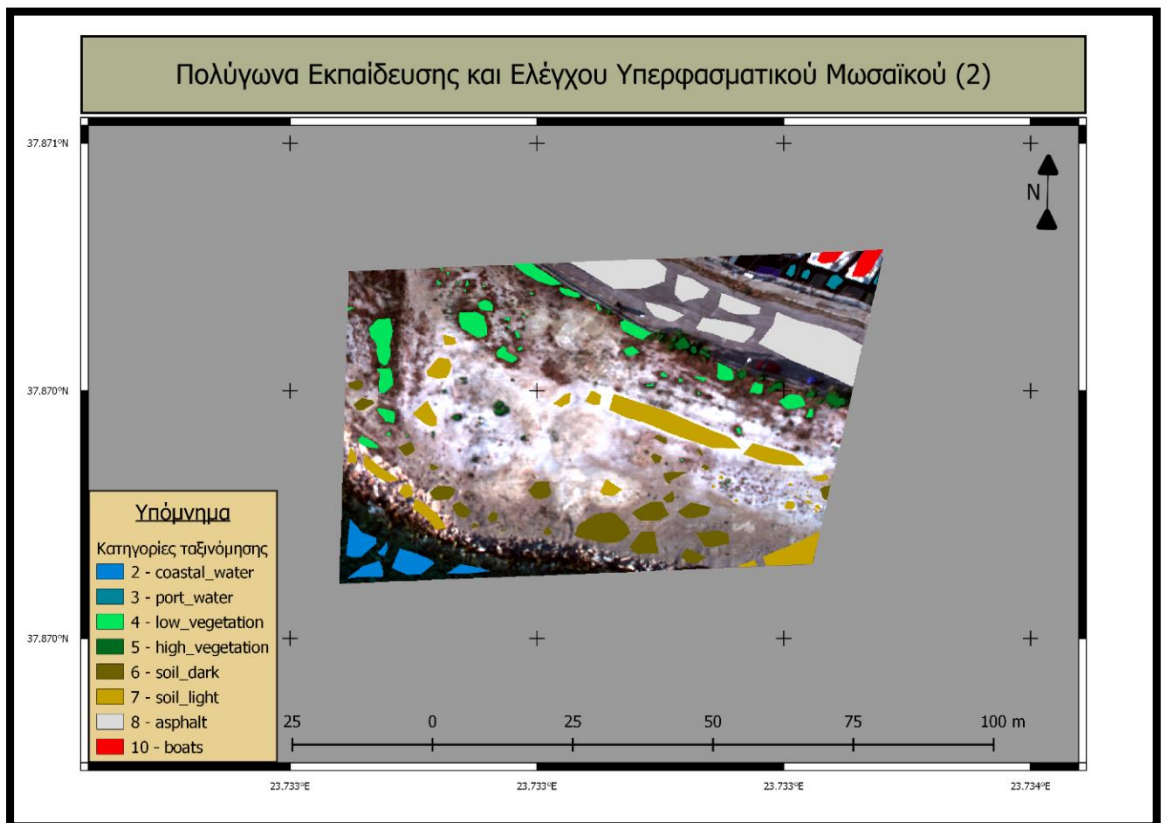
Σχήμα 3.4 - Χάρτης απεικόνισης των Πολυγώνων εκπαίδευσης (Μπλε χρώμα) και ελέγχου (Πράσινο χρώμα) στον RGB ορθοφωτοχάρτη της περιοχής μελέτης.



Σχήμα 3.5 - Χάρτης απεικόνισης των Πολυγώνων εκπαίδευσης και ελέγχου στο RGB Υπερφασματικό μωσαϊκό (1) με όλες τις κατηγορίες ταξινόμησης.



Σχήμα 3.6 - Χάρτης απεικόνισης των Πολυγώνων εκπαίδευσης και ελέγχου στο RGB Υπερφασματικό μωσαϊκό (2) με όλες τις κατηγορίες ταξινόμησης.

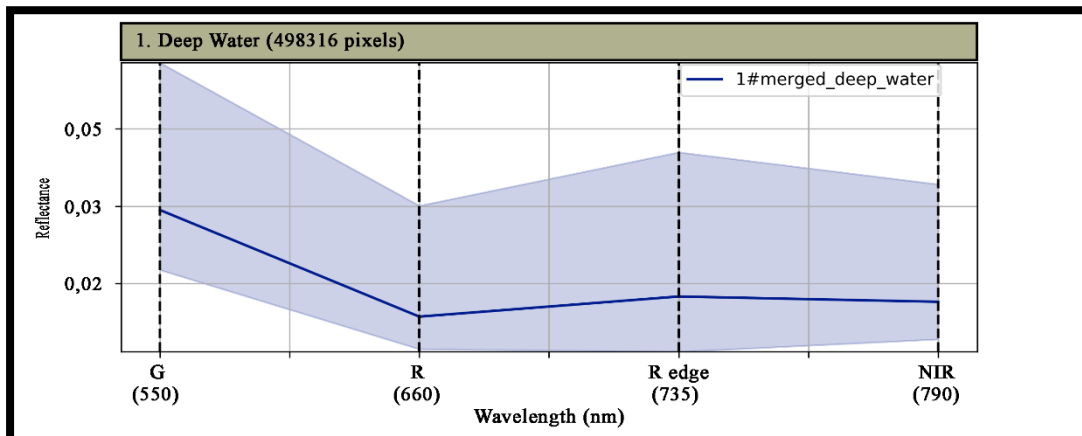


Σχήμα 3.7 - Χάρτης απεικόνισης των Πολυγώνων εκπαίδευσης και ελέγχου στο RGB Υπερφασματικό μωσαϊκό (3) με όλες τις κατηγορίες ταξινόμησης.

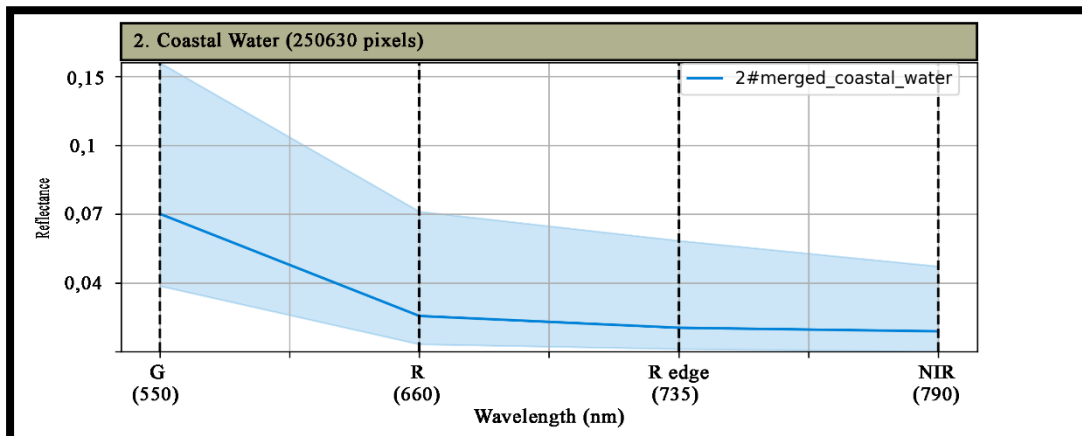


### 3.3 Φασματικές υπογραφές

Οι φασματικές υπογραφές που προέκυψαν για κάθε κατηγορία από τον πολυφασματικό αισθητήρα της *Sequoia* παρουσιάζονται στα επόμενα σχήματα. Ξεκινώντας με τα θαλάσσια ύδατα, όπως είναι λογικό παρατηρούνται υψηλές καταγεγραμμένες τιμές ανακλαστικότητας στο πράσινο κανάλι, θα υπήρχε και εμφανώς υψηλότερη αν υπήρχε το μπλε κανάλι στη συγκεκριμένη πολυφασματική, ενώ οι τιμές μειώνονται οδεύοντας προς το άλλο άκρο του σχήματος δηλαδή στο κοντινό υπέρυθρο λόγω της απορρόφησης από το νερό στα συγκεκριμένη μήκη κύματος. Τα *pixels* των κατηγοριών *deep water*, *coastal water* και *port water* είναι σε πλήθος 498316, 250630 και 78844 αντίστοιχα.

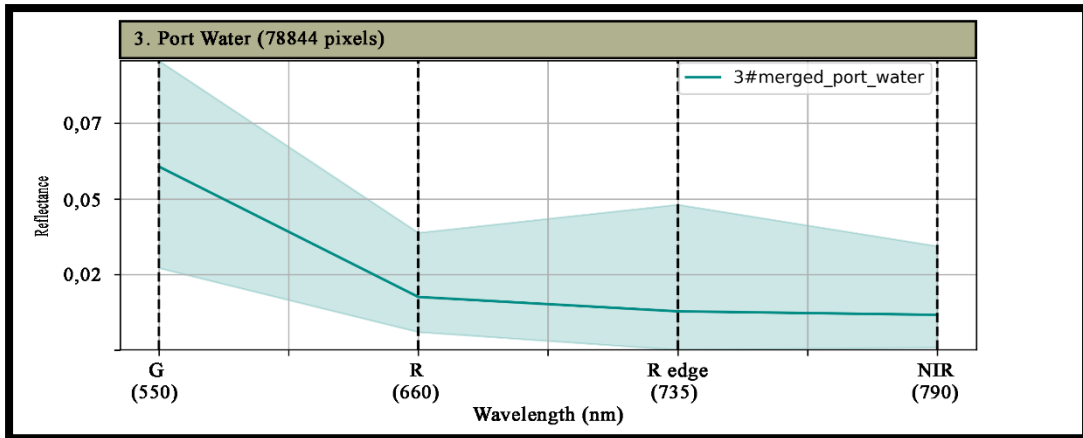


Σχήμα 3.8 - Φασματική υπογραφή κατηγορίας *Deep Water* από την Πολυφασματική *Sequoia*.



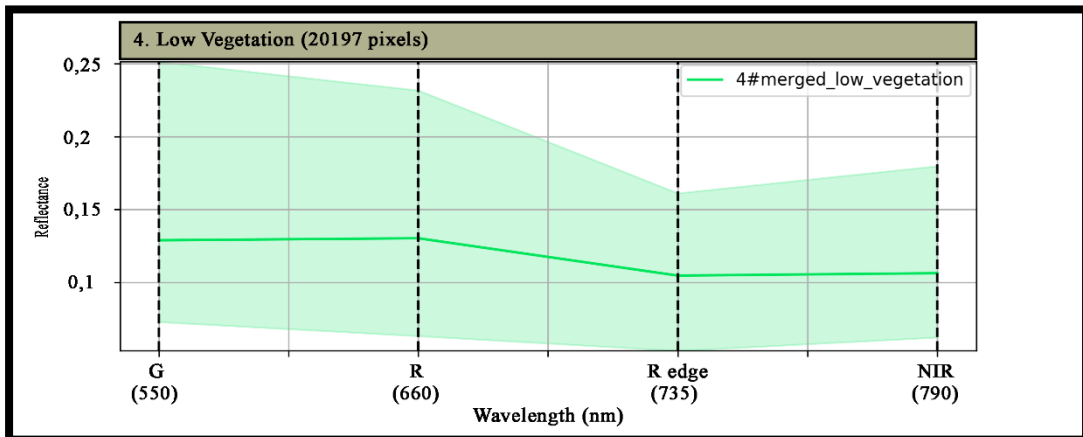
Σχήμα 3.9 - Φασματική υπογραφή κατηγορίας *Coastal Water* από την Πολυφασματική *Sequoia*.

### 3 Ταξινόμηση Δεδομένων και Αξιολόγηση

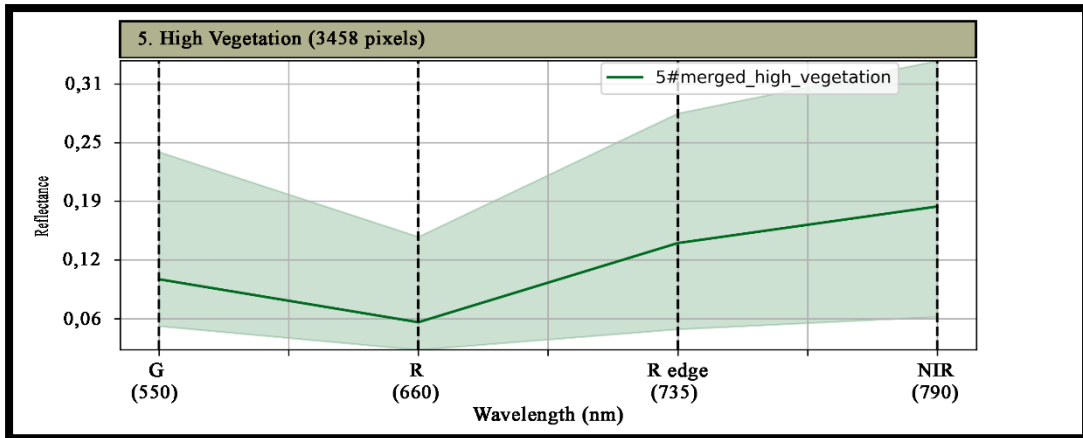


Σχήμα 3.10 - Φασματική υπογραφή κατηγορίας Port Water από την Πολυφασματική Sequoia.

Όσον αφορά τη βλάστηση, όπως αναμένεται παρατηρούνται χαμηλότερες τιμές ανακλαστικότητας στο κόκκινο κανάλι οι οποίες αυξάνονται προς το Red Edge και NIR. Παρατηρώντας τα σχήματα (Σχήματα 3.11, 3.12), σε αντίθεση με την κατηγορία *high vegetation* αυτό δεν συμβαίνει στη *low vegetation* λόγω του ότι αποτελεί ξερή βλάστηση και επομένως δεν ανακλάται η υπέρυθη ακτινοβολία. Τα *pixels* των κατηγοριών *high* και *low vegetation* είναι 20197 και 3458 αντίστοιχα.

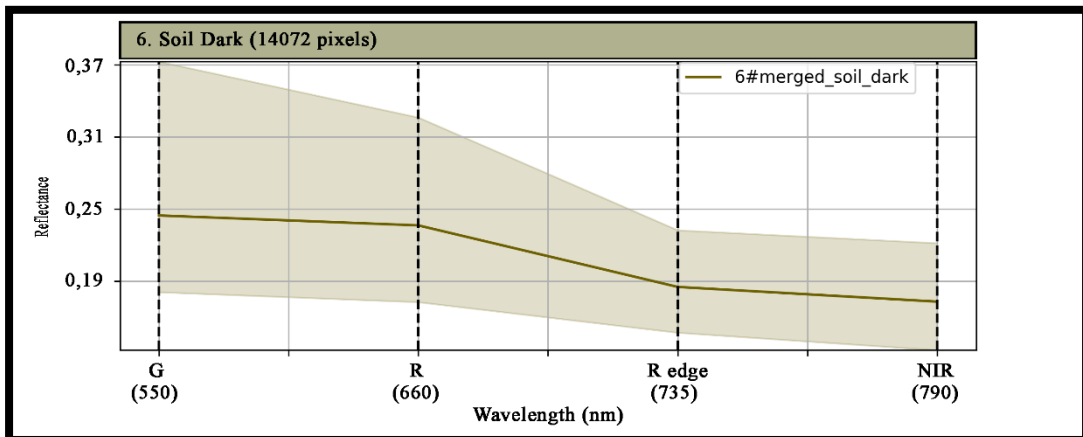


Σχήμα 3.11 - Φασματική υπογραφή κατηγορίας Low vegetation από την Πολυφασματική Sequoia.

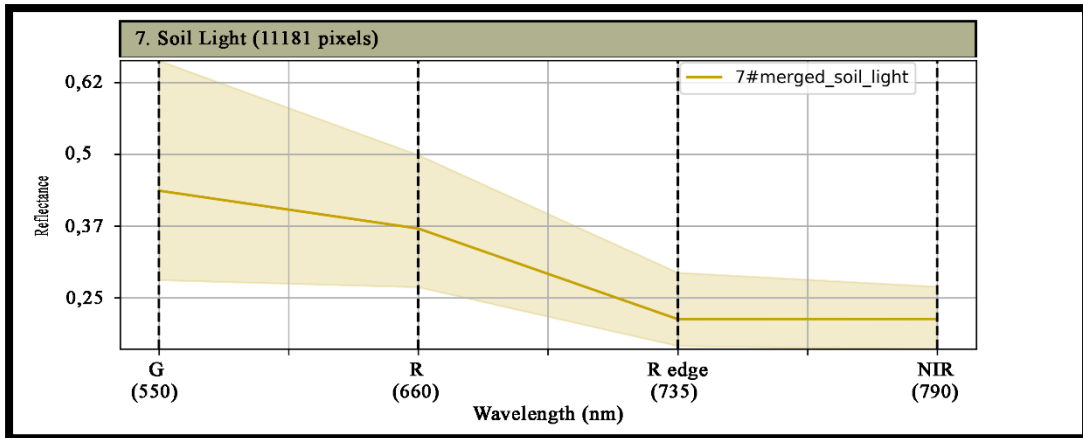


Σχήμα 3.12 Φασματική υπογραφή κατηγορίας High vegetation από την Πολυφασματική Sequoia.

Τα εδάφη *soil dark* και *soil light* εμφανίζουν παρόμοιες φασματικές υπογραφές μεταξύ τους, αυτό πιθανόν εξηγείται λόγω της μικρής διαφοροποίησης της σύστασης του εδάφους στην περιοχή. Παρατηρείται μια ελαφρώς αυξημένη τιμή ανακλαστικότητας στο *soil light* στα κανάλια *Green* και *Red*, το οποίο ενδεχομένως οφείλεται στη μεγαλύτερη ανάκλαση της ακτινοβολίας του «ανοιχτού» εδάφους στο τμήμα φάσματος *RGB*. Στις κατηγορίες αυτές, τα πεδία εκπαίδευσης αποτελούνται από 14072 *pixels* στο *soil dark* και 11181 στο *soil light*.

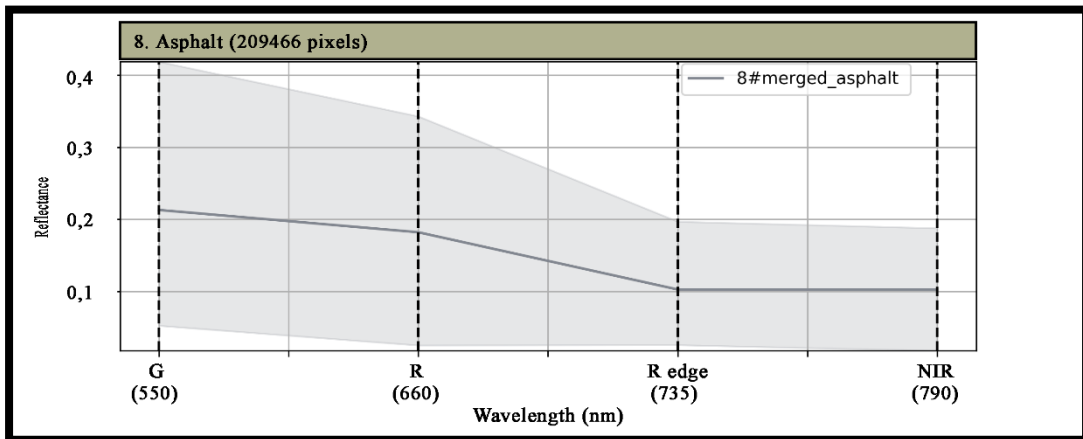


Σχήμα 3.13 - Φασματική υπογραφή κατηγορίας Soil Dark από την Πολυφασματική Sequoia.



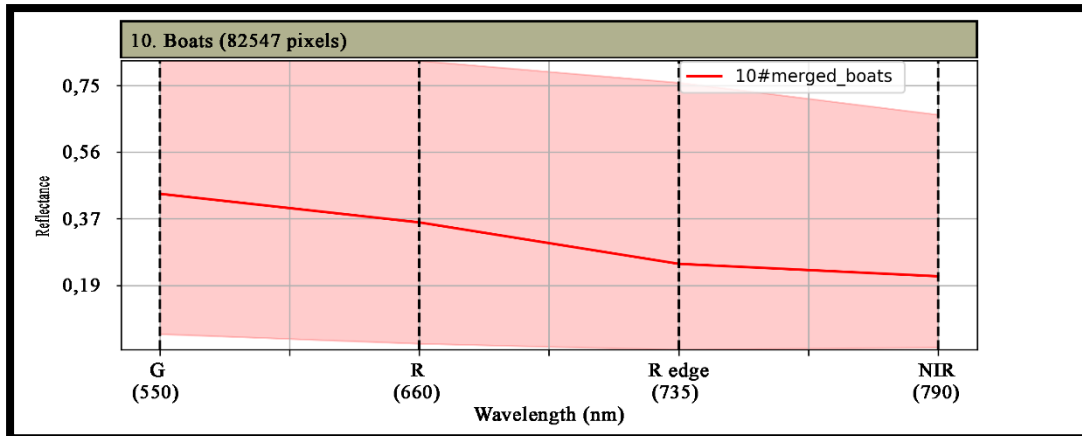
Σχήμα 3.14 - Φασματική υπογραφή κατηγορίας Soil Light από την Πολυφασματική Sequoia.

Η φασματική υπογραφή της κατηγορίας *asphalt* φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 3.15). Η ανακλαστικότητα της κυμαίνεται από περίπου 0,2 έως 0,1 στα κανάλια *Green* και *NIR* αντίστοιχα. Αποτελείται από σημαντικό αριθμό *pixel* της τάξης του 209466.



Σχήμα 3.15 - Φασματική υπογραφή κατηγορίας Asphalt από την Πολυφασματική Sequoia.

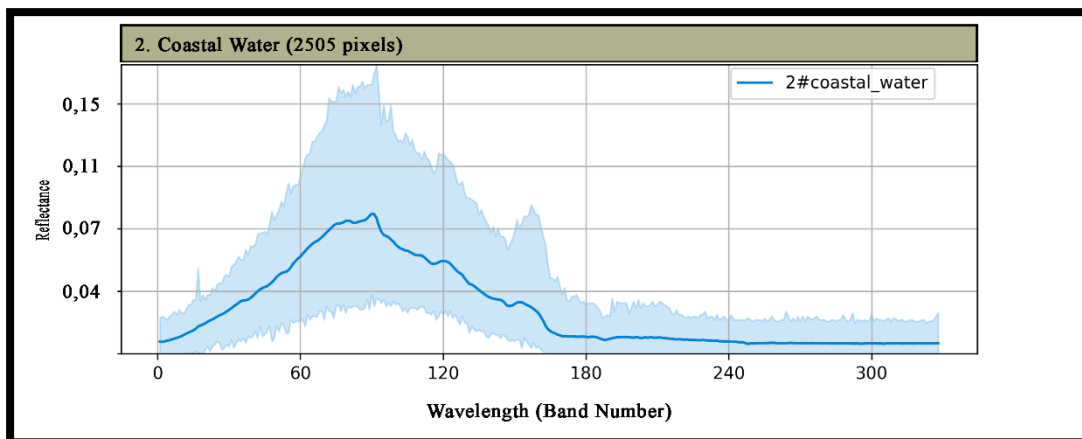
Τέλος, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η κατηγορία *Boats*. Συγκριτικά με τις προηγούμενες φασματικές υπογραφές, στην κατηγορία αυτή παρατηρούνται υψηλές τιμές ανακλαστικότητας σε όλα τα μήκη κύματος καταγραφής με μέγιστη τιμή περίπου 0,43 στο *Green* κανάλι. Πιθανόν αυτή η συμπεριφορά οφείλεται στα υλικά επίστρωσης των σύνθετων υλικών που είναι κατασκευασμένα τα σκάφη, με σκοπό να αντανάκλουν σημαντικό ποσοστό της ακτινοβολίας του ήλιου για να προστατεύονται από τις φθορές και τον αποπολυμερισμό.



Σχήμα 3.16 - Φασματική υπογραφή κατηγορίας Boats από την Πολυφασματική Sequoia.

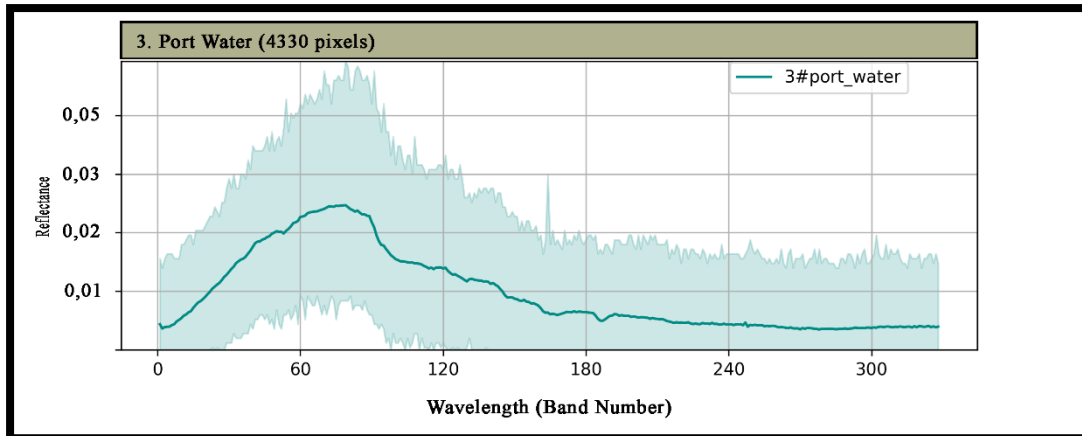
Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι φασματικές υπογραφές των πεδίων εκπαίδευσης από δεδομένα που συλλέχθηκαν από τον υπερφασματικό αισθητήρα *Headwall VNIR*. Λόγω της υπερυψηλής φασματικής ανάλυσης (328 κανάλια από το ορατό έως το κοντινό υπέρυθρο) του συγκεκριμένου αισθητήρα αναμένονται υπογραφές με αξιοσημείωτα περισσότερη πληροφορία. Αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχει και σημαντική διαφορά στην τιμή του μεγέθους *pixel* στο έδαφος ανάμεσα στον πολυφασματικό και υπερφασματικό αισθητήρα δηλαδή  $8\text{ cm} / \text{pixel}$  και  $13\text{ cm} / \text{pixel}$  αντίστοιχα.

Όσον αφορά τα δυο διαφορετικά είδη θάλασσας που εμφανίζονται στα δεδομένα αυτά *coastal water* και *port water*, παρατηρούνται και εδώ με λεπτομερέστερη ανάλυση οι επισημάνσεις που έγιναν παραπάνω. Υπάρχουν υψηλότερες καταγεγραμμένες τιμές ανακλαστικότητας σε *Green*, *Blue* κανάλια ενώ μειώνονται προς το *Red* και *NIR*. Ο αριθμός των εικονοστοιχείων στις κατηγορίες αυτές είναι 2505 και 4330 αντίστοιχα.



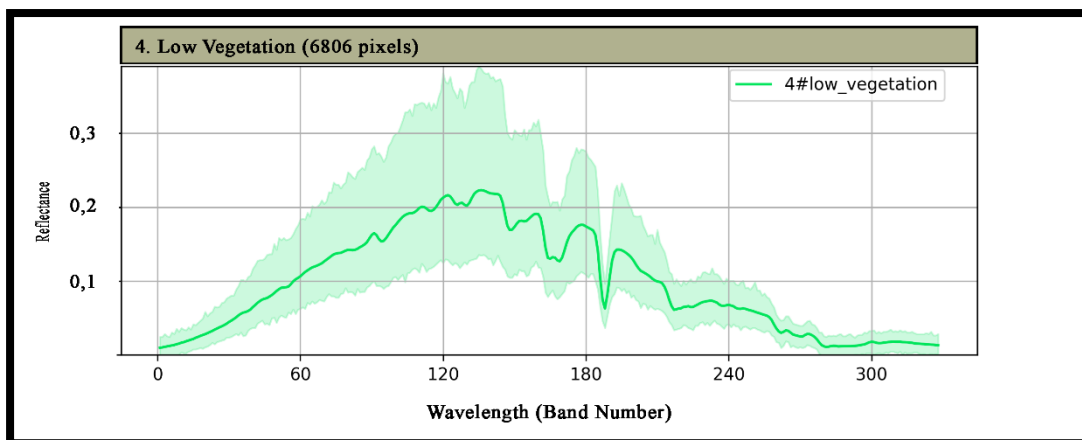
Σχήμα 3.17 - Φασματική υπογραφή κατηγορίας Coastal Water από την Υπερφασματική HeadWall VNIR.

### 3 Ταξινόμηση Δεδομένων και Αξιολόγηση

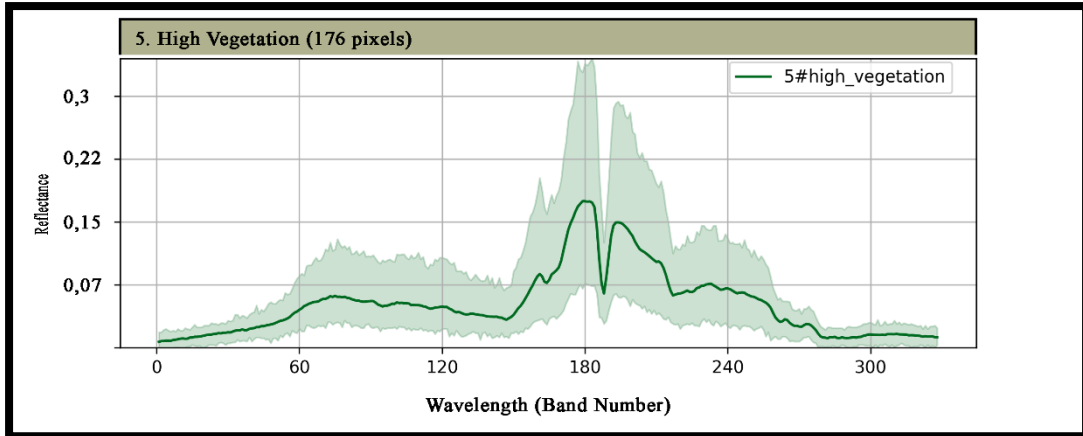


Σχήμα 3.18 - Φασματική υπογραφή κατηγορίας Port Water από την Υπερφασματική HeadWall VNIR.

Στις συγκεκριμένες φασματικές υπογραφές, σε αντίθεση με αντίστοιχες προηγούμενες, οι κατηγορίες της βλάστησης παρουσιάζουν σημαντικές διαφοροποιήσεις όσον αφορά τις υψηλότερες καταγεγραμμένες τιμές. Η *low vegetation* παρουσιάζει υψηλότερες τιμές περίπου στο *Green* κανάλι ενώ οι τιμές μειώνονται προς το *RED* και το *NIR*, ενώ η *high vegetation* εμφανίζει μέγιστη τιμή ανακλαστικότητας στο *NIR* όπως είναι αναμενόμενο για τη βλάστηση. Τα *pixel* των κατηγοριών είναι 6806 για τη *low vegetation* και μόνο 176 για τη *high vegetation* λόγω της μικρότερης περιοχής στην εικόνα.

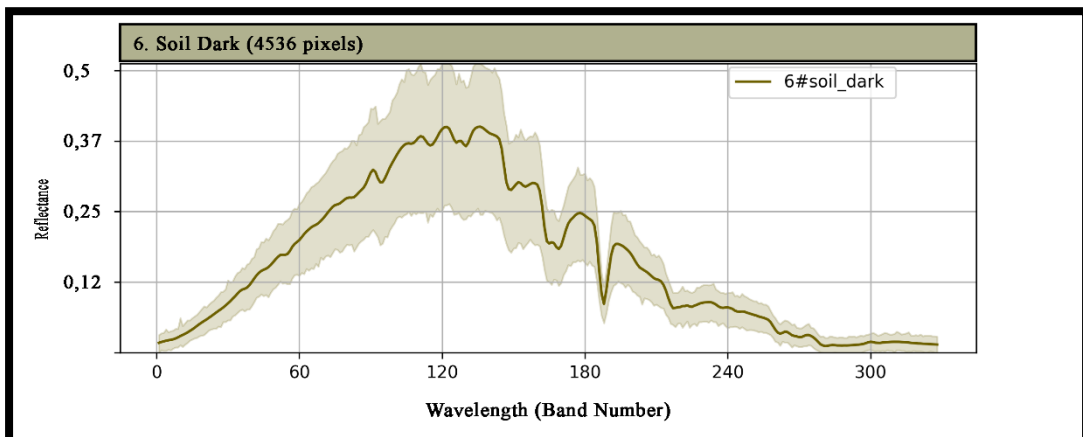


Σχήμα 3.19 - Φασματική υπογραφή κατηγορίας Low vegetation από την Υπερφασματική HeadWall VNIR.

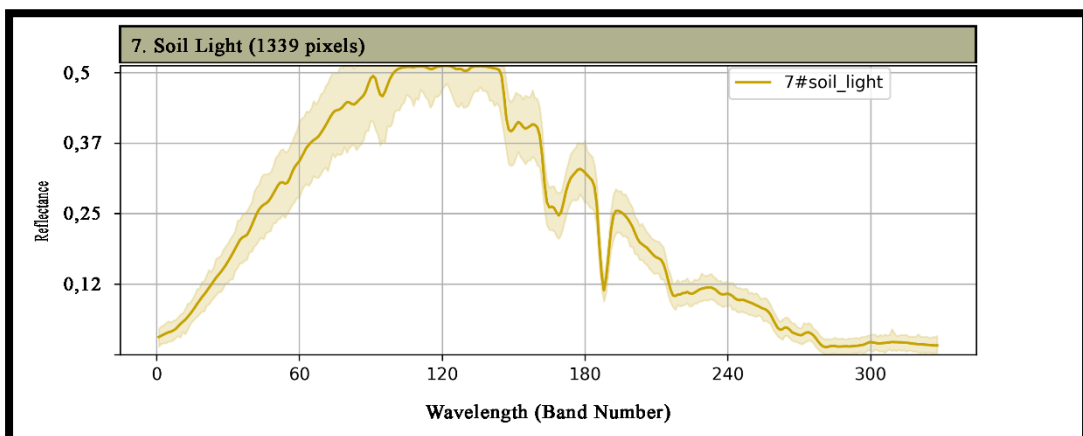


Σχήμα 3.20 - Φασματική υπογραφή κατηγορίας High vegetation από την Υπερφασματική HeadWall VNIR.

Τα εδάφη ομοίως με τις προηγούμενες παρατηρήσεις, εμφανίζουν παρόμοια φασματική υπογραφή, με σημαντικά υψηλότερες τιμές στην κατηγορία *soil light* από ότι στη *soil dark* πάνω από 0,5 έναντι 0,4 αντίστοιχα. Παρόλο τη μικρή διαφοροποίηση, η πλούσια φασματική ανάλυση θα παίξει καθοριστικό ρόλο στη διαδικασία της ταξινόμησης.



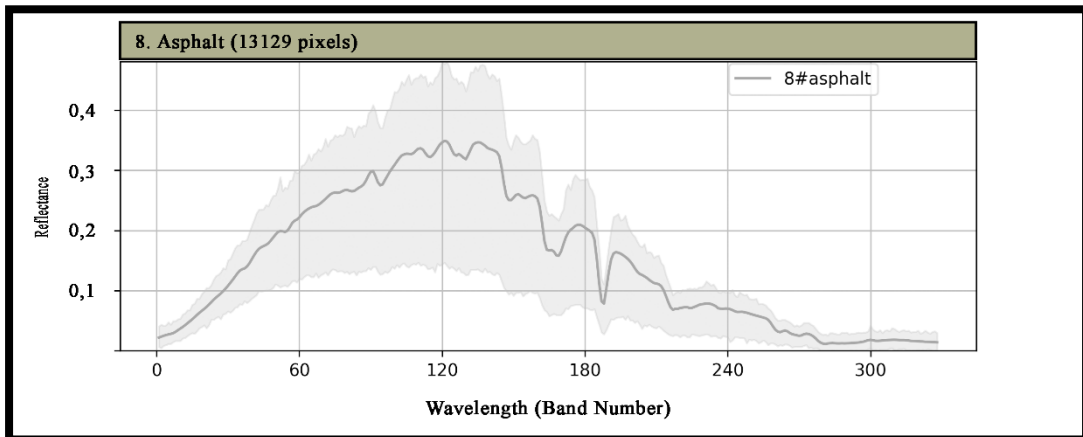
Σχήμα 3.21 - Φασματική υπογραφή κατηγορίας Soil Dark από την Υπερφασματική HeadWall VNIR.



Σχήμα 3.22 - Φασματική υπογραφή κατηγορίας Soil Light από την Υπερφασματική HeadWall VNIR.

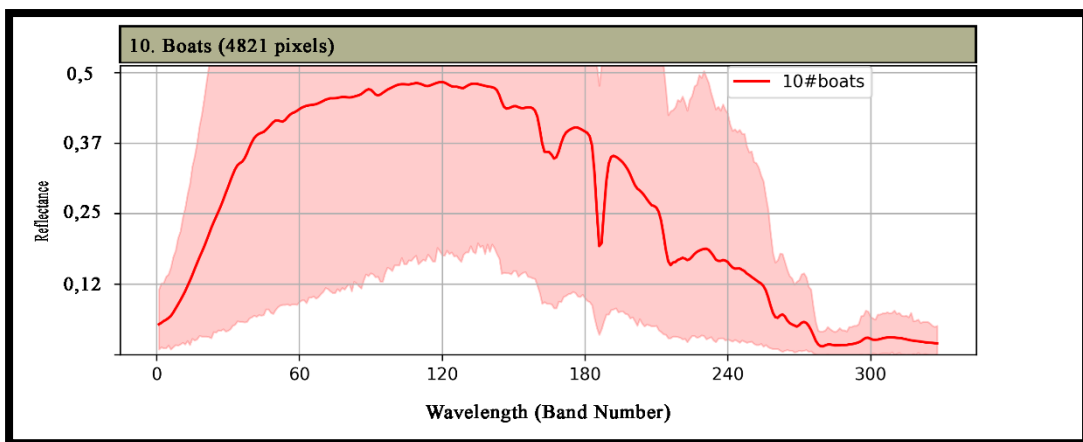
### 3 Ταξινόμηση Δεδομένων και Αξιολόγηση

Η κατηγορία της ασφάλτου στο σχήμα (Σχήμα 3.23) εμφανίζει μέγιστη τιμή περίπου στο 0,3 στο όριο του *Green* και *Red* καναλιού ενώ ο αριθμός των *pixel* της είναι 13129.



Σχήμα 3.23 - Φασματική υπογραφή κατηγορίας Asphalt από την Υπερφασματική HeadWall VNIR.

Τέλος, όσον αφορά την κατηγορία *boats* εμφανίζει όμοια συμπεριφορά με αυτήν των πολυφασματικών δεδομένων, φυσικά με αρκετά λεπτομερέστερη υπογραφή, παρατηρείται σημαντική ανάκλαση καθ' όλο το φάσμα του *RGB* της τάξης του περίπου 0,5. Η συγκεκριμένη συμπεριφορά όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη παράγραφο οφείλεται στις επιστροφές των σύνθετων υλικών των σκαφών.



Σχήμα 3.24 - Φασματική υπογραφή κατηγορίας Boats από την Υπερφασματική HeadWall VNIR.

### 3.4 Πειραματικά Αποτελέσματα και Αξιολόγηση

Αφού δημιουργήθηκαν μωσαϊκά όπως περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, δηλαδή ένα για κάθε αισθητήρα καταγραφής (Πολυφασματικό, Θερμικό και Υπερφασματικό) καθώς και ο συνδυασμός των δύο πρώτων, πραγματοποιήθηκαν ενδεικτικά ορισμένες ταξινομήσεις με σκοπό να μελετηθεί και αξιολογηθεί η αποτελεσματικότητα των δεδομένων σε εφαρμογές χαρτογράφησης. Οι ταξινομήσεις και για τα τρία *datasets* υλοποιήθηκαν στο ελεύθερο λογισμικό *QGIS* και το ειδικό *plug-in* "*Semi – Automatic Classification*" το οποίο δίνει τη δυνατότητα εφαρμογής των αλγορίθμων: *Minimum Distance*, *Maximum Likelihood* και



*Spectral Angle Mapping*. Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι ταξινομήσεις πραγματοποιήθηκαν με όλους τις παραπάνω μεθόδους και παρουσιάζεται εκείνη με τα βέλτιστα αποτελέσματα μετά από ποιοτικό και ποσοτικό έλεγχο. Όσον αφορά τα Υπερφασματικά δεδομένα, η ταξινόμηση προσεγγίστηκε και μέσω κώδικα της γλώσσας *Python*, με εφαρμογή ταξινομητή που βασίζεται στις Μηχανές Διανυσμάτων Υποστήριξης (*SVMs*) που αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα.

### 3.4.1 Ταξινόμησης δεδομένων: *Semi – Automatic Classification*

Στη συγκεκριμένη παράγραφο, παρουσιάζονται οι ταξινομήσεις που προέρχονται από το *Semi – Automatic Classification* του *QGIS*. Λόγω του όγκου των υπερφασματικών δεδομένων ήταν αδύνατο να χρησιμοποιηθούν τα ίδια δεδομένα αναφοράς με τα πολυφασματικά. Πιο συγκεκριμένα, για τα πολυφασματικά δεδομένα χρησιμοποιήθηκε το σύνολο των πολυγώνων εκπαίδευσης / ελέγχου που παρουσιάστηκαν στην παράγραφο 3.2, σε αντίθεση με τα υπερφασματικά όπου χρησιμοποιήθηκε ένα μικρό υποσύνολο των πολυγώνων αυτών.

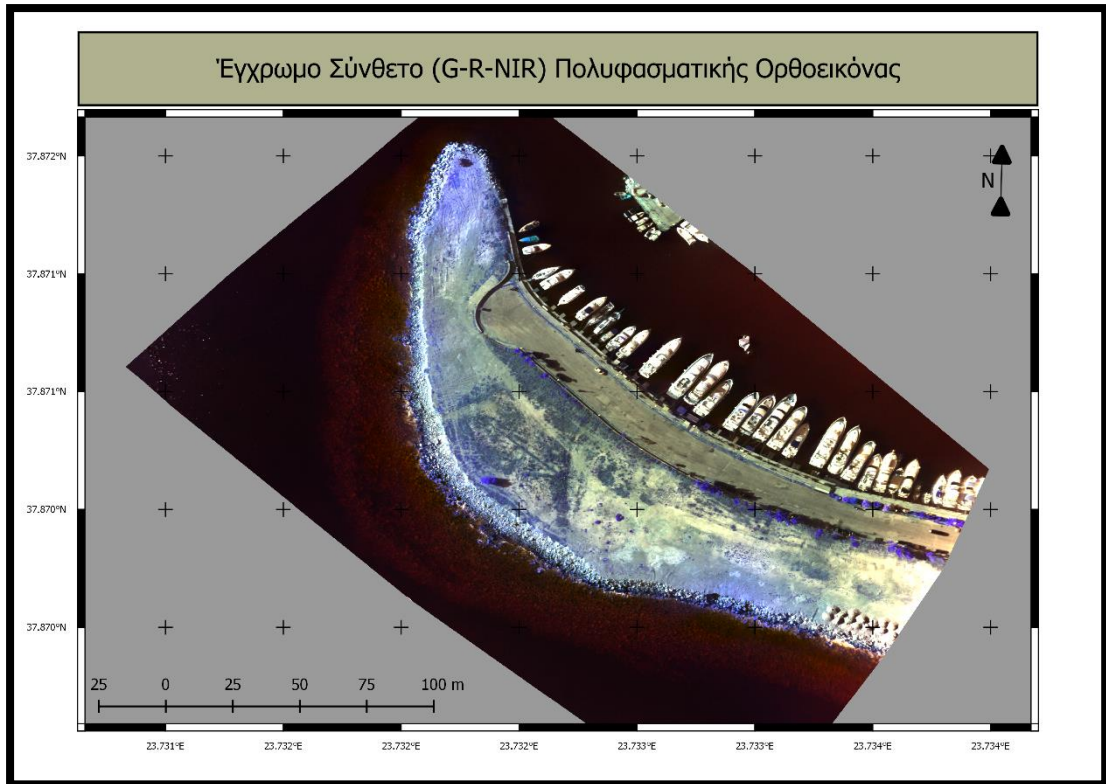
### Ταξινόμηση Πολυφασματικού Μωσαϊκού με τη μέθοδο *Maximum Likelihood*

Στην ταξινόμηση του μωσαϊκού από τον πολυφασματικό αισθητήρα εμφάνισε μεγαλύτερη επιτυχία ο αλγόριθμος *Maximum Likelihood*. Ακολούθως παρουσιάζονται ο πίνακας με τη συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης (*Overall Accuracy - OA*) αλλά και με τις επιμέρους ανά κατηγορία (Πίνακας 3.2), όπως επίσης και ο χάρτης των αποτελεσμάτων (Σχήματα 3.25, 3.26). Στην ταξινόμηση αυτή, παρατηρείται *OA* της τάξης του 76%, κάτι το οποίο αποτυπώνεται γενικότερα στη συνολική εικόνα του χάρτη. Αναλυτικότερα εντοπίζονται υψηλά ποσοστά *PA*, *UA* στις κατηγορίες *deep water*, *vegetation* και *asphalt*, ενώ χαμηλότερα αντίστοιχα ποσοστά εμφανίζουν οι κατηγορίες *costal water*, *port water* και *boats*. Τα χαμηλά ποσοστά σε *coastal water* και *port water* πιθανόν οφείλονται στην απουσία του μπλε καναλιού από τον συγκεκριμένο πολυφασματικό αισθητήρα. Έτσι δεν μπορούν να αποτυπωθούν οι διαφορές στην ανακλαστικότητα ανάμεσα στα είδη των υδάτων από τις ενδεχόμενες ανακλάσεις του πυθμένα που ενδεχομένως θα έδινε το *coastal water*, με αποτέλεσμα το σωστό διαχωρισμό τους. Το εμφανές σφάλμα που εμφανίζεται τόσο στον πίνακα όσο και στο χάρτη είναι στην κατηγορία *boats*. Εκεί έχει λανθασμένα ταξινομηθεί μέρος της ακτογραμμής πιθανόν λόγω των ανακλάσεων των υλικών (πέτρες, βράχια) που ομοιάζουν με τις ανακλάσεις των σκαφών.

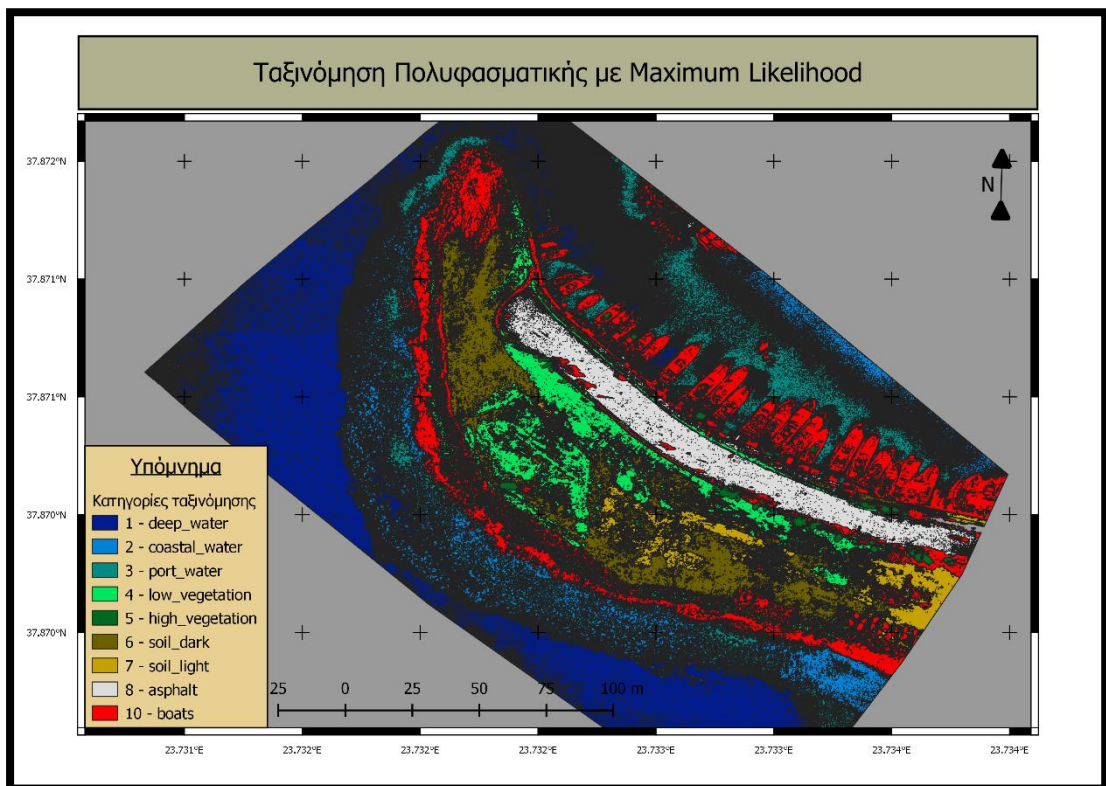
### 3 Ταξινόμηση Δεδομένων και Αξιολόγηση

Πίνακας 3.2 - Αποτελέσματα ταξινομήσεων Πολυφασματικών μωσαϊκών με τη μέθοδο *Maximum Likelihood*.

<b>Overall accuracy [%] = 76.72</b>		
	<b>PA (%)</b>	<b>UA (%)</b>
<b>1 - deep_water</b>	98.35	98.63
<b>2 - coastal_water</b>	38.11	92.74
<b>3 - port_water</b>	86.35	25.80
<b>4 - low_vegetation</b>	99.89	90.57
<b>5 - high_vegetation</b>	99.93	76.84
<b>6 - soil_dark</b>	90.91	70.28
<b>7 - soil_light</b>	61.39	61.47
<b>8 - asphalt</b>	98.05	92.07
<b>10- boats</b>	86.35	25.80
<b>Kappa coefficient [%] = 70</b>		



Σχήμα 3.25 - Ορθοεικόνα της περιοχής μελέτης από Πολυφασματικά δεδομένα.



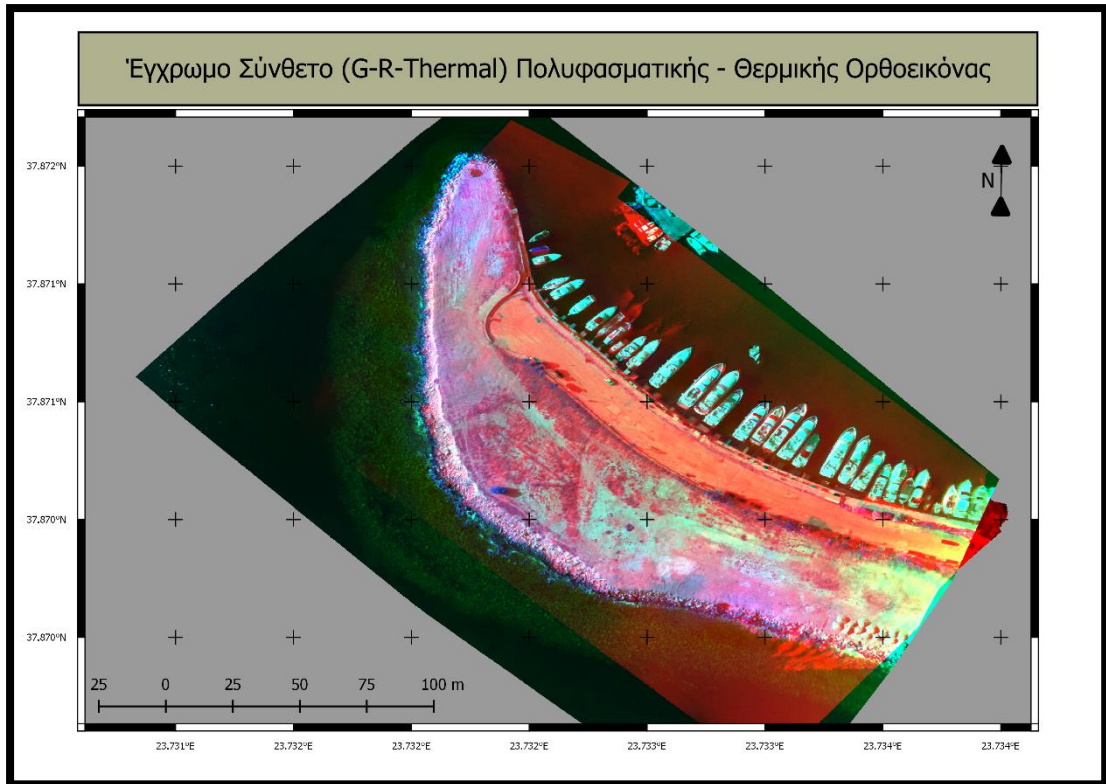
Σχήμα 3.26 - Χάρτης ταξινομημένης εικόνας Πολυφασματικού Ορθομωσαϊκού με τη μέθοδο Maximum Likelihood.

### Ταξινόμηση Πολυφασματικού – Θερμικού Μωσαϊκού με τη μέθοδο *Maximum Likelihood*

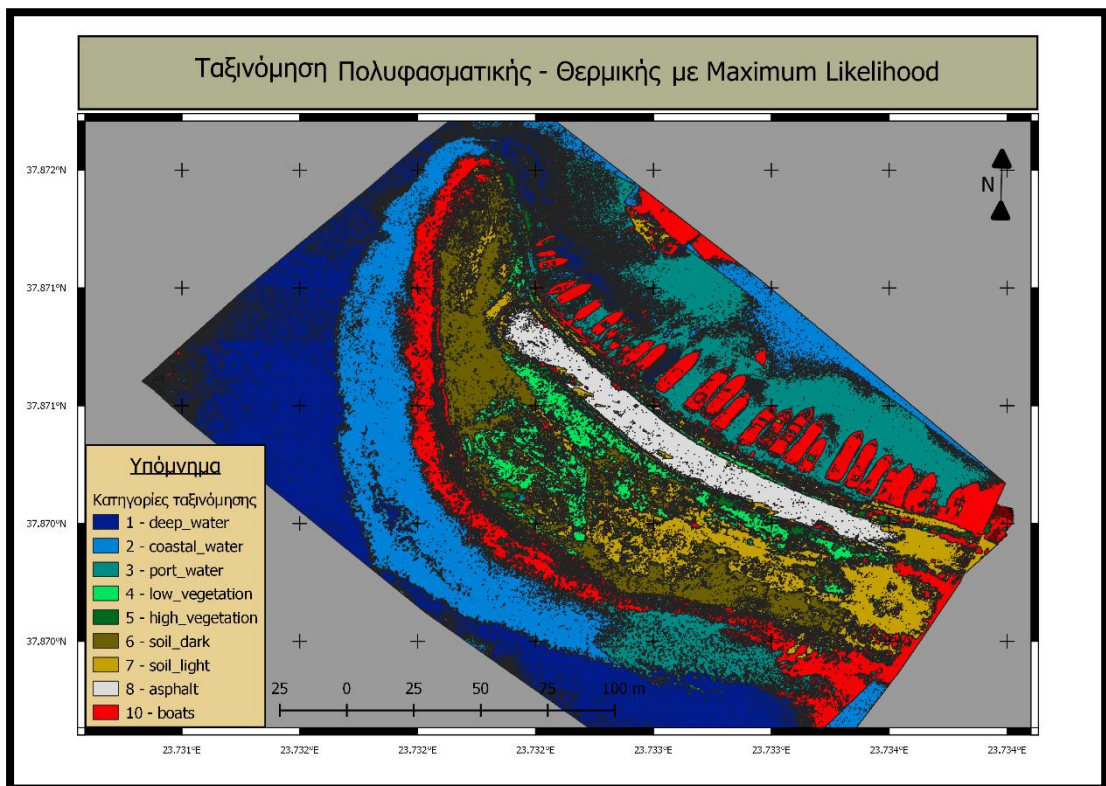
Στη συγκεκριμένη ταξινόμηση, το μωσαϊκό μελέτης προέκυψε από τη σύνθεση των πολυφασματικών καναλιών με το θερμικό (*Band Combination*). Η ενέργεια αυτή έγινε με σκοπό να ερευνηθεί και αξιολογηθεί η συμπεριφορά η σύνθεση καναλιών διαφορετικών αισθητήρων στην ταξινόμηση συγκριτικά με την προηγούμενη. Στόχος είναι η ενσωμάτωση της θερμικής πληροφορίας και η διερεύνηση της ενδεχόμενης βελτίωσης των αποτελεσμάτων, λαμβάνοντας την πληροφορία των έντονων διακυμάνσεων των υλικών της περιοχής στο θερμικό φάσμα π.χ. υδάτων (απορρόφηση στο θερμικό φάσμα) και σκαφών (έντονη ανάκλαση στο θερμικό φάσμα). Ομοίως, σε αυτήν την ταξινόμηση τα βέλτιστα αποτελέσματα προέκυψαν κάνοντας χρήση του αλγορίθμου *Maximum Likelihood*. Από τον πίνακα (Πίνακας 3.3) με τα αποτελέσματα της ταξινόμησης παρατηρείται σημαντική βελτίωση στα ποσοστά της *Overall Accuracy* (περίπου 88% έναντι 77%) συγκριτικά με την προηγούμενη ταξινόμηση. Εδώ διαπιστώνεται αποτελεσματικότερος διαχωρισμός στα ύδατα, *coastal water* (PA 70% UA 94% έναντι PA 38% UA 93%), *port water* (PA 93% UA 69% έναντι PA 86% UA 26%) καθώς και στα *boats* (PA 87% UA 80% έναντι PA 86% UA 26%). Η ποσοτική απόδοση των κατηγοριών αποτυπώνεται και στο χάρτη που ακολουθεί (Σχήματα 3.27, 3.28) με την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων της συγκεκριμένης ταξινόμησης. Το πρόβλημα με την εσφαλμένη κατηγοριοποίηση τμήματος της ακτογραμμής στην κλάση *boats* παραμένει. Αξίζει να αναφερθεί ότι λάθη στο τμήμα της εικόνας (δεξιά), όπου φαίνονται ταξινομημένες υποπεριοχές *soil light* και *boats*, πιθανόν οφείλονται στη γεωμετρική παραμόρφωση του θερμικού ορθομωσαϊκού κατά την προεπεξεργασία. Αιτία της παραμόρφωσης αποτελεί η στρέβλωση στα άκρα των εικόνων λόγω ευρυγώνιου φακού στον θερμικό αισθητήρα (Σχήμα 3.27).

Πίνακας 3.3 - Αποτελέσματα ταξινόμησης της σύνθεσης Πολυφασματικών – Θερμικών μωσαϊκών με τη μέθοδο *Maximum Likelihood*.

<b>Overall accuracy [%] = 87.90</b>		
	<b>PA (%)</b>	<b>UA (%)</b>
<b>1 - deep_water</b>	98.17	98.49
<b>2 - coastal_water</b>	69.79	93.96
<b>3 - port_water</b>	92.91	68.52
<b>4 - low_vegetation</b>	93.92	86.31
<b>5 - high_vegetation</b>	98.70	56.29
<b>6 - soil_dark</b>	96.73	55.27
<b>7 - soil_light</b>	57.87	61.93
<b>8 - asphalt</b>	95.10	99.83
<b>10- boats</b>	86.91	80.13
<b>Kappa coefficient [%] = 84</b>		



Σχήμα 3.27 - Ορθοεικόνα της περιοχής μελέτης από Πολυφασματικά – Θερμικά δεδομένα.



Σχήμα 3.28 - Χάρτης ταξινομημένης εικόνας σύνθεσης Πολυφασματικού – Θερμικού Ορθομωσαϊκού με τη μέθοδο Maximum Likelihood.

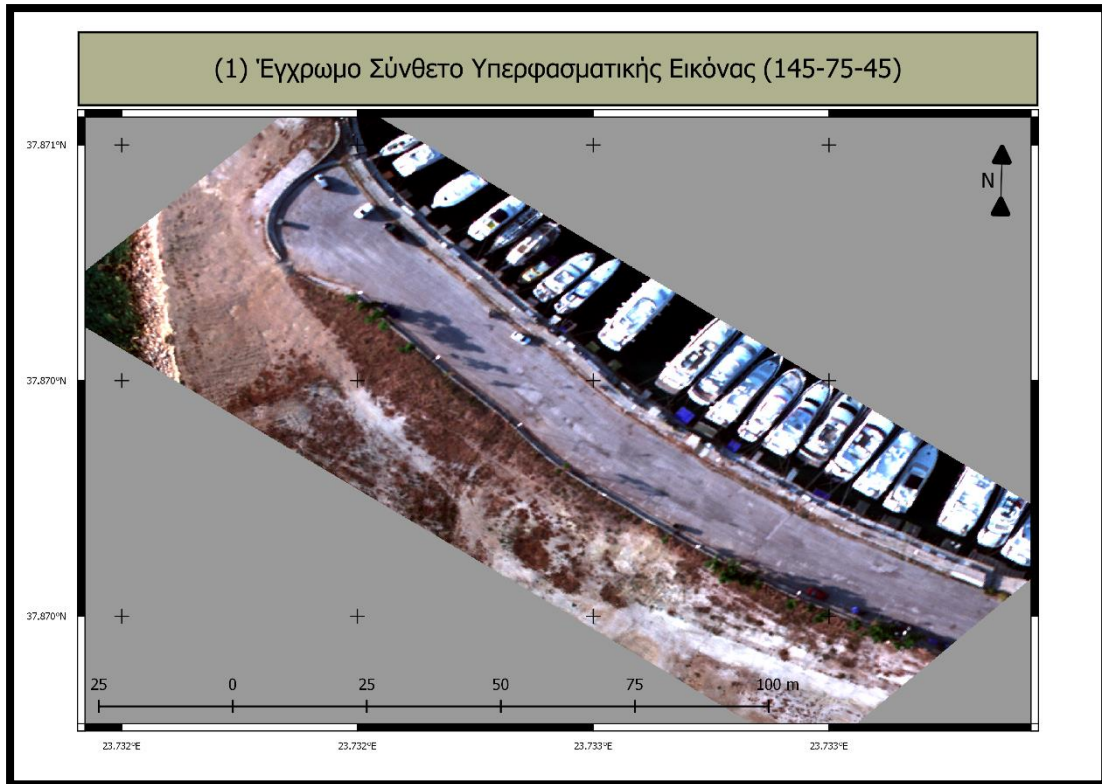
### Ταξινόμηση Υπερφασματικού Μωσαϊκού (1) με τη μέθοδο *Maximum Likelihood*

Στις ταξινομήσεις των δεδομένων του Υπερφασματικού αισθητήρα, παρουσίασε βέλτιστα αποτελέσματα ο αλγόριθμος *Maximum Likelihood*. Η συνολική αξιολόγηση της ταξινόμησης εκφράζεται από τα αξιοσημείωτα ποσοστά *OA*, τα οποία είναι της τάξης του 99% (Πίνακας 3.4).

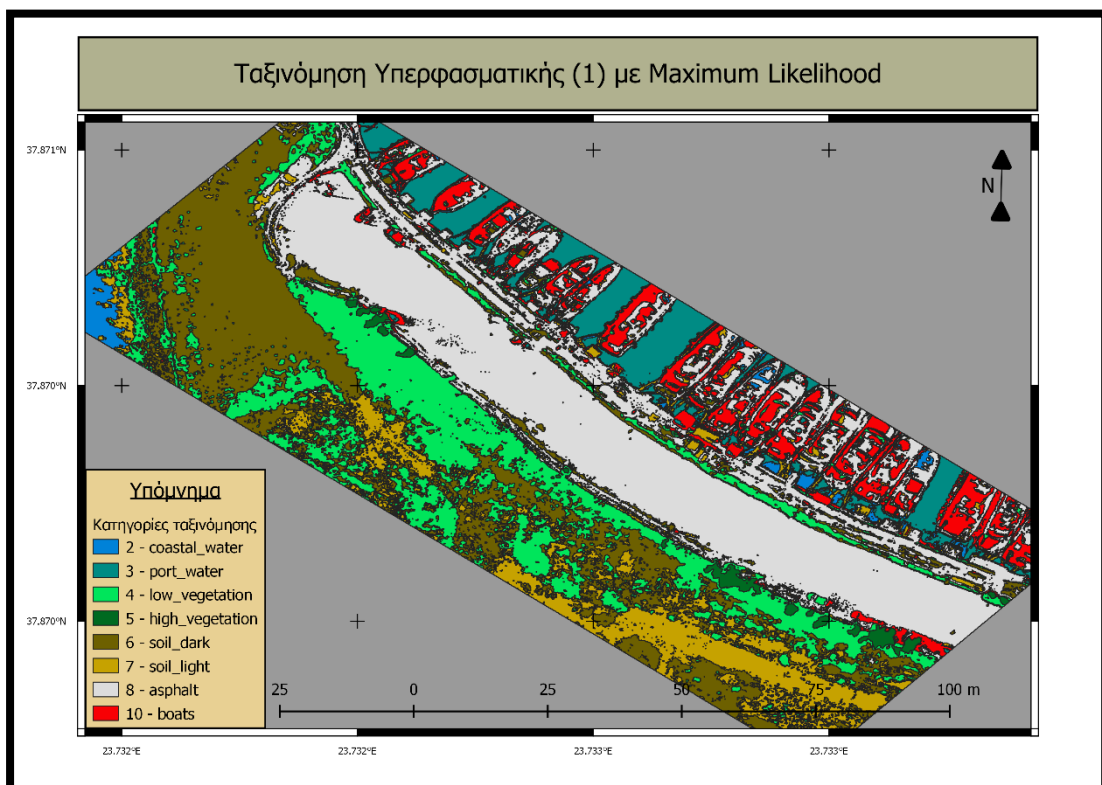
Πιο συγκεκριμένα, όλες οι κατηγορίες εμφανίζουν πολύ υψηλά ποσοστά *PA*, *UA*, της τάξης >90%. Παρόλα αυτά παρατηρώντας το χάρτη των αποτελεσμάτων διακρίνονται εσφαλμένες υπο-περιοχές ταξινόμησης για την κατηγορία *boats*, οι οποίες έχουν ταξινομηθεί ως *asphalt*. Τα σφάλματα αυτά πιθανόν οφείλονται στις σκιές από τον ήλιο που είχαν δημιουργηθεί πάνω σε ορισμένα σκάφη. Τα λάθη αυτά, δεν αποτυπώνονται στα ποσοστά του *PA* (92%), όπως θα αναμενόταν, καθώς όπως περιγράφηκε στη μεθοδολογία, για τις ταξινομήσεις των υπερφασματικών δεδομένων στο *QGIS* χρησιμοποιήθηκε μικρό υποσύνολο για τα δεδομένα ελέγχου και εκπαίδευσης.

Πίνακας 3.4 - Πίνακας αποτελεσμάτων ταξινόμησης Υπερφασματικού μωσαϊκού του πρώτου σκέλους πτήσης με τη μέθοδο *Maximum Likelihood*.

<b>Overall accuracy [%] = 99.20</b>		
	<b>PA (%)</b>	<b>UA (%)</b>
<b>2 - coastal_water</b>	100	98.94
<b>3 - port_water</b>	100	99.90
<b>4 - low_vegetation</b>	98.64	95.18
<b>5 - high_vegetation</b>	100	100
<b>6 - soil_dark</b>	100	98.74
<b>7 - soil_light</b>	96.31	93.55
<b>8 - asphalt</b>	99.91	99.42
<b>10- boats</b>	91.87	100
<b>Kappa coefficient [%] = 98</b>		



Σχήμα 3.29 - Ορθοεικόνα πρώτου σκέλους της περιοχής μελέτης από Υπερφασματικά δεδομένα.



Σχήμα 3.30 - Χάρτης ταξινομημένης εικόνας Υπερφασματικού μωσαϊκού πρώτου σκέλους πτήσης με τη μέθοδο Maximum Likelihood.

### Ταξινόμηση Υπερφασματικού Μωσαϊκού (2) με τη μέθοδο *Spectral Angle Mapping*

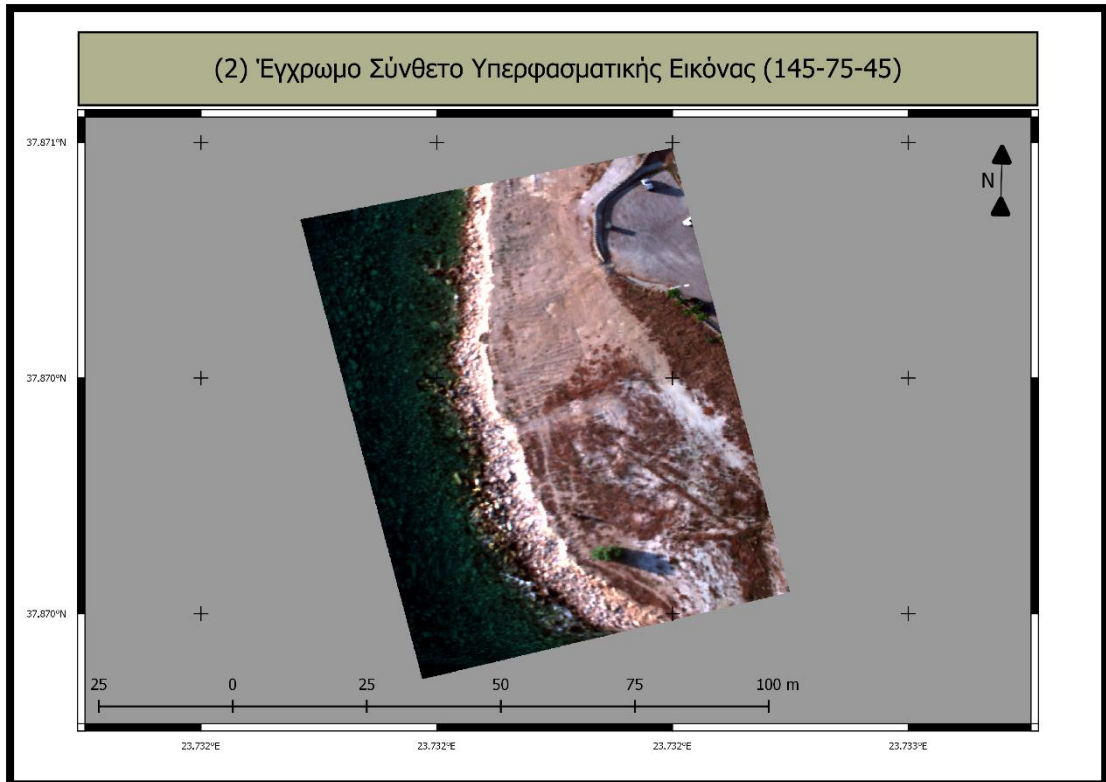
Μετά από ποιοτική και ποσοτική αξιολόγηση των παραγόμενων αποτελεσμάτων για το δεύτερο υπερφασματικό μωσαϊκό, ο αλγόριθμος *Spectral Angle Mapping* κρίθηκε αποτελεσματικότερος. Η συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης εκφράζεται από το υψηλό ποσοστό *OA* της τάξης του 97% (Πίνακας 3.5).

Όσον αφορά τις επιμέρους κατηγορίες ταξινόμησης παρατηρούνται ιδιαίτερα υψηλά ποσοστά *PA*, *UA* σε όλες σχεδόν τις κατηγορίες, εκτός των *soil light* (*PA* 86% *UA* 61% και *asphalt* *PA* 86% και *UA* 94%). Τα ποσοστά αυτά πιθανόν οφείλονται στη μικρή διαθέσιμη περιοχή των κατηγοριών αυτών στην αρχική εικόνα, συνεπώς και στα ελάχιστα δεδομένα αναφοράς. Επιπροσθέτως αξιολογώντας το χάρτη με την ταξινομημένη εικόνα παρατηρείται τμήμα της ακτογραμμής το οποίο έχει λανθασμένα ταξινομηθεί στην κατηγορία *asphalt* καθώς και τμήματος σκιάς υψηλής βλάστησης, το οποίο ομοίως έχει ταξινομηθεί στην ίδια κατηγορία. Ενδεχομένως, σε επόμενη ταξινόμηση θεωρείται σκόπιμη η δημιουργία ανεξάρτητης κατηγορίας σκιών, ανάλογα πάντα με την ώρα καταγραφής / λήψης των δεδομένων, η οποία παίζει καθοριστικό ρόλο.

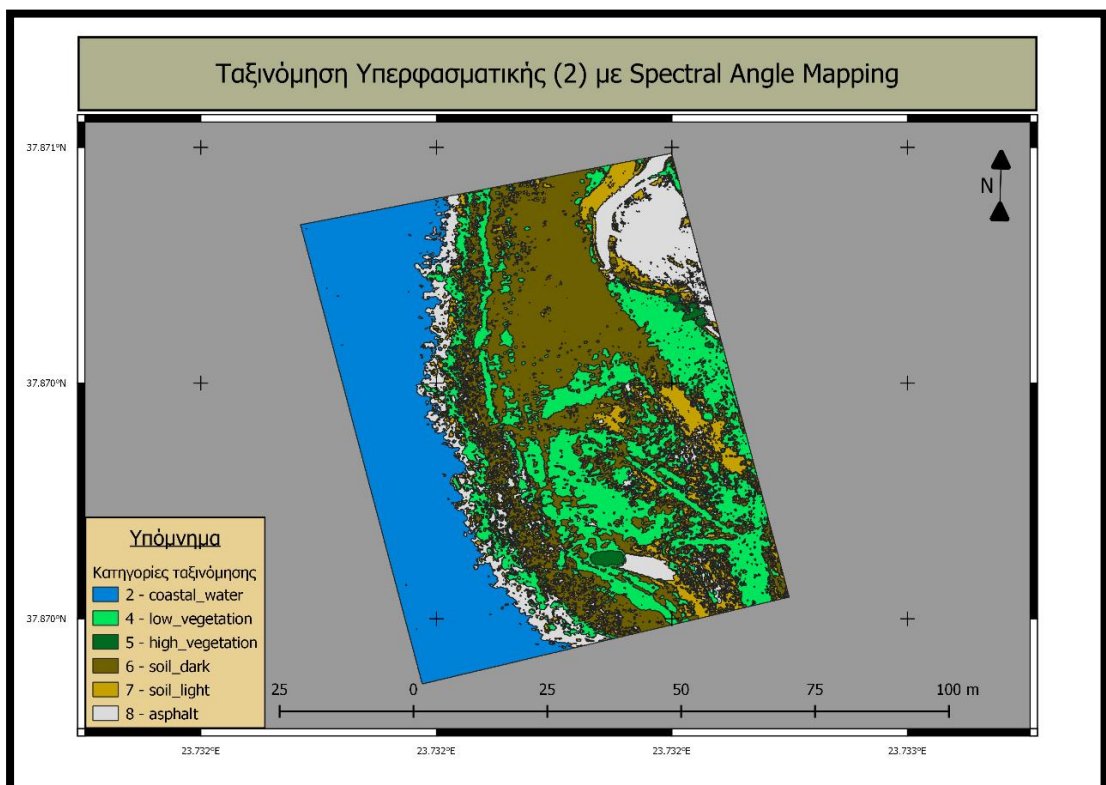
Πίνακας 3.5 - Πίνακας αποτελεσμάτων ταξινόμησης Υπερφασματικού μωσαϊκού του δεύτερου σκέλους πτήσης με τη μέθοδο *Spectral Angle Mapping*.

<b>Overall accuracy [%] = 97,43</b>		
	<b>PA (%)</b>	<b>UA (%)</b>
<b>2 - coastal_water</b>	99,78	100
<b>4 - low_vegetation</b>	94,74	100
<b>5 - high_vegetation</b>	100	100
<b>6 - soil_dark</b>	99,67	95,67
<b>7 - soil_light</b>	85,75	60,72
<b>8 - asphalt</b>	86,29	94,43
<b>Kappa coefficient [%] = 95</b>		





Σχήμα 3.31 - Ορθοεικόνα δεύτερου σκέλους της περιοχής μελέτης από Υπερφασματικά δεδομένα.



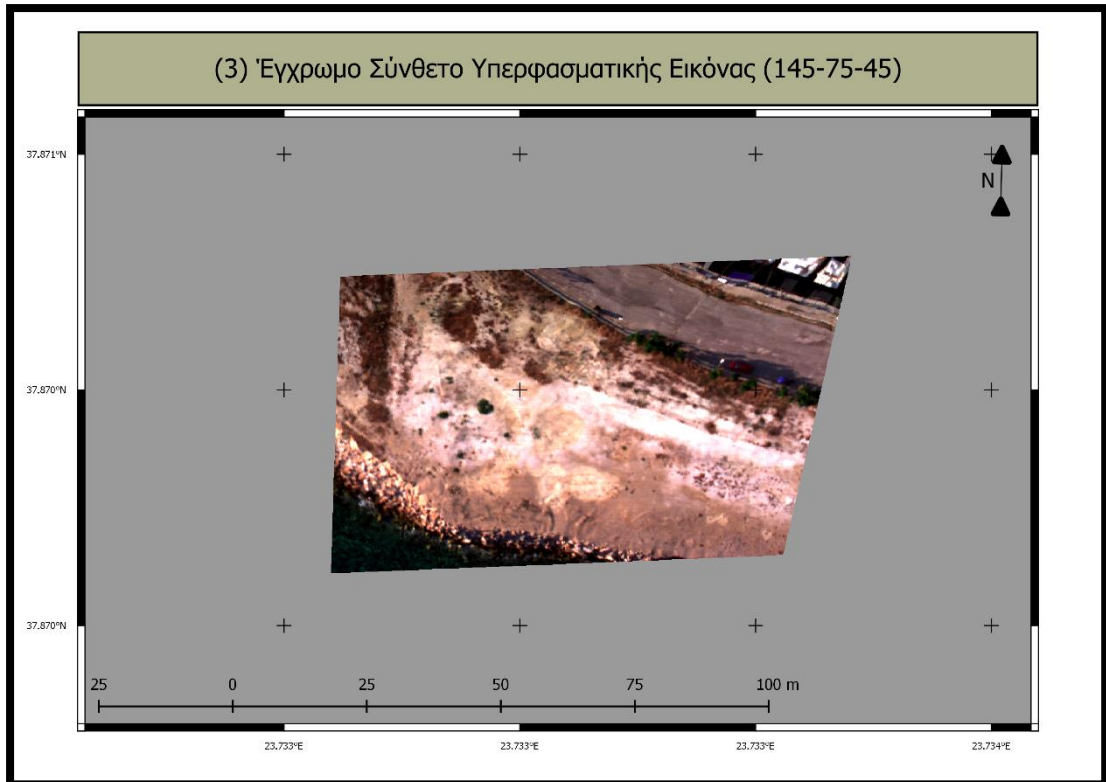
Σχήμα 3.32 - Χάρτης ταξινομημένης εικόνας Υπερφασματικού μωσαϊκού δεύτερου σκέλους πτήσης με τη μέθοδο Spectral Angle Mapping.

**Ταξινόμηση Υπερφασματικού Μωσαϊκού (3) με τη μέθοδο *Minimum Distance***

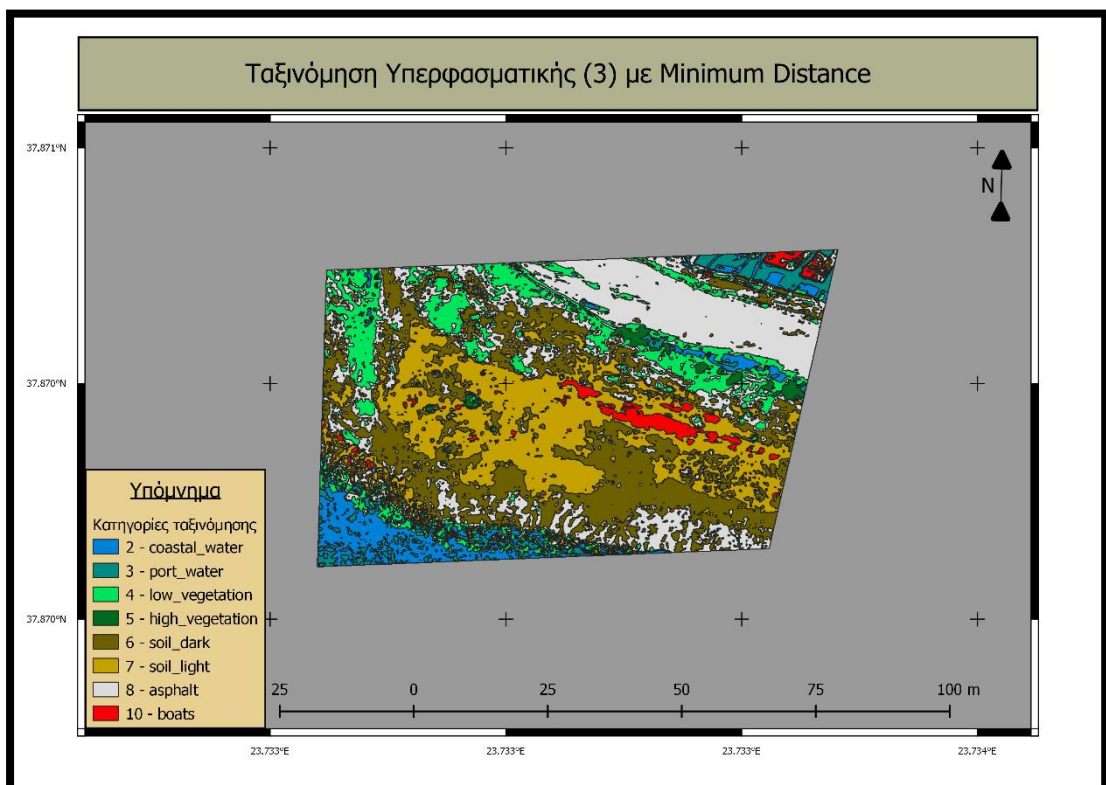
Στο τρίτο και τελευταίο σκέλος των υπερφασματικών δεδομένων παρατηρήθηκε σχετική μείωση της συνολικής ακρίβειας ταξινόμησης (OA 90% έναντι 97,43% και 99,20% στα δυο προηγούμενα). Ενδεχομένως ως έναν βαθμό αυτό οφείλεται στη μικρότερη περιοχή που αποδίδεται στο συγκεκριμένο μωσαϊκό. Αναλύοντας τις επιμέρους κατηγορίες (Πίνακας 3.6), παρατηρούνται υψηλά ποσοστά PA, UA στα *coastal water* και *port water* με τη χαμηλότερη τιμή (UA 70%) στο πρώτο, το οποίο παρατηρείται και με την ποιοτική αξιολόγηση του χάρτη ταξινόμησης (Σχήμα 3.34). Το ποσοστό αυτό εκφράζεται αξιολογώντας τον χάρτη ταξινόμησης παρατηρώντας υπο-περιοχές της κατηγορίας αυτής εσφαλμένα ταξινομημένες στις κατηγορίες *low vegetation* και *port water*. Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος πιθανόν δεν κατάφερε να διαχωρίσει αποτελεσματικά τα δύο είδη υδάτων λόγω ομοιοτήτων στις φασματικές υπογραφές. Συνεχίζοντας την αξιολόγηση, οι κατηγορίες του *vegetation* παρουσιάζουν αρκετά υψηλά ποσοστά PA, UA με τη χαμηλότερη τιμή στο UA του *low vegetation*, το οποίο οφείλεται στην ενσωμάτωση περιοχών της κατηγορίας αυτής με την κατηγορία *asphalt*. Στο σύνολο της ταξινομημένης εικόνας υπάρχουν αρκετές περιοχές εσφαλμένα κατηγοριοποιημένες σε *asphalt*. Τα σφάλματα αυτά, πιθανόν προέρχονται από τις ανακλάσεις του ήλιου στα ανοιχτά χρώματα του *soil light* με αποτέλεσμα να αλλοιώνεται η φασματική πληροφορία σε συγκεκριμένα τμήματα του φάσματος καταγραφής. Παρόλα αυτά, υπάρχει επιτυχημένος διαχωρισμός ανάμεσα σε *soil light* και *soil dark*, το οποίο φαίνεται τόσο στον πίνακα των αποτελεσμάτων (PA 86% UA 98% και PA 89% και UA 96% αντίστοιχα) όσο και από την ποιοτική αξιολόγηση του χάρτη. Τέλος, αναλύοντας την κατηγορία *boats* παρατηρούνται χαμηλά ποσοστά PA, UA (76% 49%), πιθανόν λόγω της μικρής περιοχής σκαφών στην αρχική εικόνα με αποτέλεσμα ο αλγόριθμος να ταξινομήσει μεν με σχετική επιτυχία την κατηγορία αυτή, όμως να μην εκφράζεται η αξιοπιστία της (Σχήματα 3.33, 3.34).

Πίνακας 3.6 - Πίνακας αποτελεσμάτων ταξινόμησης Υπερφασματικού μωσαϊκού του τρίτου σκέλους πτήσης με τη μέθοδο *Minimum Distance*.

<b>Overall accuracy [%] = 89.70</b>		
	<b>PA (%)</b>	<b>UA (%)</b>
<b>2 - coastal_water</b>	90.41	70.42
<b>3 - port_water</b>	100	85.90
<b>4 - low_vegetation</b>	94.15	78.16
<b>5 - high_vegetation</b>	100	100
<b>6 - soil_dark</b>	88.72	96.12
<b>7 - soil_light</b>	86.28	98.18
<b>8 - asphalt</b>	99.81	88.50
<b>10 - boats</b>	76.21	48.81
<b>Kappa coefficient [%] = 86</b>		



Σχήμα 3.33 - Ορθοεικόνα τρίτου σκέλους της περιοχής μελέτης από Υπερφασματικά δεδομένα.



Σχήμα 3.34 - Χάρτης ταξινομημένης εικόνας Υπερφασματικού μωσαϊκού τρίτου σκέλους πτήσης με τη μέθοδο Minimum Distance.

### 3.4.2 Ταξινόμησης δεδομένων: Python SVM – PCA

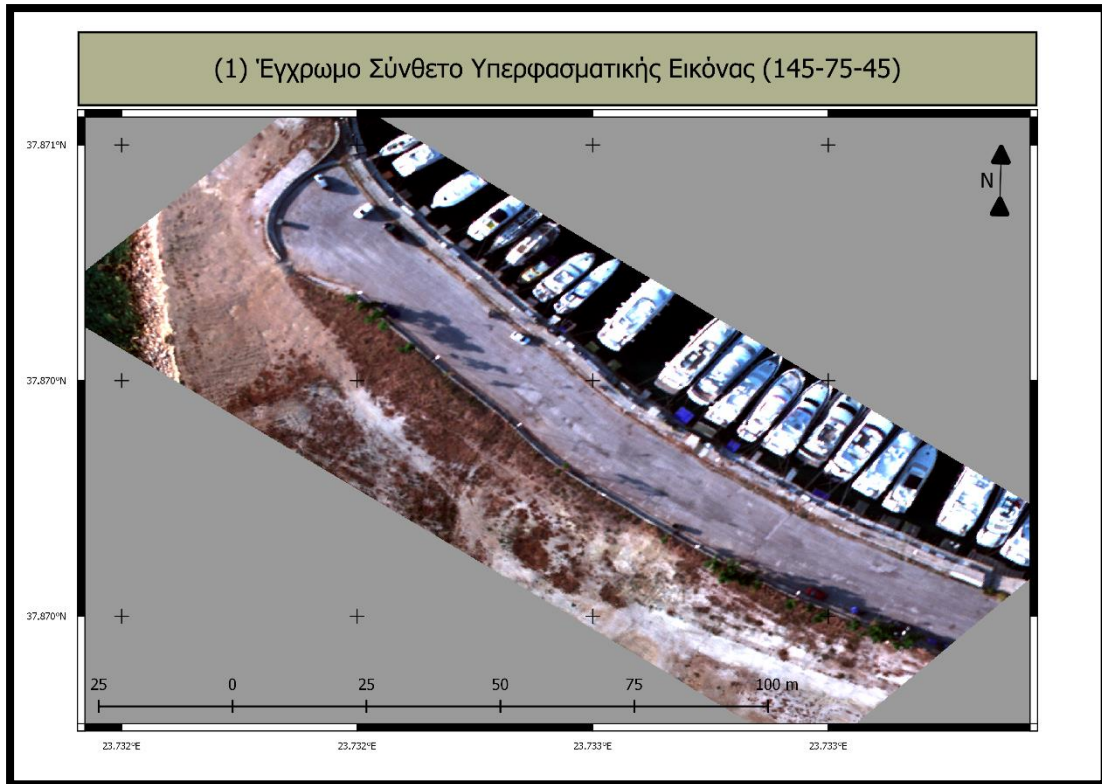
Το δεύτερο μέρος ταξινόμησης υλοποιήθηκε με χρήση κώδικα της γλώσσας Python και εφαρμογή ταξινόμητη που βασίζεται σε SVMs. Αρχικά, λόγω του τεράστιου όγκου του υπερφασματικού dataset οι ταξινόμησης πραγματοποιήθηκαν με μείωση διαστάσεων σε 10 Κύριες Συνιστώσες (μέθοδος PCA), οι οποίες εκφράζουν το 99.8% της μεταβλητότητας των δεδομένων. Αξίζει να αναφερθεί ότι όλες οι ταξινόμησης που ακολουθούν υλοποιήθηκαν για διάφορα ποσοστά δεδομένων εκπαίδευσης και ελέγχου (20%-80%, 35%-65%, 50%-50%, 65%-35%, 80%-20% αντίστοιχα). Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται εκείνες με τα βέλτιστα αποτελέσματα, έπειτα από την ποιοτική και ποσοτική αξιολόγησή τους.

#### Ταξινόμηση Υπερφασματικού Μωσαϊκού (1) με SVM – PCA

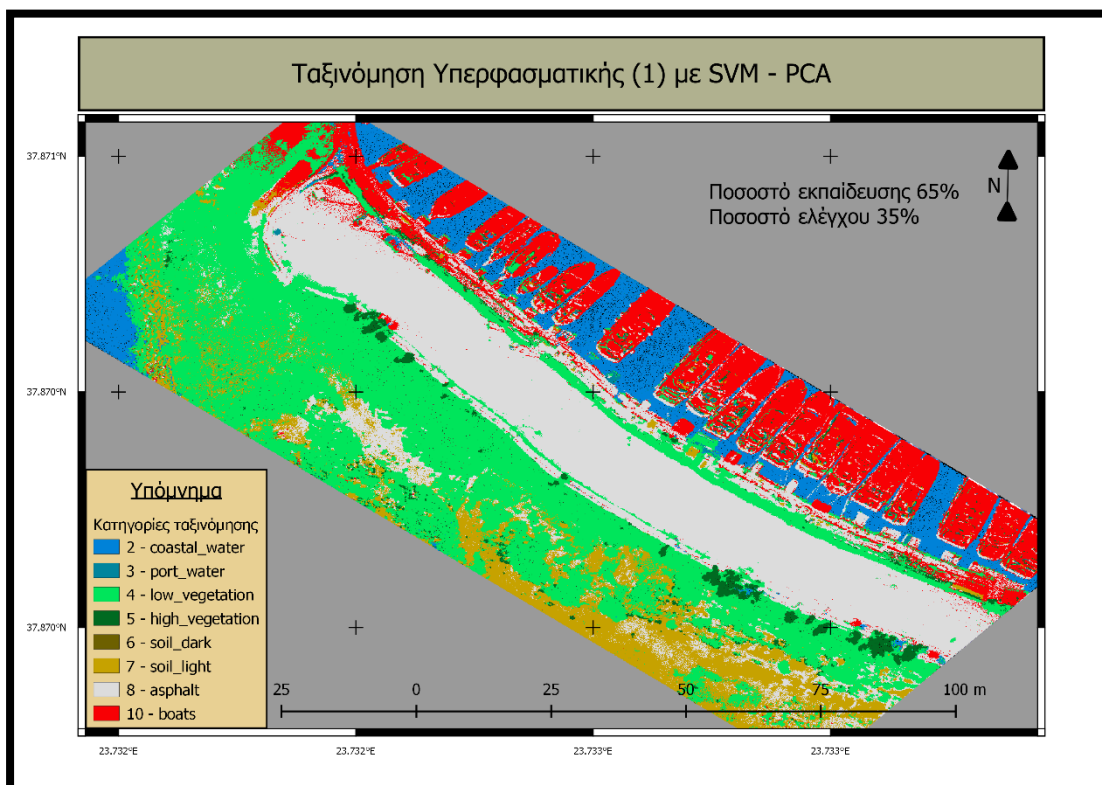
Η συνολική απόδοση της ταξινόμησης εκφράζεται από το υψηλό ποσοστό OA της τάξης του 82%. Παρατηρώντας στον confusion matrix (Πίνακας 3.7) τα ποσοστά PA, γίνεται αντιληπτό ότι έχει ταξινομηθεί αποτελεσματικά η πλειονότητα των κατηγοριών, με εξαίρεση την port water και soil dark (1%, 0% αντίστοιχα). Πιθανόν ο αλγόριθμος, λόγω της μείωσης της διάστασης των δεδομένων, δεν κατάφερε να διαχωρίσει τις φασματικές υπογραφές των υλικών αυτών. Έτσι, εσφαλμένα ταξινομήθηκε το port water στην κατηγορία coastal water και το soil dark στην κατηγορία low vegetation και soil white. Οι παραπάνω παρατηρήσεις αποτυπώνονται και στο ποσοστό UA των κατηγοριών. Οι κατηγορίες coastal water, port water και soil dark εμφανίζουν τα μικρότερα ποσοστά αξιοπιστίας (35%, 15% και 47% αντίστοιχα). Όλα τα παραπάνω εκφράζονται στον χάρτη ταξινόμησης που ακολουθεί (Σχήμα 3.36). Η συγκεκριμένη ταξινόμηση παρουσίασε μεγαλύτερη επιτυχία για ποσοστά δεδομένων εκπαίδευσης 65% και ελέγχου 35%.

Πίνακας 3.7 - Confusion matrix αποτελεσμάτων ταξινόμησης πρώτου σκέλους Υπερφασματικού μωσαϊκού με SVM – PCA.

	Coastal Water	Port Water	Low Vegetation	High Vegetation	Soil Dark	Soil White	Asphalt	Boats	sum	PA (%)
Coastal Water	8497.0	0.0	173.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8670.0	98
Port Water	15083.0	185.0	1.0	0.0	0.0	0.0	4.0	26.0	15299.0	1
Low Vegetation	1.0	0.0	25864.0	158.0	0.0	39.0	55.0	567.0	26684.0	97
High Vegetation	50.0	0.0	332.0	1542.0	0.0	0.0	3.0	0.0	1927.0	80
Soil Dark	0.0	0.0	9632.0	1.0	18.0	1196.0	458.0	171.0	11476.0	0
Soil Light	0.0	0.0	230.0	77.0	0.0	7154.0	2657.0	6.0	10124.0	71
Asphalt	4.0	26.0	375.0	10.0	0.0	7.0	96539.0	922.0	97883.0	99
Boats	562.0	1012.0	840.0	1321.0	20.0	814.0	2284.0	43259.0	50112.0	86
sum	24197.0	1223.0	37447.0	3109.0	38.0	9210.0	102000.0	44951.0	kappa:	76
UA (%)	35	15	69	5	47	78	95	96	OA:	82



Σχήμα 3.35 - Ορθοεικόνα πρώτου σκέλους της περιοχής μελέτης από Υπερφασματικά δεδομένα.



Σχήμα 3.36 - Χάρτης ταξινομημένης εικόνας Υπερφασματικού μωσαϊκού πρώτου σκέλους πτήσης με τη μέθοδο SVM – PCA.

### 3 Ταξινόμηση Δεδομένων και Αξιολόγηση

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη παράγραφο, πραγματοποιήθηκαν ταξινομήσεις για διάφορα ποσοστά δεδομένων εκπαίδευσης σε όλα τα Υπερφασματικά μωσαϊκά. Ακολουθούν πίνακες με τα ποσοστά *OA*, *PA*, *UA* (παρουσιάζονται τα αντίστοιχα διαγράμματα στη σελ. 95 του Παραρτήματος) όλων των ταξινομήσεων που υλοποιήθηκαν με τη μέθοδο *SVM* μετά από μείωση διαστάσεων δεδομένων (*PCA*). Αξιολογώντας αρχικά το ποσοστό *OA* (Πίνακας 3.8), συμπεραίνεται ότι έχει υλοποιηθεί σχετικά αξιόπιστη ταξινόμηση (82% - 91%).

Πίνακας 3.8 - Πίνακας *OA* συναρτήσεως του ποσοστού δεδομένων εκπαίδευσης για όλες τις ταξινομήσεις του Υπερφασματικού μωσαϊκού (1) με τη μέθοδο *SVM* - *PCA*.

Training (%)	OA (%)
20	88
35	91
50	86
65	82
80	86

Αναλύοντας όμως τις επιμέρους ακρίβειες *PA*, *UA* (Πίνακες 3.9, 3.10) παρατηρείται ότι υπάρχουν εμφανή σφάλματα στις κατηγορίες *high vegetation* για ποσοστό εκπαίδευσης 35%, *soil dark* και *soil light* σχεδόν σε όλα τα ποσοστά εκπαίδευσης. Επίσης, σε συνδυασμό με την ποιοτική αξιολόγηση του σχήματος 3.37 παρατηρείται ότι έχει αποτύχει ο διαχωρισμός της κατηγορίας *port water* για ποσοστό εκπαίδευσης 65% και έχει ταξινομηθεί στο *coastal water*. Πιθανόν τα σφάλματα αυτά οφείλονται στη μείωση διάστασης των δεδομένων, με αποτέλεσμα ο αλγόριθμος να μην μπορεί να διαχωρίσει όμοιες κατηγορίες αφού έχει ελαχιστοποιηθεί η φασματική ανάλυση των εικόνων. Παρόλο που η ταξινόμηση που παρουσιάστηκε εμφανίζει το μικρότερο ποσοστό *OA* της τάξης του 82%, κρίθηκε ως η αποτελεσματικότερη λαμβάνοντας υπόψιν την ποιοτική αξιολόγηση όλων των χαρτών των ταξινομημένων εικόνων για όλα τα ποσοστά εκπαίδευσης.

Πίνακας 3.9 - Πίνακας *PA* όλων των κατηγοριών για κάθε ποσοστό εκπαίδευσης των ταξινομήσεων του Υπερφασματικού μωσαϊκού (1) με τη μέθοδο *SVM* - *PCA*.

PRODUCER ACCURACY (%)					
Training (%)	20	35	50	65	80
Coastal Water	95	97	96	98	97
Port Water	100	100	100	1	98
Low Vegetation	98	98	95	97	98
High Vegetation	72	18	77	80	90
Soil Dark	5	59	0	0	0
Soil Light	0	63	15	71	0
Asphalt	98	94	93	99	99
Boats	94	93	95	86	87

Πίνακας 3.10 - Πίνακας UA όλων των κατηγοριών για κάθε ποσοστό εκπαίδευσης των ταξινομήσεων του Υπερφασματικού μωσαϊκού (1) με τη μέθοδο SVM – PCA.

USER ACCURACY (%)								
Training (%)	Coastal Water	Port Water	Low Vegetation	High Vegetation	Soil Dark	Soil White	Asphalt	Boats
20	62	97	81	93	100	4	88	96
35	63	96	83	61	99	91	98	88
50	71	97	83	82	0	87	88	84
65	35	15	69	50	47	78	95	96
80	37	91	79	80	0	26	94	97

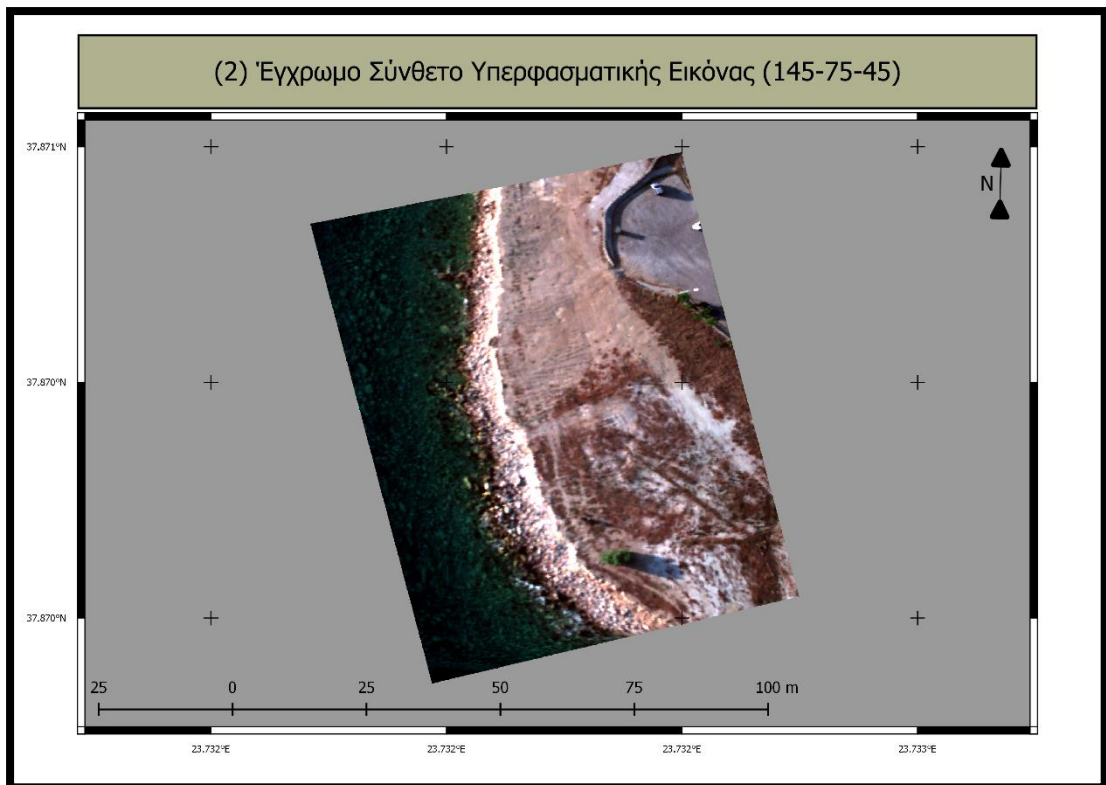
### Ταξινόμηση Υπερφασματικού Μωσαϊκού (2) με SVM – PCA

Το δεύτερο σκέλος πτήσης εμφανίζει σημαντικά υψηλότερο ποσοστό ταξινόμησης με συνολική ακρίβεια OA στο 96% (Πίνακας 3.11). Όλες οι κατηγορίες διαχωρίζονται αποτελεσματικά, αποδίδοντας υψηλά ποσοστά PA, με το χαμηλότερο να αποδίδεται στην κατηγορία *soil light* (80%). Η αξιοπιστία της συγκεκριμένης ταξινόμησης εκφράζεται από τα υψηλά ποσοστά UA σε όλες τις κατηγορίες ταξινόμησης με τη χαμηλότερη να εμφανίζεται στο *soil dark* (85%). Η συνολική εικόνα του *confusion matrix* αποτυπώνεται αποτελεσματικά στον χάρτη ταξινομημένης εικόνας του σχήματος 3.38.

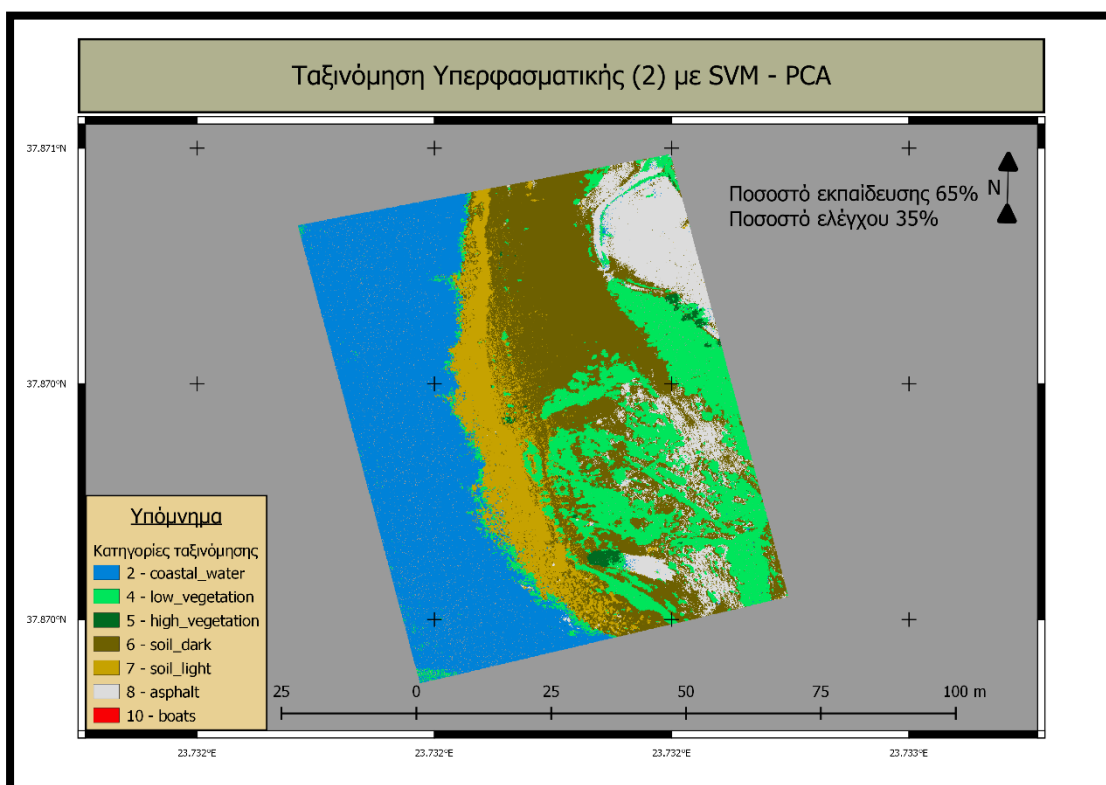
Αξιολογώντας ποιοτικά και ποσοτικά τα αποτελέσματα κρίθηκε αποτελεσματικότερη η ταξινόμηση με ποσοστό δεδομένων εκπαίδευσης 65% και ελέγχου 35%.

Πίνακας 3.11 - Confusion matrix αποτελεσμάτων ταξινόμησης δεύτερου σκέλους Υπερφασματικού μωσαϊκού με SVM – PCA.

	Coastal Water	Low Vegetation	High Vegetation	Soil Dark	Soil White	Asphalt	sum	PA (%)
Coastal Water	62472.0	426.0	0.0	0.0	0.0	0.0	62898.0	99
Low Vegetation	7.0	24821.0	21.0	706.0	112.0	57.0	25724.0	96
High Vegetation	3.0	246.0	1145.0	23.0	0.0	0.0	1417.0	81
Soil Dark	0.0	28.0	0.0	13388.0	133.0	0.0	13549.0	99
Soil Light	19.0	5.0	0.0	1482.0	9982.0	1220.0	12708.0	79
Asphalt	15.0	40.0	0.0	104.0	6.0	14851.0	15016.0	99
sum	62516.0	25566.0	1166.0	15703.0	10233.0	16128.0	kappa:	95
UA (%)	100	97	98	85	98	92	OA:	96



Σχήμα 3.37 - Ορθοεικόνα δεύτερου σκέλους της περιοχής μελέτης από Υπερφασματικά δεδομένα.



Σχήμα 3.38 - Χάρτης ταξινομημένης εικόνας Υπερφασματικού μωσαϊκού δεύτερου σκέλους πτήσης με τη μέθοδο SVM – PCA.



Παρατηρώντας τα ποσοστά των *OA* (αντίστοιχα διαγράμματα σελ. 96 Παραρτήματος) των ταξινομήσεων στο δεύτερο Υπερφασματικό μωσαϊκό, είναι εμφανές ότι υπάρχει βελτίωση των αποτελεσμάτων συγκριτικά με το προηγούμενο σκέλος (Πίνακας 3.12). Το ποσοστό που επιλέχθηκε να παρουσιαστεί είναι της τάξης του 96%, ενώ σε όλα τα ποσοστά δεδομένων εκπαίδευσης παρατηρούνται διαφοροποιήσεις της τάξης του 79% - 96%.

Πίνακας 3.12 - Πίνακας *OA* συναρτήσει του ποσοστού δεδομένων εκπαίδευσης για όλες τις ταξινομήσεις του Υπερφασματικού μωσαϊκού (2) με τη μέθοδο *SVM – PCA*.

Training (%)	OA (%)
20	92
35	96
50	88
65	96
80	79

Αναλύοντας εκτενέστερα τα ποσοστά *PA*, *UA* (αντίστοιχα διαγράμματα στη σελ. 96 του Παραρτήματος) των ταξινομήσεων, αποδίδονται χαμηλά ποσοστά για δεδομένα εκπαίδευσης 20% και 80%. Πιο συγκεκριμένα η κατηγορία *soil dark* αποτυγχάνει ολοκληρωτικά στο 80%. Ενώ εμφανίζεται χαμηλό ποσοστό *UA* (32%) στην κατηγορία *Asphalt*. Πιθανόν αιτία των παραπάνω είναι αφενός το χαμηλό ποσοστό εκπαίδευσης στο 20%, αφετέρου μεγάλου μεγέθους πληροφορία στο 80% με αποτέλεσμα τη σύγχυση των φασματικών υπογραφών και τον αναποτελεσματικό διαχωρισμό των κατηγοριών.

Στο συγκεκριμένο Υπερφασματικό μωσαϊκό, το υψηλό ποσοστό της *OA* (για ποσοστό εκπαίδευσης 65%) αποδιδόταν και στην ποιοτική αξιολόγηση του χάρτη της ταξινομημένης εικόνας, για τον λόγο αυτό κρίθηκε η αποτελεσματικότερη.

Πίνακας 3.13 - Πίνακας *PA* όλων των κατηγοριών για κάθε ποσοστό εκπαίδευσης των ταξινομήσεων του Υπερφασματικού μωσαϊκού (2) με τη μέθοδο *SVM – PCA*.

PRODUCER ACCURACY (%)					
Training (%)	20	35	50	65	80
Coastal Water	100	100	100	99	100
Low Vegetation	99	99	99	96	98
High Vegetation	89	86	89	81	91
Soil Dark	43	80	12	99	0
Soil White	81	81	88	79	81
Asphalt	99	99	92	99	32
sum	88	94	83	95	71
UA	92	96	88	96	79

### 3 Ταξινόμηση Δεδομένων και Αξιολόγηση

Πίνακας 3.14 - Πίνακας UA όλων των κατηγοριών για κάθε ποσοστό εκπαίδευσης των ταξινομήσεων του Υπερφασματικού μωσαϊκού (2) με τη μέθοδο SVM – PCA.

USER ACCURACY (%)						
Training (%)	Coastal Water	Low Vegetation	High Vegetation	Soil Dark	Soil White	Asphalt
20	100	93	47	100	87	73
35	100	97	98	99	91	80
50	100	80	100	98	61	90
65	100	97	98	85	98	92
80	100	98	5	0	89	96

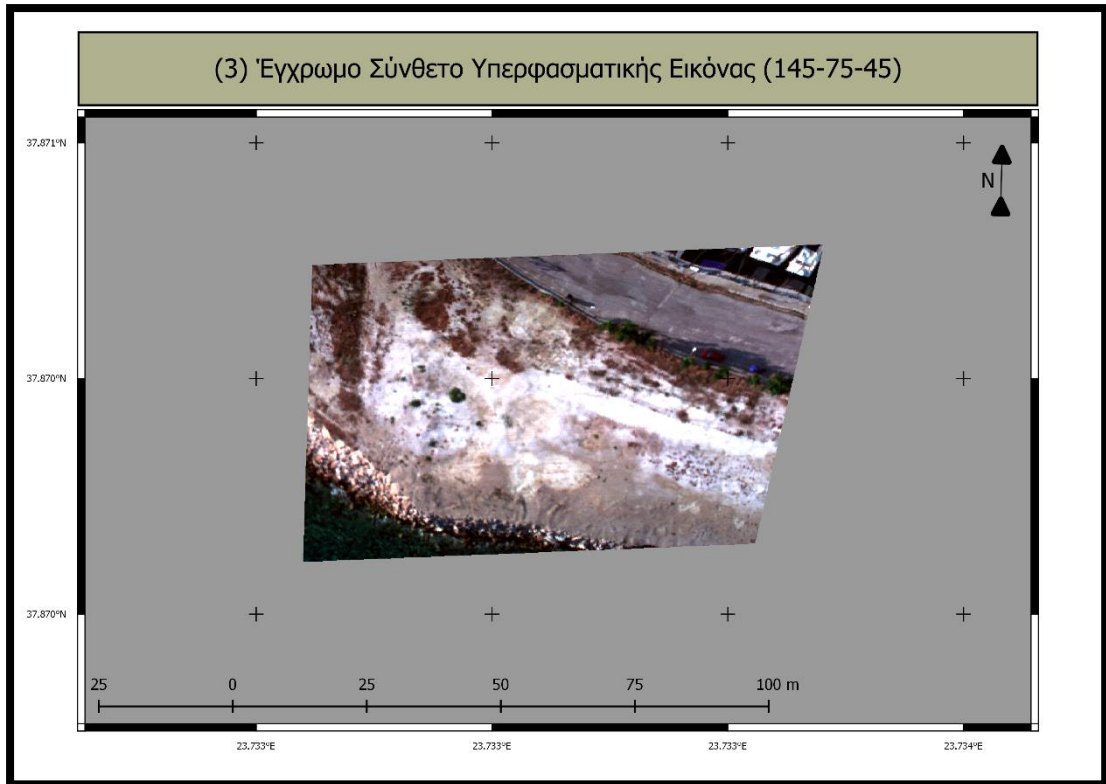
### Ταξινόμηση Υπερφασματικού Μωσαϊκού (3) με SVM – PCA

Το τρίτο Υπερφασματικό μωσαϊκό έχει ταξινομηθεί επιτυχώς με συνολική ακρίβεια OA της τάξης του 87% (Πίνακας 3.15). Οι κατηγορίες που έχουν αποτύχει σε αυτήν την ταξινόμηση είναι οι *port water* και *boats* (PA 0%). Εξήγηση για τα μηδενικά ποσοστά, αποτελεί η πολύ μικρή περιοχή των παραπάνω κατηγοριών στην αρχική εικόνα, συνεπώς και λίγα *pixel* εκπαίδευσης και ελέγχου. Οι κατηγορίες αυτές, όπως αναμένεται εμφανίζουν και ελάχιστη αξιοπιστία (UA: 0% και 0.14%) ως προς την ταξινόμηση. Ακολουθεί ο χάρτης που αποτυπώνει τα παραπάνω αποτελέσματα της συγκεκριμένης ταξινόμησης (Σχήματα 3.39, 3.40).

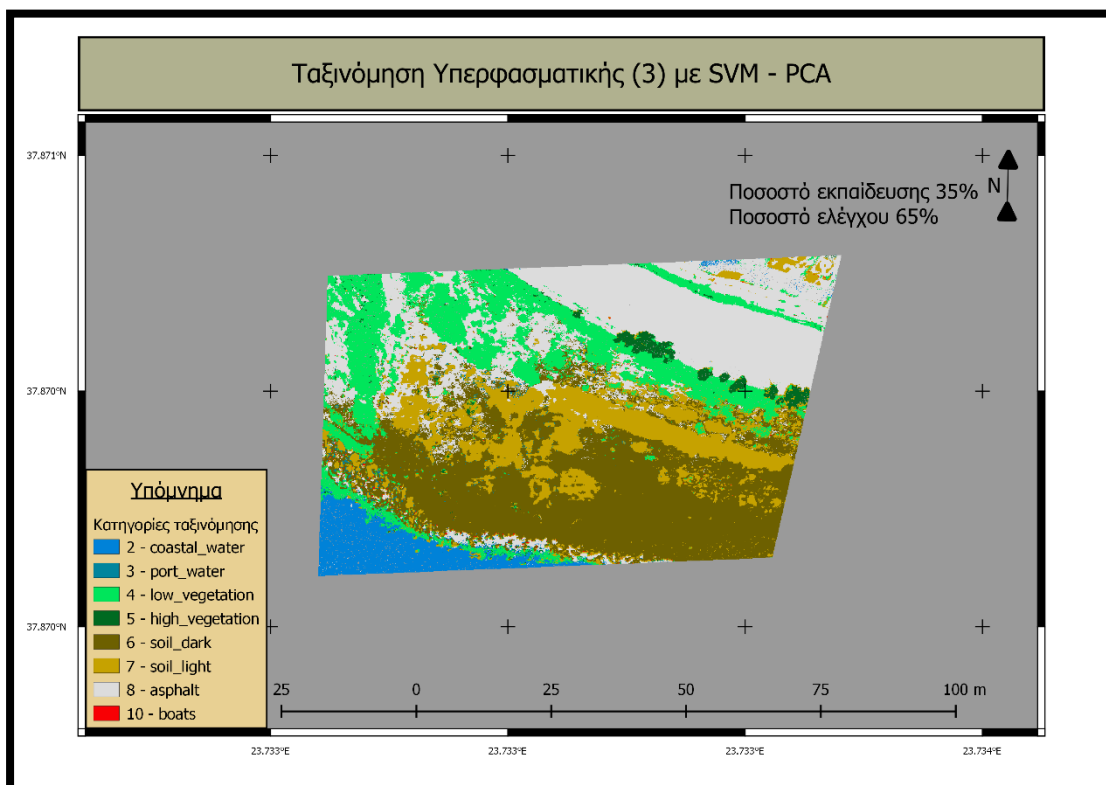
Στην ταξινόμηση αυτή βέλτιστα αποτελέσματα προέκυψαν για ελάχιστο ποσοστό δεδομένων εκπαίδευσης 35% και ελέγχου 65%.

Πίνακας 3.15 - Confusion matrix αποτελεσμάτων ταξινόμησης τρίτου σκέλους Υπερφασματικού μωσαϊκού με SVM - PCA.

	Coastal Water	Port Water	Low Vegetation	High Vegetation	Soil Dark	Soil White	Asphalt	Boats	sum	PA (%)
Coastal Water	6060.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	14.0	0.0	6076.0	100
Port Water	31.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	849.0	0.0	882.0	0
Low Vegetation	0.0	2.0	12166.0	63.0	29.0	135.0	77.0	0.0	12472.0	98
High Vegetation	0.0	0.0	41.0	1591.0	5.0	231.0	4.0	0.0	1872.0	85
Soil Dark	0.0	30.0	16.0	0.0	14926.0	74.0	571.0	0.0	15617.0	96
Soil Light	6.0	246.0	69.0	1.0	5306.0	14003.0	775.0	60.0	20466.0	68
Asphalt	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25886.0	0.0	25886.0	100
Boats	4.0	1.0	43.0	12.0	0.0	936.0	1099.0	10.0	2105.0	0
sum	6101.0	279.0	12339.0	1667.0	20266.0	15379.0	29275.0	70.0	kappa:	84
UA (%)	99	0	99	95	74	91	88	14	OA:	87



Σχήμα 3.39 - Ορθοεικόνα τρίτου σκέλους της περιοχής μελέτης από Υπερφασματικά δεδομένα.



Σχήμα 3.40 - Χάρτης ταξινομημένης εικόνας Υπερφασματικού μωσαϊκού τρίτου σκέλους πτήσης με τη μέθοδο SVM – PCA.

### 3 Ταξινόμηση Δεδομένων και Αξιολόγηση

Τα ποσοτικά αποτελέσματα των υπόλοιπων ταξινομήσεων για το συγκεκριμένο μωσαϊκό παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες *OA*, *PA*, *UA* (αντίστοιχα διαγράμματα βρίσκονται στη σελ. 97 του Παραρτήματος). Η πρώτη κυμαίνεται από 76% - 88% με τη βέλτιστη να προσδιορίζεται στο 87% (Πίνακας 3.16).

Πίνακας 3.16 - Πίνακας *OA* συναρτήσει του ποσοστού δεδομένων εκπαίδευσης για όλες τις ταξινομήσεις του Υπερφασματικού μωσαϊκού (3) με τη μέθοδο SVM – PCA.

Training (%)	OA (%)
20	83
35	87
50	79
65	76
80	88

Αναλύοντας τις επιμέρους ακρίβειες *PA*, *UA* (Πίνακες 3.17, 3.18) ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι αποτυχίες των κατηγοριών *port water* και *boats* σε όλα τα ποσοστά εκπαίδευσης. Πιθανόν αυτό οφείλεται στην εμφανώς μειωμένες υπο-περιοχές των κατηγοριών αυτών στο συγκεκριμένο μωσαϊκό. Με τον τρόπο αυτό, περιορίζονται σημαντικά και τα *pixel* που λαμβάνονται ως δεδομένα εκπαίδευσης και ελέγχου, με συνέπεια τον αναποτελεσματικό διαχωρισμό τους. Σε όλες τις υπόλοιπες κατηγορίες εμφανίζονται υψηλά ποσοστά *PA*, *UA* με εξαίρεση το *high vegetation* (*UA* 44% για ποσοστό 20% και 49% για ποσοστό 80%) και *soil dark* (*UA* 53% για ποσοστό 20%, 39% και 36% για ποσοστά 50% και 65% αντίστοιχα). Πιθανόν τα ποσοστά αυτά, οφείλονται στη μείωση διάστασης των δεδομένων, με αποτέλεσμα τα εναπομείναντα κανάλια να μην παρέχουν την απαιτούμενη φασματική πληροφορία για τον επιτυχή διαχωρισμό τους.

Πίνακας 3.17 - Πίνακας *PA* όλων των κατηγοριών για κάθε ποσοστό εκπαίδευσης των ταξινομήσεων του Υπερφασματικού μωσαϊκού (3) με τη μέθοδο SVM – PCA.

PRODUCER ACCURACY (%)					
Training (%)	20	35	50	65	80
Coastal Water	100	100	56	28	100
Port Water	0	0	0	0	0
Low Vegetation	97	98	90	80	99
High Vegetation	44	85	92	89	49
Soil Dark	53	96	39	36	76
Soil White	87	68	95	97	88
Asphalt	100	100	100	100	100
Boats	11	0	1	0	1
sum	79	84	73	68	85
UA	83	87	79	76	88

Πίνακας 3.18 - Πίνακας UA όλων των κατηγοριών για κάθε ποσοστό εκπαίδευσης των ταξινομήσεων του Υπερφασματικού μωσαϊκού (3) με τη μέθοδο SVM – PCA.

USER ACCURACY (%)								
Training (%)	Coastal Water	Port Water	Low Vegetation	High Vegetation	Soil Dark	Soil White	Asphalt	Boats
20	90	0	90	29	91	79	88	21
35	99	0	99	95	74	91	88	14
50	100	0	93	79	93	65	83	9
65	100	0	97	96	92	64	75	0
80	87	0	91	72	92	85	88	41

### 3.4.3 Ταξινομήσεις δεδομένων: Python SVM

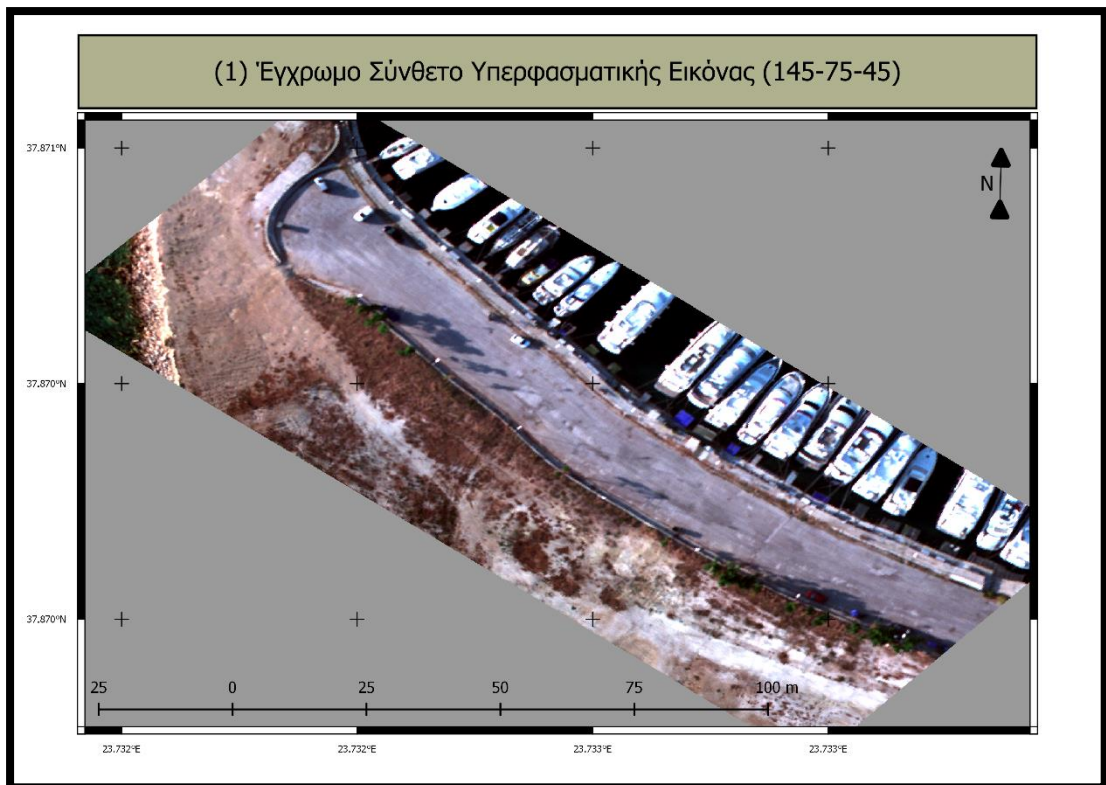
Το τρίτο και τελευταίο μέρος ταξινομήσεων πραγματοποιείται με όμοια μεθοδολογία της παραγράφου 3.4.2, με τη διαφορά ότι οι ταξινομήσεις υλοποιήθηκαν με όλα τα κανάλια των υπερφασματικών δεδομένων και όχι στα εναπομείναντα μετά από μείωση διαστάσεων.

#### Ταξινόμηση Υπερφασματικού Μωσαϊκού (1) με SVM

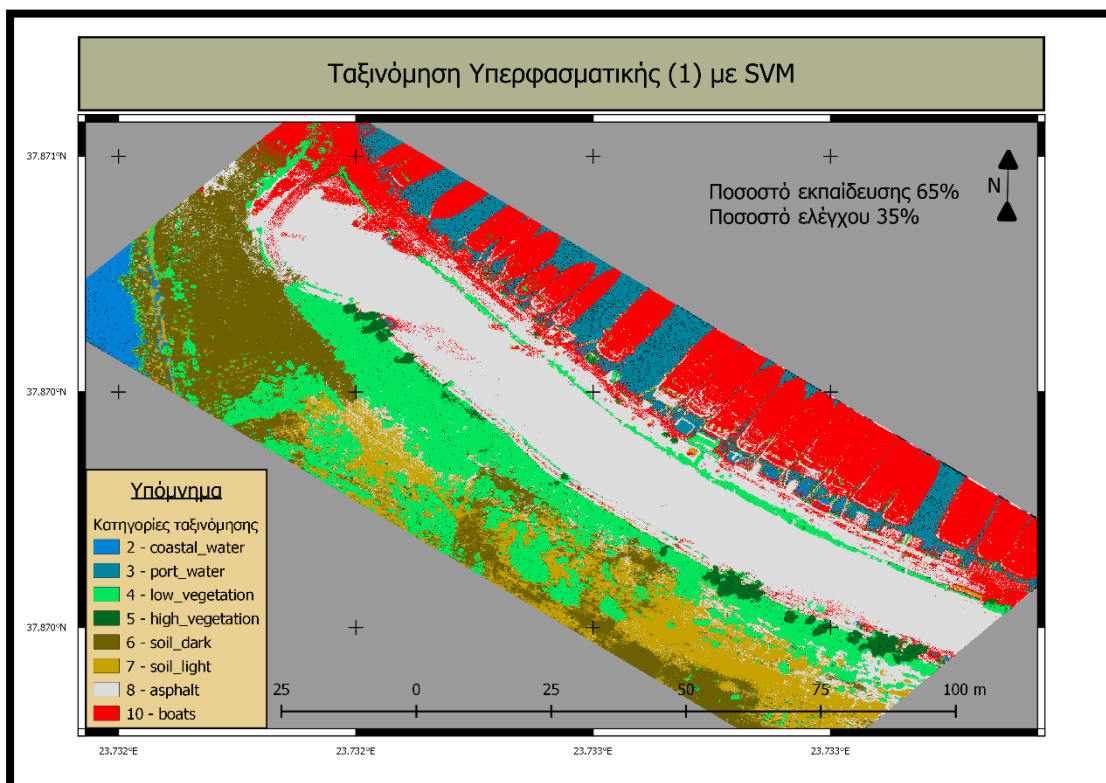
Κατά τη διαδικασία ταξινόμησης του Υπερφασματικού μωσαϊκού του πρώτου σκέλους πτήσης παρατηρήθηκε αξιοσημείωτο ποσοστό συνολικής ακρίβειας της τάξης του 98%. Όλες οι κατηγορίες διαχωρίζονται με επιτυχία, το οποίο εκφράζεται αξιολογώντας ποσοτικά τον *confusion matrix* της ταξινόμησης (Πίνακας 3.19), δίνοντας υψηλά ποσοστά PA, UA σε όλες τις κατηγορίες ( $\geq 90\%$ ). Μετά από ποιοτική και ποσοτική αξιολόγηση όλων των ταξινομήσεων (για διάφορα ποσοστά δεδομένων εκπαίδευσης και ελέγχου) που πραγματοποιήθηκαν με τη συγκεκριμένη μέθοδο, κρίθηκε αποτελεσματικότερη εκείνη που δόθηκε ποσοστό δεδομένων εκπαίδευσης 65% και ελέγχου 35% (Σχήμα 3.42).

Πίνακας 3.19 - Confusion matrix αποτελεσμάτων ταξινόμησης πρώτου σκέλους Υπερφασματικού μωσαϊκού με SVM.

	Coastal Water	Port Water	Low Vegetation	High Vegetation	Soil Dark	Soil White	Asphalt	Boats	sum	PA (%)
Coastal Water	8652.0	1.0	17.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8670.0	100
Port Water	5.0	15169.0	1.0	0.0	0.0	0.0	3.0	121.0	15299.0	99
Low Vegetation	0.0	0.0	25152.0	178.0	145.0	174.0	187.0	848.0	26684.0	94
High Vegetation	0.0	0.0	134.0	1787.0	0.0	2.0	4.0	0.0	1927.0	93
Soil Dark	0.0	0.0	20.0	0.0	10837.0	73.0	455.0	91.0	11476.0	94
Soil Light	0.0	0.0	101.0	1.0	196.0	8986.0	838.0	2.0	10124.0	89
Asphalt	0.0	0.0	17.0	0.0	4.0	7.0	97229.0	626.0	97883.0	99
Boats	6.0	168.0	224.0	15.0	80.0	22.0	757.0	48840.0	50112.0	97
sum	8663.0	15338.0	25666.0	1981.0	11262.0	9264.0	99473.0	50528.0	kappa:	97
UA (%)	100	99	98	90	96	97	98	97	OA:	98



Σχήμα 3.41 - Ορθοεικόνα πρώτου σκέλους της περιοχής μελέτης από Υπερφασματικά δεδομένα.



Σχήμα 3.42 - Χάρτης ταξινομημένης εικόνας Υπερφασματικού μωσαϊκού πρώτου σκέλους πτήσης με τη μέθοδο SVM.

Όσον αφορά την ποσοτική αξιολόγηση των υπόλοιπων ταξινομήσεων για το συγκεκριμένο Υπερφασματικό μωσαϊκό, εμφανίζονται παρόμοιες υψηλές ακρίβειες OA με εύρος 96% - 97% (Πίνακας 3.20, αντίστοιχα διαγράμματα στη σελ. 98 του Παραρτήματος).

Πίνακας 3.20 - Πίνακας OA συναρτήσει του ποσοστού δεδομένων εκπαίδευσης για όλες τις ταξινομήσεις του Υπερφασματικού μωσαϊκού (1) με τη μέθοδο SVM.

Training (%)	OA (%)
20	97
35	96
50	97
65	98
80	97

Ακολουθούν πίνακες PA και UA (Πίνακες 3.21, 3.22) για όλα τα ποσοστά εκπαίδευσης των δεδομένων αυτών, με τη μέθοδο SVM με διαθέσιμη όλη τη φασματική πληροφορία στην ταξινόμηση. Όλα τα ποσοστά παρουσιάζουν υψηλές ακρίβειες PA, UA  $\geq$  90%.

Πίνακας 3.21 - Πίνακας PA όλων των κατηγοριών για κάθε ποσοστό εκπαίδευσης των ταξινομήσεων του Υπερφασματικού μωσαϊκού (1) με τη μέθοδο SVM.

PRODUCER ACCURACY (%)					
Training (%)	20	35	50	65	80
Coastal Water	99	100	100	100	100
Port Water	98	99	100	99	100
Low Vegetation	96	93	95	94	97
High Vegetation	89	90	89	93	91
Soil Dark	86	82	96	94	85
Soil White	95	80	97	89	95
Asphalt	97	98	98	99	99
Boats	99	98	97	97	95

Πίνακας 3.22 - Πίνακας UA όλων των κατηγοριών για κάθε ποσοστό εκπαίδευσης των ταξινομήσεων του Υπερφασματικού μωσαϊκού (1) με τη μέθοδο SVM.

USER ACCURACY (%)								
Training (%)	Coastal Water	Port Water	Low Vegetation	High Vegetation	Soil Dark	Soil White	Asphalt	Boats
20	99	98	94	92	98	98	100	92
35	100	98	98	93	97	98	97	91
50	100	98	96	91	96	92	100	95
65	100	99	98	90	96	97	98	97
80	100	98	91	90	98	97	98	98

### Ταξινόμηση Υπερφασματικού Μωσαϊκού (2) με SVM

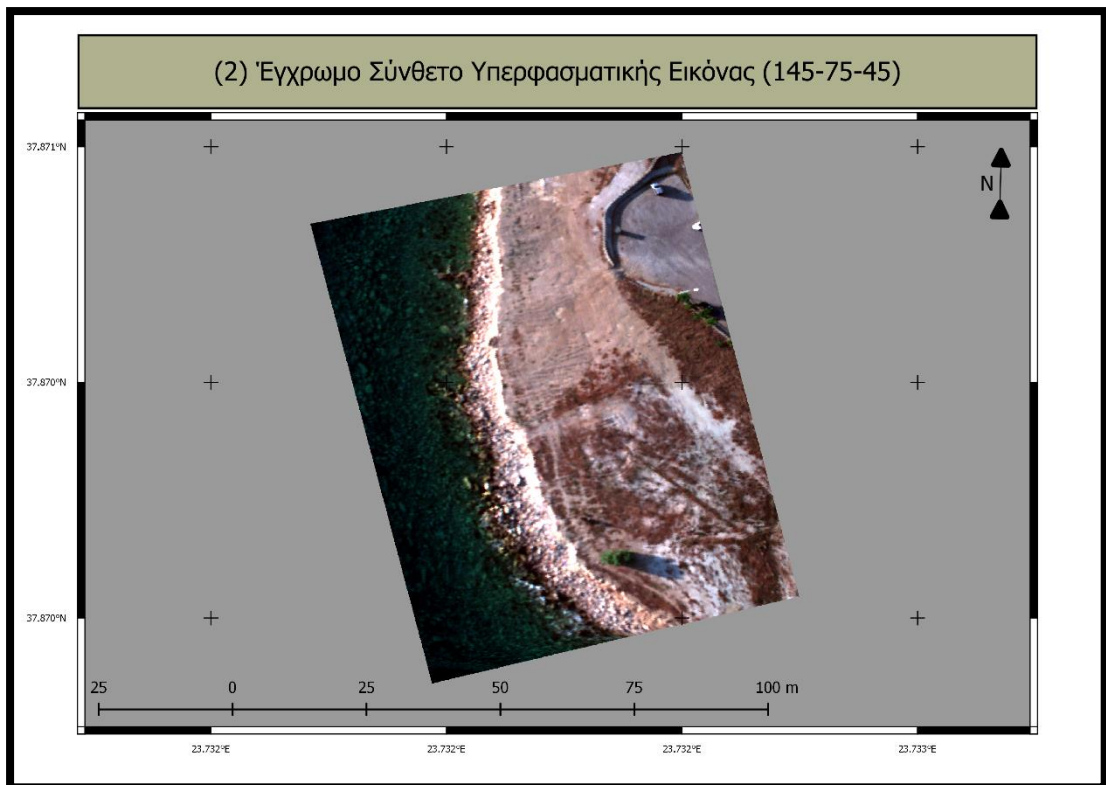
Ομοίως, στο δεύτερο σκέλος πτήσης με τον υπερφασματικό αισθητήρα η συνολική αξιολόγηση της ταξινόμησης εκφράζεται από το υψηλό ποσοστό *OA* το οποίο είναι της τάξης του 98%. Αξιολογώντας τον *confusion matrix* (Πίνακας 3.23), γίνεται αντιληπτός ο ακριβής διαχωρισμός όλων των κατηγοριών υψηλών με υψηλά ποσοστά *PA* ( $\geq 90\%$ ) και με ελάχιστο αριθμό *pixel* ταξινομημένα σε λανθασμένες κατηγορίες, το οποίο παρατηρείται στα υψηλά ποσοστά *UA* κάθε κατηγορίας ( $\geq 94\%$ ).

Στη συγκεκριμένη ταξινόμηση βέλτιστα αποτελέσματα προέκυψαν για ποσοστό δεδομένων εκπαίδευσης 50% και ελέγχου 50% (Σχήμα 3.44).

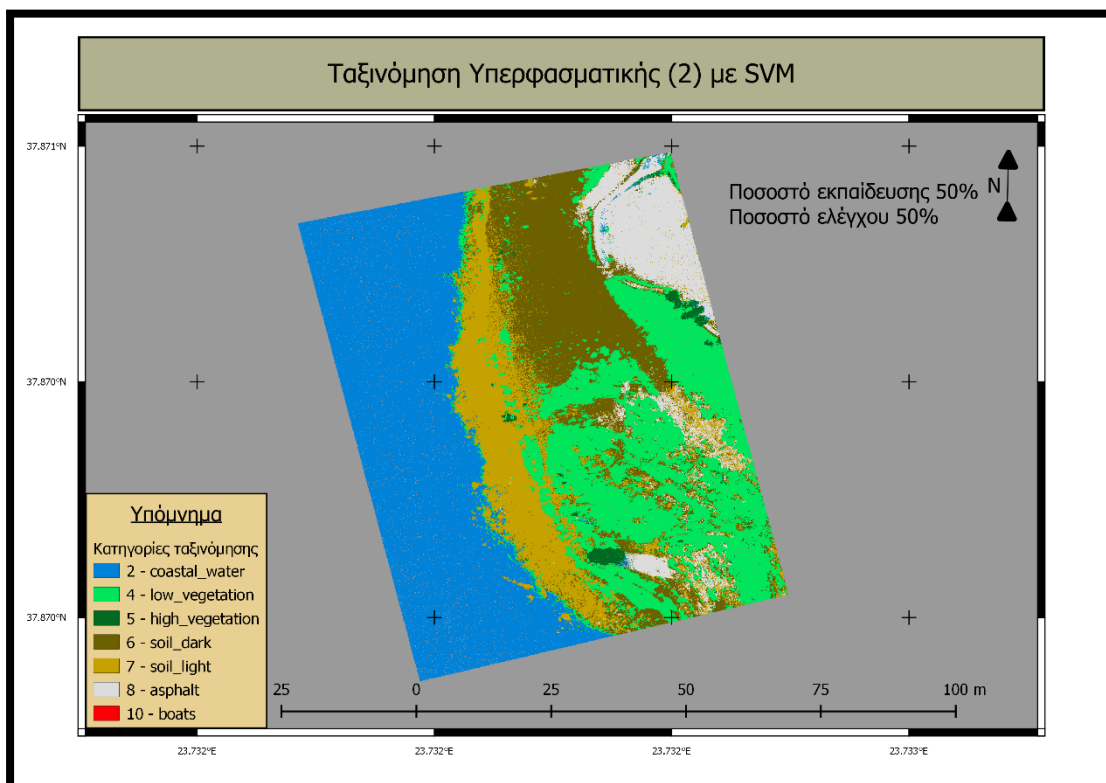
Πίνακας 3.23 - *Confusion matrix* αποτελεσμάτων ταξινόμησης δεύτερου σκέλους Υπερφασματικού μωσαϊκού με SVM.

	Coastal Water	Low Vegetation	High Vegetation	Soil Dark	Soil White	Asphalt	sum	PA (%)
Coastal Water	62898.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	62898.0	100
Low Vegetation	0.0	25434.0	56.0	139.0	86.0	9.0	25724.0	99
High Vegetation	4.0	88.0	1319.0	5.0	1.0	0.0	1417.0	93
Soil Dark	0.0	47.0	3.0	12989.0	509.0	1.0	13549.0	96
Soil Light	5.0	81.0	2.0	446.0	11255.0	919.0	12708.0	89
Asphalt	0.0	13.0	3.0	47.0	178.0	14775.0	15016.0	98
sum	62907.0	25663.0	1383.0	13626.0	12029.0	15704.0	kappa:	97
UA (%)	100	99	95	95	94	94	OA:	98





Σχήμα 3.43 - Ορθοεικόνα δεύτερου σκέλους της περιοχής μελέτης από Υπερφασματικά δεδομένα.



Σχήμα 3.44 - Χάρτης ταξινομημένης εικόνας Υπερφασματικού μωσαϊκού δεύτερου σκέλους πτήσης με τη μέθοδο SVM.

### 3 Ταξινόμηση Δεδομένων και Αξιολόγηση

Αξιολογώντας ποσοτικά το σύνολο των υπόλοιπων ταξινομήσεων για το δεύτερο σκέλος πτήσης, παρατηρούνται εξίσου υψηλές *OA* της τάξης 97% - 98% (Πίνακας 3.24). Στο σημείο αυτό, αξίζει να αναφερθεί ότι υπάρχουν ελάχιστες διαφοροποιήσεις στα ποσοστά των *OA* μεταβάλλοντας το ποσοστό εκπαίδευσης των δεδομένων. Αυτό πιθανώς οφείλεται στην υψηλή φασματική πληροφορία που προσφέρει ο Υπερφασματικός αισθητήρας, όταν χρησιμοποιούνται όλα τα διαθέσιμα φασματικά κανάλια σε διαδικασίες ταξινόμησης.

Πίνακας 3.24 - Πίνακας *OA* συναρτήσει του ποσοστού δεδομένων εκπαίδευσης για όλες τις ταξινομήσεις του Υπερφασματικού μωσαϊκού (2) με τη μέθοδο SVM.

Training (%)	OA (%)
20	97
35	97
50	98
65	98
80	97

Αναλύοντας, τις επιμέρους ακρίβειες *PA*, *UA* (διαγράμματα σελ. 99 Παράρτημα) παρατηρούνται υψηλά ποσοστά επιτυχίας σε όλες τις ταξινομήσεις που υλοποιήθηκαν (Πίνακες 3.25, 3.26).

Πίνακας 3.25 - Πίνακας *PA* όλων των κατηγοριών για κάθε ποσοστό εκπαίδευσης των ταξινομήσεων του Υπερφασματικού μωσαϊκού (2) με τη μέθοδο SVM.

PRODUCER ACCURACY (%)					
Training (%)	20	35	50	65	80
Coastal Water	100	100	100	100	100
Low Vegetation	99	99	99	99	100
High Vegetation	92	94	93	94	93
Soil Dark	92	89	96	94	83
Soil White	82	86	89	84	86
Asphalt	100	100	98	100	99

Πίνακας 3.26 - Πίνακας *UA* όλων των κατηγοριών για κάθε ποσοστό εκπαίδευσης των ταξινομήσεων του Υπερφασματικού μωσαϊκού (2) με τη μέθοδο SVM.

USER ACCURACY (%)						
Training (%)	Coastal Water	Low Vegetation	High Vegetation	Soil Dark	Soil White	Asphalt
20	100	99	98	98	93	85
35	100	99	88	99	90	89
50	100	99	95	95	94	94
65	100	99	93	99	93	88
80	100	92	98	99	94	91

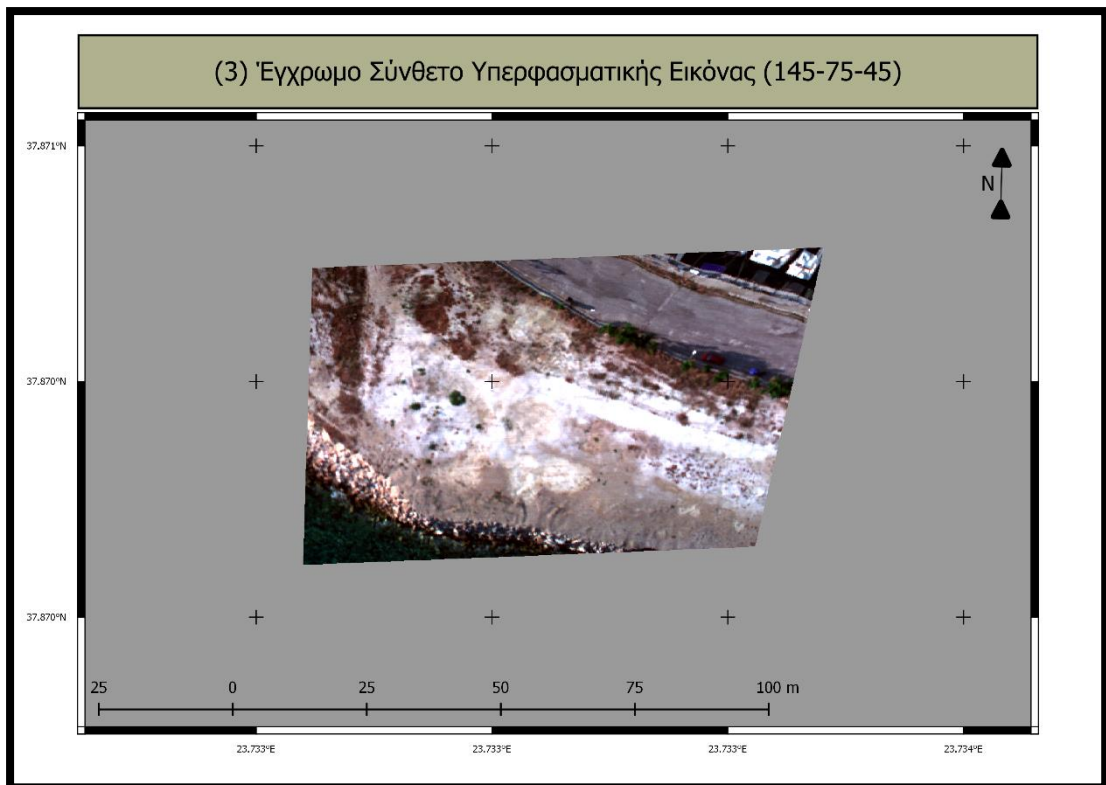
**Ταξινόμηση Υπερφασματικού Μωσαϊκού (3) με SVM**

Τέλος, και στο τρίτο υπερφασματικό μωσαϊκό η μέθοδος SVM παρουσίασε αξιοσημείωτα αποτελέσματα, με συνολική ακρίβεια ταξινόμησης OA στο 93%. Ακολουθεί ο *confusion matrix* με τα ποσοτικά αποτελέσματα της ταξινόμησης (Πίνακας 3.27). Οι περισσότερες κατηγορίες εμφανίζουν υψηλά ποσοστά PA ( $\geq 91\%$ ), με εξαίρεση τα *soil dark*, *soil light* και *boats* (87%, 86% και 57% αντίστοιχα). Με ποιοτική αξιολόγηση του χάρτη της ταξινομημένης εικόνας (Σχήμα 3.46), συμπεραίνεται ότι υπάρχει επιτυχημένος διαχωρισμός ανάμεσα στα δυο εδάφη (*soil dark* και *soil light*). Σφάλματα του αλγορίθμου εμφανίζονται σε μικρές περιοχές *soil dark*, *soil light* και *boats* όπου έχουν ταξινομηθεί στην κατηγορία *asphalt*. Τα σφάλματα αυτά, πιθανόν οφείλονται σε αδυναμία διαχωρισμού των υλικών *soil dark*, *soil light* και *asphalt* λόγω ομοιοτήτων στην φασματική πληροφορία. Όσον αφορά τα σφάλματα που προέρχονται από την κατηγορία *boats* ενδεχομένως οφείλονται στη μικρή διαθέσιμη περιοχή τους στην αρχική εικόνα (Σχήμα 3.45). Όλα τα παραπάνω αποτυπώνονται και στα υψηλά ποσοστά UA της κάθε κατηγορίας ( $\geq 91\%$  με εξαίρεση το *soil dark* στο 86%).

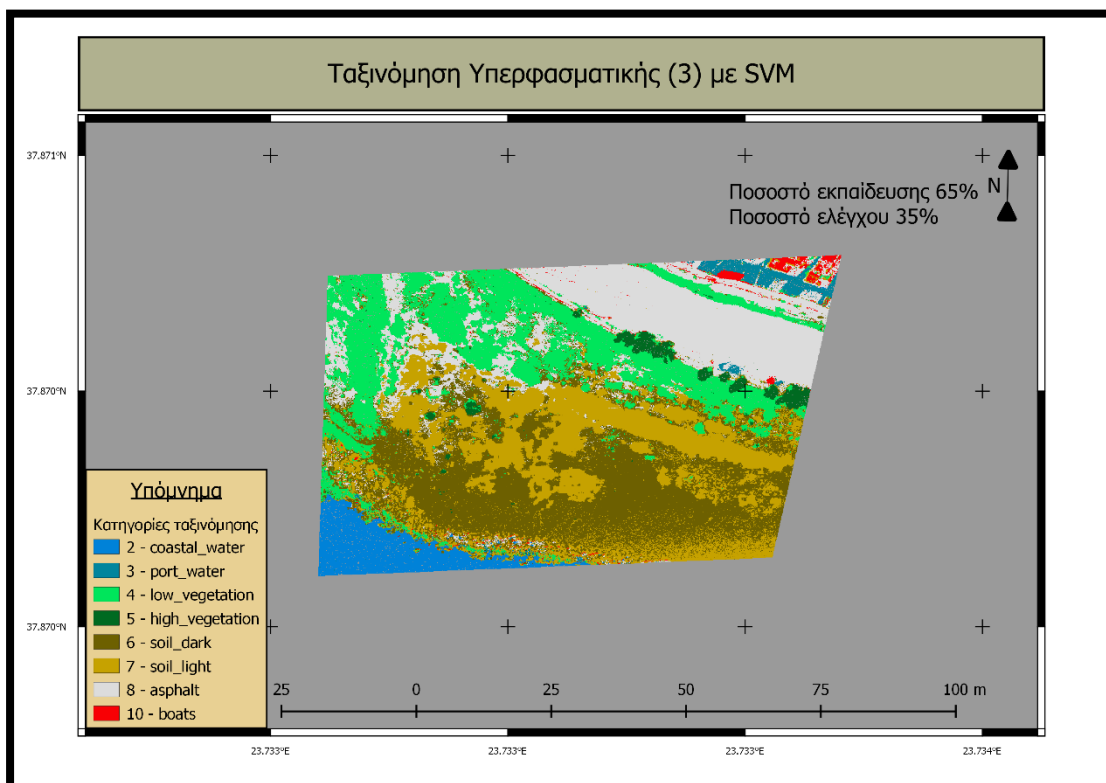
Στην ταξινόμηση του τρίτου υπερφασματικού μωσαϊκού εμφανίστηκαν βέλτιστα αποτελέσματα για ποσοστό δεδομένων εκπαίδευσης 65% και ελέγχου 35%.

Πίνακας 3.27 - *Confusion matrix* αποτελεσμάτων ταξινόμησης τρίτου σκέλους Υπερφασματικού μωσαϊκού με SVM.

	Coastal Water	Port Water	Low Vegetation	High Vegetation	Soil Dark	Soil White	Asphalt	Boats	sum	PA (%)
Coastal Water	6075.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6076.0	100
Port Water	3.0	878.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	882.0	100
Low Vegetation	0.0	0.0	12355.0	9.0	27.0	63.0	18.0	0.0	12472.0	99
High Vegetation	0.0	0.0	30.0	1833.0	8.0	1.0	0.0	0.0	1872.0	98
Soil Dark	0.0	0.0	96.0	3.0	13528.0	1522.0	468.0	0.0	15617.0	87
Soil Light	0.0	0.0	56.0	0.0	2231.0	17693.0	470.0	16.0	20466.0	86
Asphalt	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	3.0	25848.0	34.0	25886.0	100
Boats	0.0	5.0	75.0	0.0	10.0	208.0	607.0	1200.0	2105.0	57
sum	6078.0	884.0	12612.0	1845.0	15805.0	19490.0	27411.0	1251.0	kappa:	91
UA (%)	100	99	98	99	86	91	94	96	OA:	93



Σχήμα 3.45 - Ορθοεικόνα τρίτου σκέλους της περιοχής μελέτης από Υπερφασματικά δεδομένα.



Σχήμα 3.46 - Χάρτης ταξινομημένης εικόνας Υπερφασματικού μωσαϊκού τρίτου σκέλους πτήσης με τη μέθοδο SVM.

Τέλος, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των υπόλοιπων ταξινομήσεων του τελευταίου μωσαϊκού. Οι ΟΑ κυμαίνονται από 87% - 93% (Πίνακας 3.28, σελ. 100 Παράρτημα).

Πίνακας 3.28 - Πίνακας ΟΑ συναρτήσει του ποσοστού δεδομένων εκπαίδευσης για όλες τις ταξινομήσεις του Υπερφασματικού μωσαϊκού (3) με τη μέθοδο SVM.

Training (%)	OA (%)
20	93
35	91
50	87
65	93
80	89

Αναλύοντας τους πίνακες 3.29 και 3.30 παρατηρούνται εξίσου υψηλά ποσοστά με τα δυο προηγούμενα Υπερφασματικά μωσαϊκά. Οι κατηγορίες με σημαντικές μειώσεις για τη συνολική ακρίβεια είναι το *soil dark* και *boats*. Πιθανόν για το *soil dark* τα *pixel* που λήφθηκαν για την εκπαίδευση του αλγορίθμου σε ποσοστό 50% δεν επαρκούσαν για τον σαφή διαχωρισμό τους από τις άλλες κατηγορίες με αποτέλεσμα να παρατηρείται χαμηλή ακρίβεια PA (47% για ποσοστό 50%). Όσον αφορά τα *boats* οι χαμηλές τιμές στα PA έγκεινται στη μικρή περιοχή σκαφών στην αρχική εικόνα, συνεπώς και ελάχιστα *pixel* δεδομένα αναφοράς.

Πίνακας 3.29 - Πίνακας PA όλων των κατηγοριών για κάθε ποσοστό εκπαίδευσης των ταξινομήσεων του Υπερφασματικού μωσαϊκού (3) με τη μέθοδο SVM.

USER ACCURACY (%)								
Training (%)	Coastal Water	Port Water	Low Vegetation	High Vegetation	Soil Dark	Soil White	Asphalt	Boats
20	100	96	96	97	83	92	97	89
35	100	99	98	99	86	90	97	44
50	100	99	99	99	92	71	92	96
65	100	99	98	99	86	91	94	96
80	100	100	99	99	85	94	88	37

Πίνακας 3.30 - Πίνακας UA όλων των κατηγοριών για κάθε ποσοστό εκπαίδευσης των ταξινομήσεων του Υπερφασματικού μωσαϊκού (3) με τη μέθοδο SVM.

PRODUCER ACCURACY (%)					
Training (%)	20	35	50	65	80
Coastal Water	100	100	100	100	100
Port Water	99	99	99	100	100
Low Vegetation	99	99	98	99	98
High Vegetation	97	98	98	98	98
Soil Dark	90	86	47	87	86
Soil White	84	81	93	86	70
Asphalt	99	96	100	100	100
Boats	63	88	59	57	63

# 4

## Συμπεράσματα και Προοπτικές

Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την εκπόνηση της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας. Τα συμπεράσματα αυτά, διαχωρίζονται σε γενικά και ειδικά. Τα μεν γενικά αναφέρονται στη γενικότερη μεθοδολογία της εργασίας, της συλλογής χωρικής πληροφορίας μέσω συστημάτων *UAS* καθώς και επεξεργασίας των δεδομένων. Τα δε ειδικά συμπεράσματα, προκύπτουν από την αξιολόγηση της μεθοδολογίας των ταξινομήσεων που πραγματοποιήθηκαν στα παραπάνω δεδομένα.

### 4.1 Γενικά Συμπεράσματα

Αξιολογώντας τους στόχους και το αντικείμενο που παρουσιάστηκαν στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας, προκύπτει ότι εκπληρώθηκαν σε σημαντικό βαθμό σε όλα τα επίπεδα. Πιο συγκεκριμένα κρίθηκε αποτελεσματική σε μεγάλο βαθμό η νέα βάση σταθεροποίησης του Υπερφασματικού αισθητήρα που κατασκευάστηκε. Παρείχε υψηλή ακρίβεια διόρθωσης προσανατολισμού τόσο σε στατικές δοκιμές όσο και κατά τη διάρκεια των πτήσεων χαρτογράφησης. Με τη βάση αυτή, επετεύχθη διάρκεια πτήσεως 15 *min* και αποτύπωσης έκτασης περίπου 100 στρεμμάτων.

Με τον τρόπο αυτό, πραγματοποιήθηκε επιτυχής συλλογή Υπερφασματικών δεδομένων από πλατφόρμα *UAS*. Οι βέλτιστες προϋποθέσεις για τη λήψη τέτοιων δεδομένων προκύπτουν ως εξής:

- Ταχύτητα πτήσης: 4 *m/s*
- Ύψος πτήσης: 80 – 100 *m*
- Μεγάλα σκέλη χαρτογράφησης με τις στροφές της πλατφόρμας έξω από την περιοχή μελέτης

Ολοκληρώνοντας την εργασία αυτή, υλοποιήθηκε περαιτέρω βελτίωση της τεχνικής λήψης Υπερφασματικών δεδομένων, με την επιλογή *GPS Triggering* που δίνει το λογισμικό του Υπερφασματικού αισθητήρα. Η λειτουργία αυτή, επιτρέπει στον χρήστη να εισάγει πολύγωνο περιοχής μελέτης στο λογισμικό και να πραγματοποιείται η λήψη δεδομένων όταν η πλατφόρμα *UAS* βρίσκεται εντός. Έτσι απορρίπτεται υψηλός όγκος ανεπιθύμητων δεδομένων (διάρκεια από / προσγειώσεων της πλατφόρμας, στροφές κ.α.).

Στην ίδια περιοχή μελέτης, πραγματοποιήθηκε επιπρόσθετη πτήση, με ταυτόχρονη συλλογή *RGB*, πολυφασματικών και θερμικών δεδομένων. Με τον τρόπο αυτό, μειώνεται ο χρόνος παραμονής στο πεδίο και λαμβάνεται υψηλός όγκος τηλεπισκοπικών δεδομένων με τον ελάχιστο δυνατό χρόνο παραμονής στο πεδίο. Τα χαρακτηριστικά πτήσης, όπου κρίθηκαν τα βέλτιστα για το συγκεκριμένο σύστημα Πλατφόρμα – Αισθητήρες ήταν τα παρακάτω:

- Ταχύτητα πτήσης: 5 *m/s*
- Ύψος πτήσης: 80 – 100 *m*
- Επικάλυψη *Overlap*: 70% - *Sidelap*: 70%

Με βάση τα παραπάνω χαρακτηριστικά η συγκεκριμένη πλατφόρμα παρουσιάζει εκτιμώμενη διάρκεια πτήσης τα 20 λεπτά με έκταση χαρτογράφησης της τάξης των 150 στρεμμάτων.

Από τα υψηλής ανάλυσης δεδομένα του πολυφασματικού αισθητήρα *sequoia* παράχθηκαν: i) *RGB* ορθομωσαϊκό ανάλυσης 5 *cm/pixel*, ii) πολυφασματικό ορθομωσαϊκό (*G-R-Redge-NIR*) ανάλυσης 8 *cm/pixel* και iii) θερμικό μωσαϊκό ανάλυσης 5 *cm/pixel*. Στο *RGB* ορθομωσαϊκό, παρατηρήθηκαν γεωμετρικά σφάλματα, τα οποία προέρχονται από το *rolling shutter* του αισθητήρα, ενώ αντίστοιχα σφάλματα εντοπίστηκαν και στο θερμικό μωσαϊκό, ενδεχομένως λόγω του ευρυγώνιου φακού του αισθητήρα. Από τα υπερφασματικά δεδομένα εξήχθησαν τρία μωσαϊκά της περιοχής μελέτης, ένα για κάθε σκέλος πτήσης, με υψηλή φασματική πληροφορία 328 καναλιών στο τμήμα φάσματος από ορατό έως *NIR*. Δυσκολίες στον εν λόγω δεδομένα εντοπίστηκαν αφενός στη διαχείριση τους λόγω του τεράστιου όγκου, αφετέρου στην προεπεξεργασία τους από το λογισμικό της εταιρείας.

Κατά τη διαδικασία της αντιστοίχισης των δεδομένων, το *RGB* και τα πολυφασματικά δεδομένα γεωναφέρθηκαν με σφάλματα 3 *cm* και 4 *cm* αντίστοιχα. Το θερμικό μωσαϊκό καθώς και τα υπερφασματικά δεδομένα που αντιστοιχίστηκαν στο *dataset* της πολυφασματικής εικόνας υλοποιήθηκε με σφάλματα: i) 5 *pixel* για το θερμικό μωσαϊκό, ii) 3 *pixel* για το υπερφασματικό σκέλος (1), iii) 6 *pixel* για το υπερφασματικό σκέλος (2), iv) 4 *pixel* για το υπερφασματικό σκέλος (3).

Η υλοποίηση των ενδεικτικών ταξινομήσεων έγινε με δύο τρόπους. Αρχικά στο ελεύθερο λογισμικό *QGIS* με το *plug-in Semi Automatic Classification*. Λόγω του υψηλού όγκου των υπερφασματικών δεδομένων προσεγγίστηκε και ταξινόμηση μέσω κώδικα της γλώσσας *Python* με χρήση των Μηχανών Διανυσμάτων Υποστήριξης με μείωσης διάστασης δεδομένων (*PCA*) αλλά και χωρίς, με όλη τη διαθέσιμη φασματική πληροφορία.

Στο *QGIS* έγιναν ταξινομήσεις στο πολυφασματικό ορθομωσαϊκό, καθώς και σε ένα νέο *raster* το οποίο αποτελούταν από τη σύνθεση των πολυφασματικών δεδομένων με τη θερμική πληροφορία, όπως επίσης και σε όλα τα υπερφασματικά δεδομένα. Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι στα πολυφασματικά δεδομένα και στο νέο *raster* χρησιμοποιήθηκε το σύνολο των δεδομένων εκπαίδευσης / ελέγχου που δημιουργήθηκε, ενώ στα υπερφασματικά δεδομένα

λόγω όγκου και απαιτούμενης υπολογιστικής ισχύς οι ταξινομήσεις πραγματοποιήθηκαν με ένα μικρό υποσύνολο δεδομένων αναφοράς από αυτό που χρησιμοποιήθηκε στα πολυφασματικά.

Αντίστοιχα μέσω της γλώσσας *Python* υλοποιήθηκε ταξινόμηση όλων των υπερφασματικών δεδομένων με δυο μεθόδους. Η πρώτη έγινε με *SVM* μετά από μείωση διαστάσεων με τη μέθοδο κύριων συνιστωσών (10 κύριες συνιστώσες που εκφράζουν το 99.8 της μεταβλητότητας των δεδομένων) και η δεύτερη με τη χρήση *SVM* χωρίς μείωση διαστάσεων αλλά στο σύνολο της διαθέσιμης φασματικής πληροφορίας.

#### 4.2 Ειδικά Συμπεράσματα

Ως ειδικά συμπεράσματα, θα αναφερθούν εκείνα τα οποία προέκυψαν από τις διαδικασίες ταξινόμησης των δεδομένων που συλλέχθηκαν από *UAS*. Από τις διαδικασίες αυτές, συμπεραίνεται ότι οι αλγόριθμοι το *QGIS* λειτούργησαν αποτελεσματικά σε όλα τα δεδομένα. Η συνολική αξιολόγηση των ταξινομήσεων αυτών εκφράζεται από τα υψηλά ποσοστά *OA* που προέκυψαν. Συγκεκριμένα, το Πολυφασματικό ορθομωσαϊκό ταξινομήθηκε με *OA* 77%, η σύνθεση Πολυφασματικού με το Θερμικό βελτίωσε το ποσοστό ταξινόμησης σε 88%, που σημαίνει ότι η θερμική πληροφορία εμπλούτισε τις διαφοροποιήσεις ανάμεσα στα υλικά που παρουσιάζουν έντονη διακύμανση στο θερμικό φάσμα. Στα υπερφασματικά δεδομένα οι αλγόριθμοι του *QGIS* απέδωσαν ποσοστά 99%, 97% και 90% για το πρώτο, δεύτερο και τρίτο σκέλος πτήσης αντίστοιχα, παρόλο το μικρό υποσύνολο του *ground truth* που χρησιμοποιήθηκε ως δεδομένα αναφοράς.

Όσον αφορά τις ταξινομήσεις με *SVM* στη γλώσσα *Python* παρουσίασαν αποτελέσματα ιδιαίτερα υψηλής ακρίβειας. Αρχικά οι ταξινομήσεις που υλοποιήθηκαν έπειτα από μείωση διαστάσεων στις 10 κύριες συνιστώσες έδωσαν ολική ακρίβεια ίση με 82%, 96% και 87% στα αντίστοιχα σκέλη χαρτογράφησης. Παρόλα τα υψηλά ποσοστά συνολικής ακρίβειας, οι ταξινομήσεις αυτές εμφάνισαν σφάλματα με χαμηλά ποσοστά στις επιμέρους ακρίβειες *PA*, *UA* σε ορισμένες κατηγορίες. Τα ποσοστά αυτά, παρατηρούνται και κατά την οπτικοποίηση των χαρτών με τις ταξινομημένες εικόνες. Πιθανόν η μέθοδος *PCA* που χρησιμοποιήθηκε δεν κρίθηκε αποτελεσματική στον ακριβή διαχωρισμό των κατηγοριών που ορίστηκαν στη συγκεκριμένη περιοχή μελέτης και τα συγκεκριμένα δεδομένα.

Οι ταξινομήσεις των δεδομένων με τη μέθοδο *SVM* χωρίς τη μείωση διάστασης των δεδομένων παρουσίασαν σημαντικά βελτιωμένα αποτελέσματα σε όλες τις επιμέρους ταξινομήσεις. Πιο συγκεκριμένα οι ταξινομήσεις αυτές, διακρίνονται από τα υψηλά ποσοστά *OA*, 98%, 98% και 93% για τα τρία υπερφασματικά μωσαϊκά. Ελάχιστα σφάλματα παρατηρούνται έπειτα από ποσοτική αξιολόγηση του *confusion matrix* των ταξινομήσεων αλλά και ποιοτική αξιολόγηση



των χαρτών με τα αποτελέσματα της ταξινόμησης. Όλες σχεδόν οι κατηγορίες ταξινομούνται με ακρίβεια, το οποίο εκφράζεται και από τα υψηλά ποσοστά *PA*, *UA* των ταξινόμησεων.

Κλείνοντας, αξίζει να αναφερθεί ότι όλα τα τηλεπισκοπικά δεδομένα που λήφθηκαν παρουσιάζουν υψηλή χωρική διακριτικότητα στο *pixel* και οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία βασίστηκαν κυρίως σε *pixel – based* τεχνικές ταξινόμησεων. Ενδεχομένως μια *object – based* τεχνική στα δεδομένα αυτά να απέδιδε αποτελεσματικότερα, τόσο σε επίπεδο ακρίβειας αποτελεσμάτων όσο και σε επίπεδο χρονικής επεξεργασίας. Παρόλα αυτά, η εργασία αυτή είχε ως στόχο την ενδεικτική ταξινόμηση των δεδομένων αυτών, με βασικές μεθόδους ταξινόμησης για να μελετηθεί και αξιολογηθεί η μεθοδολογία της απόκτησης τηλεπισκοπικών δεδομένων από πλατφόρμα *UAS*.

### 4.3 Προτάσεις για μελλοντική εργασία

Στο σημείο αυτό, θα αναφερθούν προτάσεις για μελλοντική εργασία, ως συνέχεια της συγκεκριμένης μελέτης. Το αντικείμενο που ερευνήθηκε αποτελεί ενδιαφέρον τομέα της Μηχανικής και των μεθόδων χαρτογραφίσεων με πλούσιο έδαφος για ανάπτυξη νέων συστημάτων και εφαρμογών που θα προσφέρουν σημαντικά εργαλεία για την ανάπτυξη νέων μεθοδολογιών σε εφαρμογές Τηλεπισκόπησης.

Αρχικά κρίνεται απαραίτητο να συνεχιστούν οι πτήσεις χαρτογράφησης με πλατφόρμες *UAS*, με σκοπό τη συλλογή νέων τηλεπισκοπικών δεδομένων από την πλειονότητα των διαθέσιμων αισθητήρων. Έπειτα, θεωρείται σκόπιμη η ανάπτυξη Μη Επανδρωμένου Εναέριου Αεροσκάφους και προσαρμογή όλων των αισθητήρων σε αυτό, με σκοπό τη μεγαλύτερη διάρκεια πτήσεων και την πολλαπλάσια έκταση χαρτογραφούμενης περιοχής. Χρήζουν επιπρόσθετης ανάπτυξης αλγόριθμοι και μεθοδολογία βελτιστοποίησης και αυτοματοποίησης παραγωγής ορθομωσαϊκών για *dataset* πολυφασματικών – υπερφασματικών δεδομένων.

Τέλος, προτείνεται η ανάπτυξη μεθόδων πρόσθετων ταξινόμησεων, τόσο σε επίπεδο λογισμικών *GIS* (*QGIS*, *ArcGis*) όσο και κώδικα μέσω της γλώσσας *Python* αλλά και της γλώσσας *R*. Πιο συγκεκριμένα η *R* είναι μια ραγδαία εξελισσόμενη γλώσσα, η οποία έχει αναπτυχθεί με σκοπό τη στατιστική ανάλυση, διαχείριση *Big Data* αλλά και τη διαχείριση και επεξεργασία χωρικών δεδομένων. Υπάρχουν πολυάριθμες βιβλιοθήκες υποστήριξης για την επεξεργασία διανυσματικών και *raster* δεδομένων. Έχουν αναπτυχθεί επίσης βιβλιοθήκες για διάφορες μεθόδους ταξινόμησης εικόνων, βασισμένες τόσο σε επίπεδο εικονοστοιχείων όσο και σε επίπεδο αντικειμενοστραφών τεχνικών. Λόγω των πολυάριθμων μεθοδολογιών και αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την παρούσα διπλωματική εργασία, θα ήταν ενδιαφέρουσα η σύγκριση όλων των παραπάνω δεδομένων με αποτελέσματα ταξινόμησεων από τη γλώσσα *R*.

## Βιβλιογραφία

### Ελληνική βιβλιογραφία

1. Αγιουτάντης, Ζ. Γ. και Μερτίκας, Σ. Π. (2003). Ένας πρακτικός οδηγός για τη Συγγραφή Τεχνικών Κειμένων, Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα.
2. Αργιαλάς, Δ. (1998). Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
3. Ζερβός, Π. (2014). Θερμική καταγραφή εισροής υδάτων στο τεχνητό φράγμα Ποταμών, Ρεθύμνου με πρότυπο μη επανδρωμένο εναέριο όχημα, Διπλωματική Εργασία στη σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
4. Καρακίζη, Χ. (2015). Εντοπισμός αμπελοτεμαχίων, εξαγωγή γραμμών φύτευσης, και διαχωρισμός ποικιλιών αμπέλου σε δορυφορικά δεδομένα πολύ υψηλής ανάλυσης, Διπλωματική Εργασία στον τομέα Τοπογραφίας της Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π.
5. Καρτάλης, Κ. και Φείδας, Χ. (2006). Αρχές και εφαρμογές Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης, Εκδόσεις Β. Γκιούρδας, Αθήνα.
6. Κοντόπουλος, Χ. (2015). Τεχνικές βαθιάς μηχανικής μάθησης και Συνελικτικά Νευρωνικά Δίκτυα για την ταξινόμηση υπερφασματικών δεδομένων, Διπλωματική Εργασία στον τομέα Τοπογραφίας της Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π.
7. Λασπιάς, Ε. (2012). Επιβλεπόμενη & Μη Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση Πολυφασματικών Εικόνων Τηλεπισκόπησης και Θεματικές Εφαρμογές τους στον Ελλαδικό Χώρο: ανάπτυξη σε περιβάλλον Wiki, Διπλωματική Εργασία στον τομέα Τοπογραφίας της Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π.
8. Μερτίκας, Σ.Π. (2009). Τηλεπισκόπηση και Ψηφιακή Ανάλυση Εικόνας, Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα.
9. Οικονόμου, Μ. (2014). Ανάλυση, συσχέτιση και αξιολόγηση τηλεπισκοπικών δεδομένων, από δορυφόρους, μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα και φασματοραδιόμετρα πεδίου, με εφαρμογές στην γεωργία ακριβείας, Διπλωματική Εργασία στον τομέα Τοπογραφίας της Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π.

### Διεθνής βιβλιογραφία

1. Bareth, G., Aasen, H., Bendig, J., Gnyp, M., Bolten, A., Jung, A., Michels, R., Soukkamaki, J. (2015). Low-weight and UAV-based hyperspectral full-frame cameras for monitoring Crops: Spectral Comparison with Portable Spectroradiometer Measurements Easy and UAV-borne hyperspectral, imaging cameras for monitoring of agricultural plant canopies: spectral comparison with a portable field spectrometer, Vol 2015, No 1, pp. 69-79.

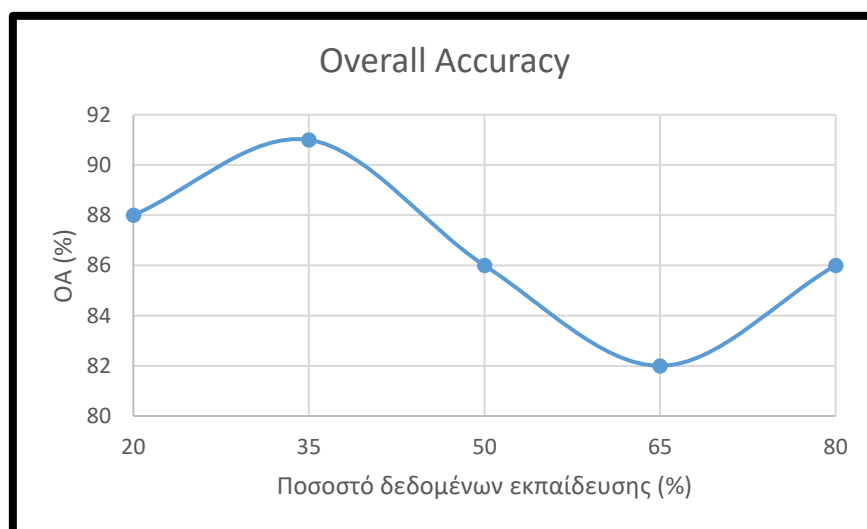
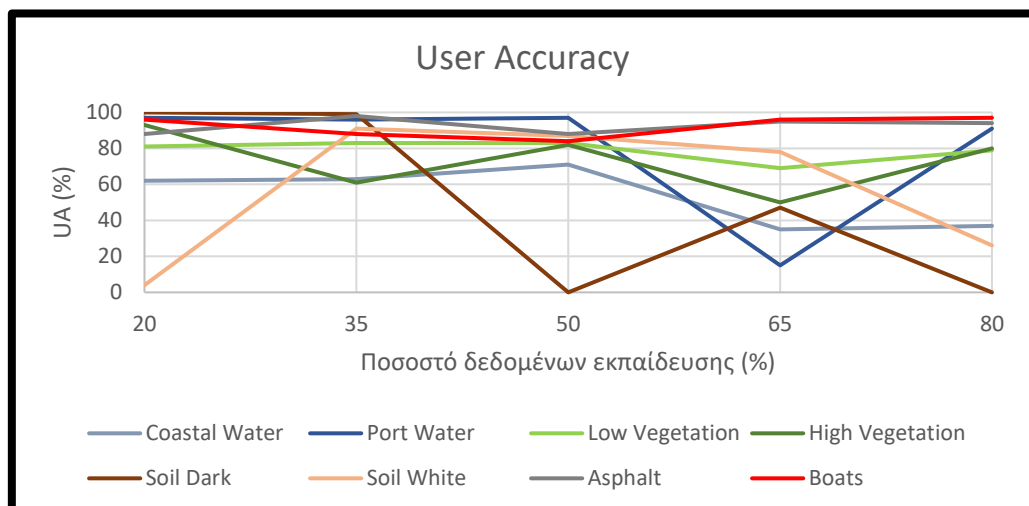
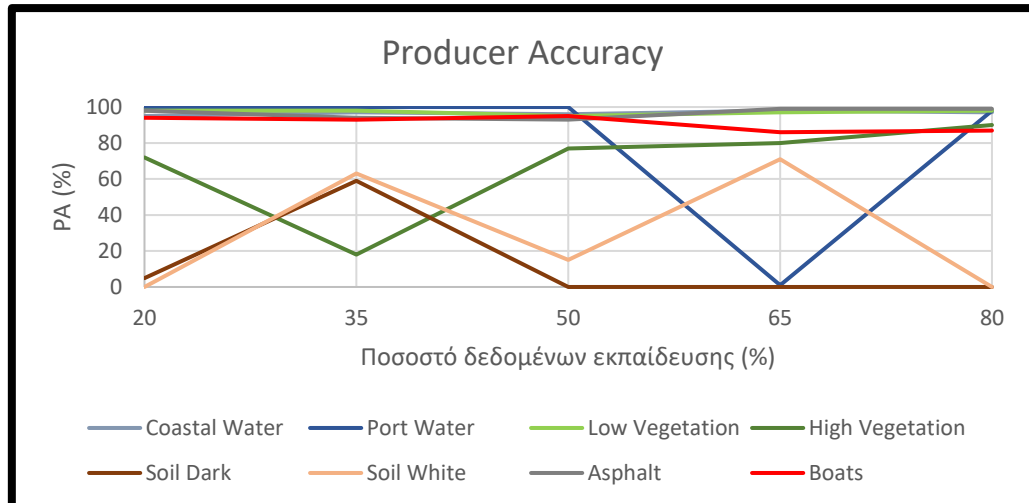
2. Ben-Dor, E., Chabrilat, S., Dematte, J.A.M., Taylor, G.R., Hill, J., Whiting, M.L., Sommer, S. (2009). Using Imaging Spectroscopy to study soil properties. *Remote Sensing Environment* 113, S38-S55.
3. Castaldi, F., Palombo, A., Santini, F., Pascucci, S., Pignatti, S., Casa, R. (2016). Evaluation of the potential of the current and forthcoming multispectral and hyperspectral imagers to estimate soil texture and organic carbon. *Remote Sensing of Environment* 179, 54-65.
4. Duan, S., Li, Z., Wu, H., Tang, B., Ma, L., Zhao, E., Li, C. (2014). Inversion of the PROSAIL model to estimate leaf area index of maize, potato, and sunflower fields from unmanned aerial vehicle hyperspectral data, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* Vol 26, 12-20.
5. Eisele, A., Chabrilat, S., Hecker, C., Hewson, R., Lau, I., Rogass, C., Segl, K., Cudahy, T., Udelhoven, T., Hostert, P., Kaufmann, H. (2015). Advantages using the thermal infrared (TIR) to detect and quantify semi-arid soil properties. *Remote Sensing of Environment* 163, 296-311.
6. Gomez, C., Viscarra Rossel, R., McBratney, A. (2008). Soil organic carbon prediction by hyperspectral remote sensing and field vis-NIR spectroscopy: An Australian case study. *Geoderma* 146, 403-411.
7. Guimaraes, R., Lamande, M., Munkholm, L., Ball, B., Keller, T. (2017). Opportunities and future directions for visual soil evaluation methods in soil structure research. *Soil & Tillage Research* 173, 104-113.
8. Kalisperakis, I., Stentoumis, Ch., Grammatikopoulos, L., Karantzas, K. (2015). Leaf Area Index estimation in vineyards from UAV Hyperspectral data, 2D image Mosaics and 3D canopy surface models, *International Conference on Unmanned Aerial Vehicles in Geomatics*, Vol. XL, Iss. 1, : 299-303, Toronto, Canada.
9. Kandykakis, Z., Karantzas, K. (2016). Precision viticulture from multitemporal, multispectral very high resolution satellite data, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XLI-B8, XXIII ISPRS Congress, Prague, Czech.
10. Karakizi C., Karantzas K., Kandykakis Z., Makris G., Georgopoulos A., 2013. Vineyard Detection and Vine Variety Discrimination from high resolution Satellite Data, 9th European Conference on Precision Agriculture, Lleida, Spain.
11. Karakizi, C. & Karantzas, K., 2015. Detecting and classifying vine varieties from very high resolution multispectral data, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Society, the International Geoscience and Remote Sensing Symposium 2015 (IGARSS 2015)*, Milan, Italy.

12. Karantzas, K., Argialas, D., 2009. A Region-based Level Set Segmentation for Automatic Detection of Man-made Objects from Aerial and Satellite Images, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 75, No. 6, pp. 667–677.
13. Karantzas, K., Paragios, N., 2010. Large-Scale Building Reconstruction Through Information Fusion and 3-D Priors, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote*, vol. 48, No. 5, pp. 2283–2296.
14. Masahiko, N., Chen, T., Ahmed, A., Shibasaki, R. (2008). UAV borne mapping by multi sensor integration, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVII. Part B1., ISPRS Congress, Beijing, China.
15. Mitchell, J., Glenn, N., Anderson, M., Hruska, R., Halford, A., Baun, C., Nydegger, N. (2012). Unmanned aerial vehicle (UAV) hyperspectral remote sensing for dryland vegetation monitoring, 2 4<sup>th</sup> Workshop on Hyperspectral Image and Signal Processing: Evolution in Remote Sensing (WHISPERS), 6874315, Shanghai, China.
16. Mulder, V.L., Bruin, S., Schaepman, M.E., Mayr, T.R. (2011). The use of remote sensing in soil and terrain mapping – A review. *Geoderma* 162, 1-19.
17. Paz-Kagan, T., Shachak, M., Zaady, E., Karnieli, A. (2014). A spectral soil quality index (SSQI) for characterizing soil function in areas of changed land use. *Geoderma* 230-231, 171-184.
18. Sorenson, P.T., Quideau, S.A., Rivard, B. (2018). High resolution measurement of soil organic carbon and total nitrogen with laboratory imaging spectroscopy. *Geoderma* 315, 170-177.
19. Stefanakis, D., Hatzopoulos, J. N., Margaris, N. and Danalatos, N. (2013). Creation of a Remote Sensing Unmanned Aerial System (UAS) for Precision Agriculture and Related Mapping Applications, *Proc. ASPRS Annual Conference*, Baltimore, Maryland.
20. Vagen, T., Winowiecki, L., Abegaz, A., Hadgu, K. (2013). Landsat-based approaches for mapping of land degradation prevalence and soil functional properties in Ethiopia. *Remote Sensing of Environment* 134, 266-275.
21. Zientara, P., Choi, J., Sampson, J., Narayanan, V. (2018). Drones as collaborative sensors for image recognition, *IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, Las Vegas, NV, USA.

## Παράρτημα

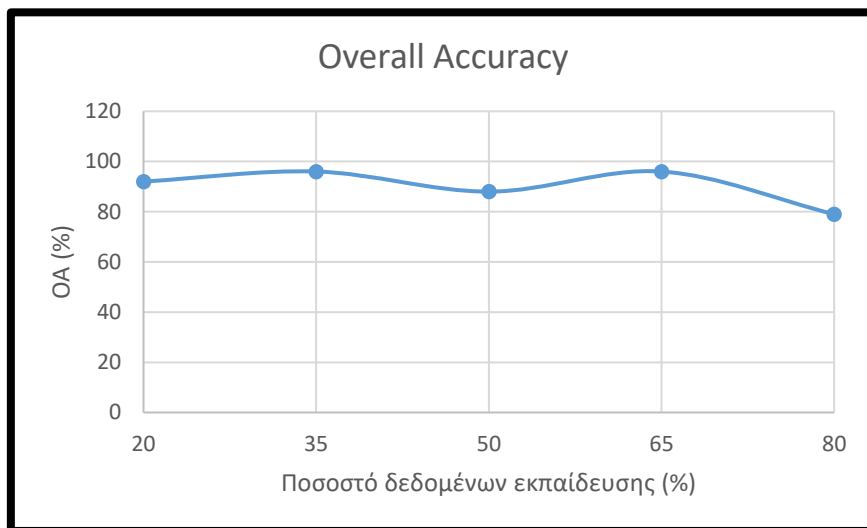
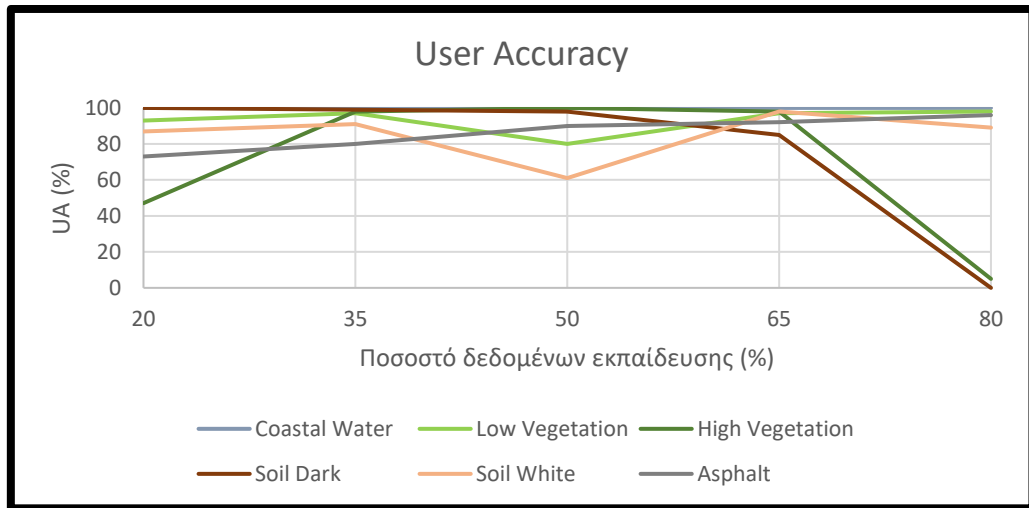
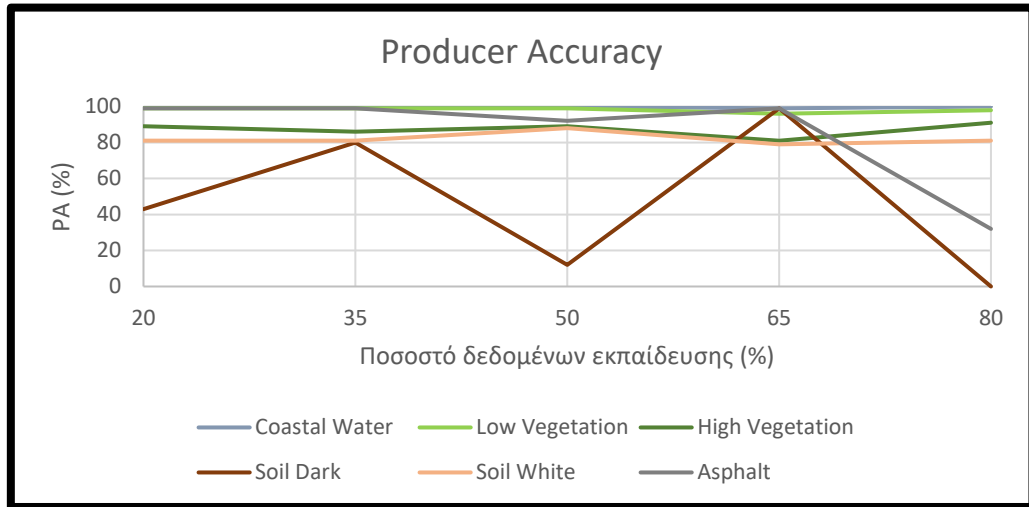
➤ Από παράγραφο 3.4.2

*Hyper (1) – SVM με PCA*



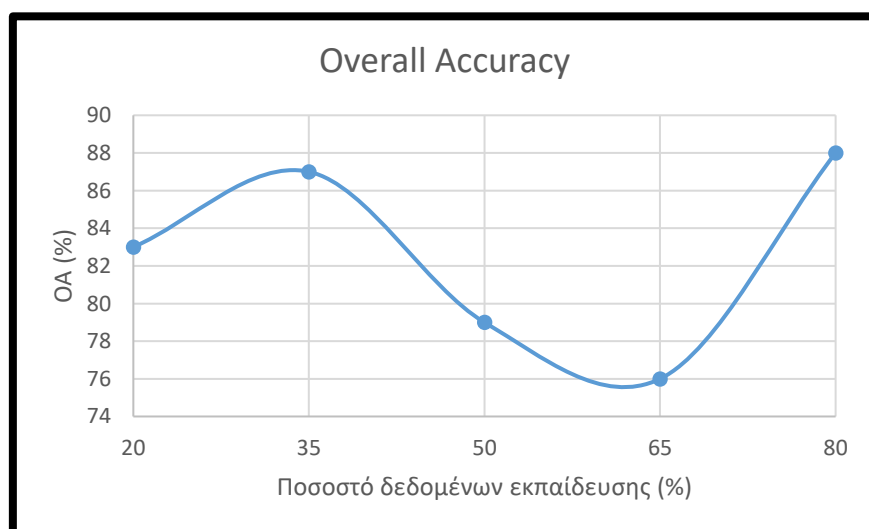
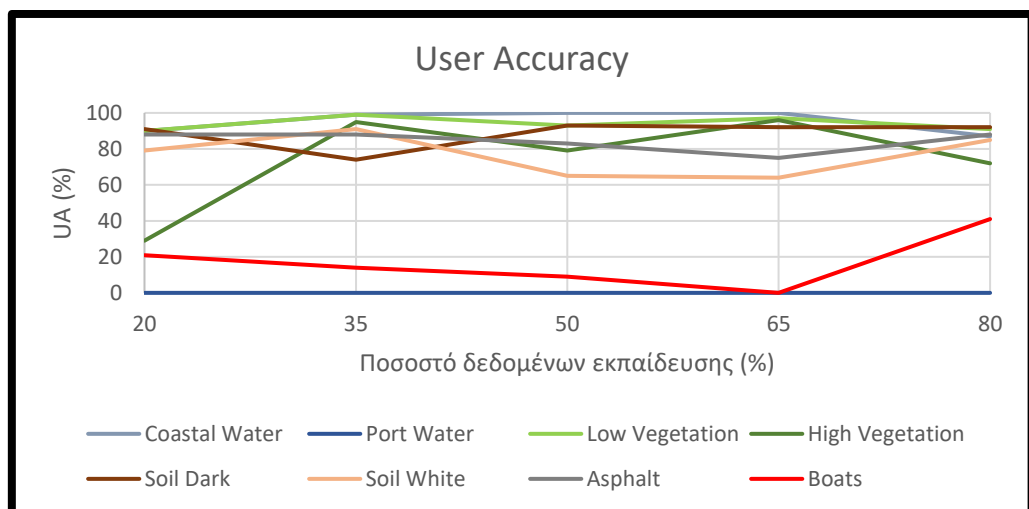
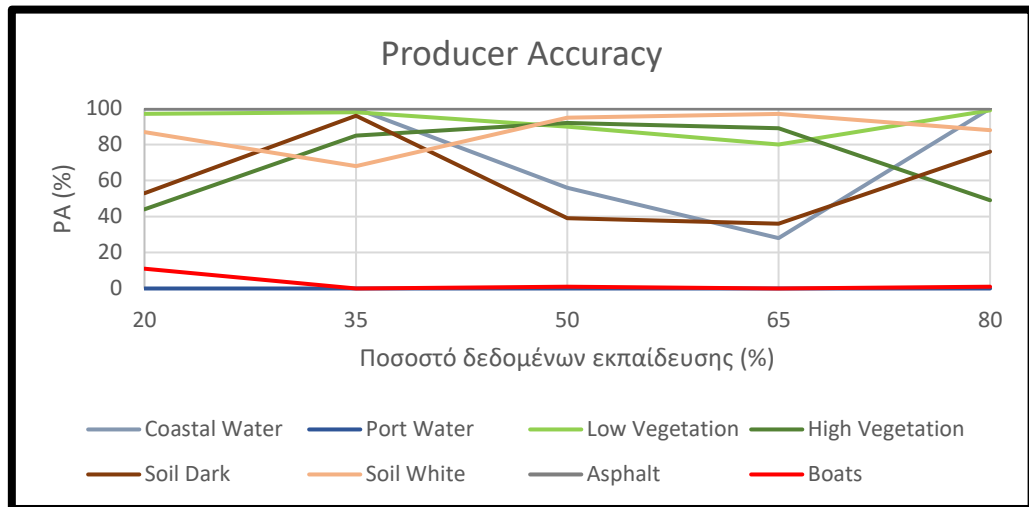
➤ Από παράγραφο 3.4.2

**Hyper (2) – SVM με PCA**



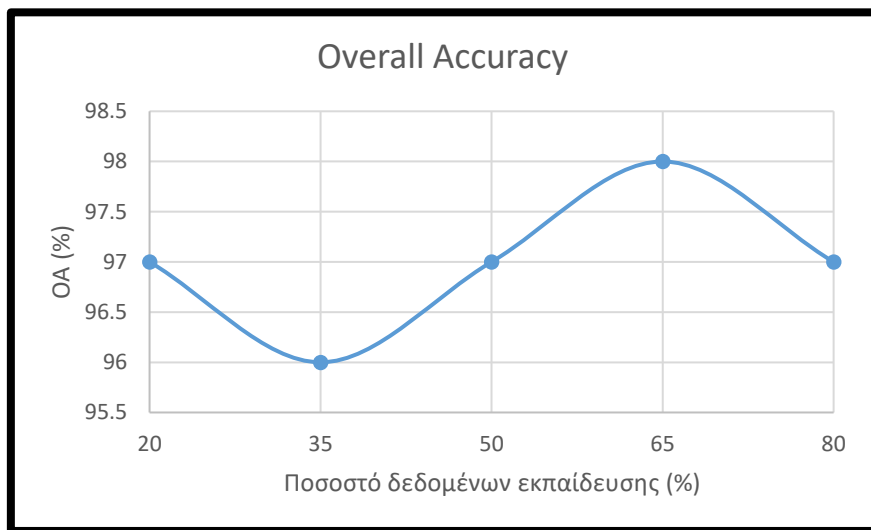
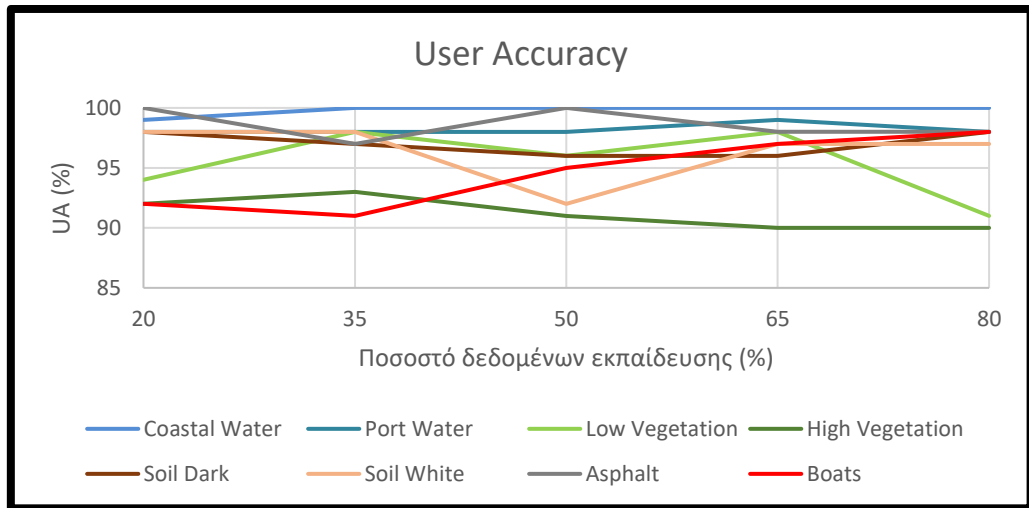
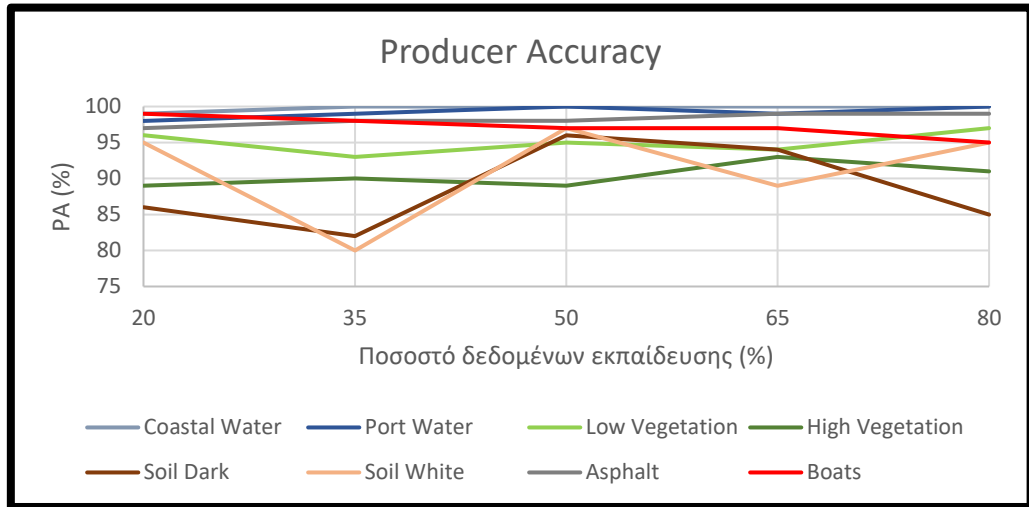
➤ Από παράγραφο 3.4.2

**Hyper (3) – SVM με PCA**



➤ Από παράγραφο 3.4.3

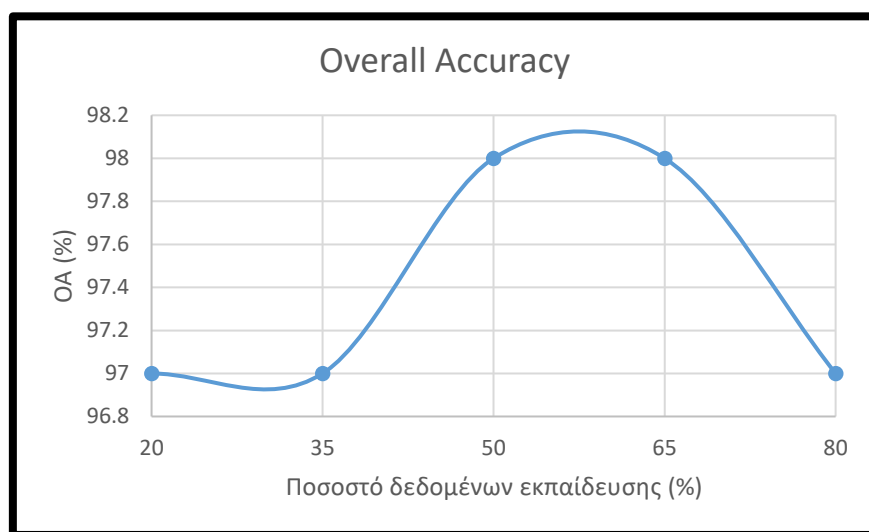
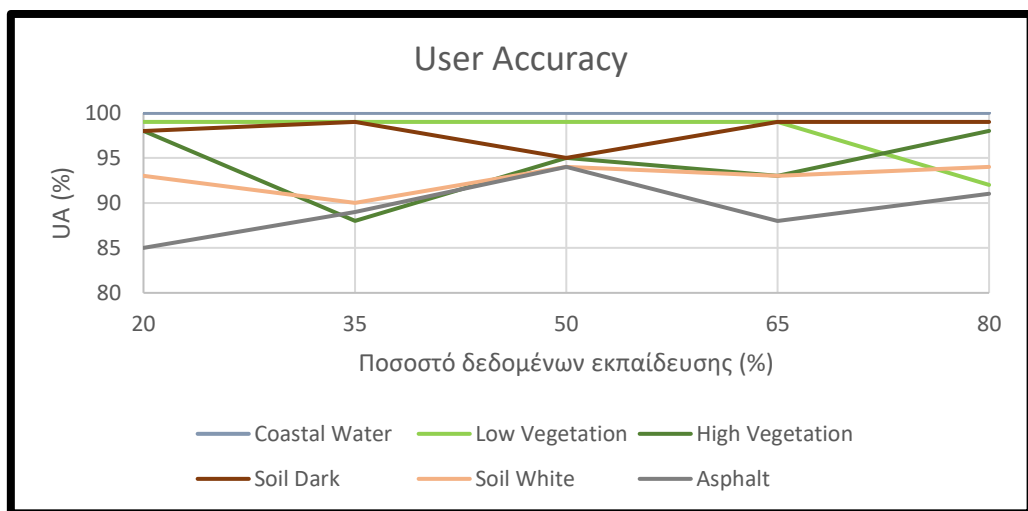
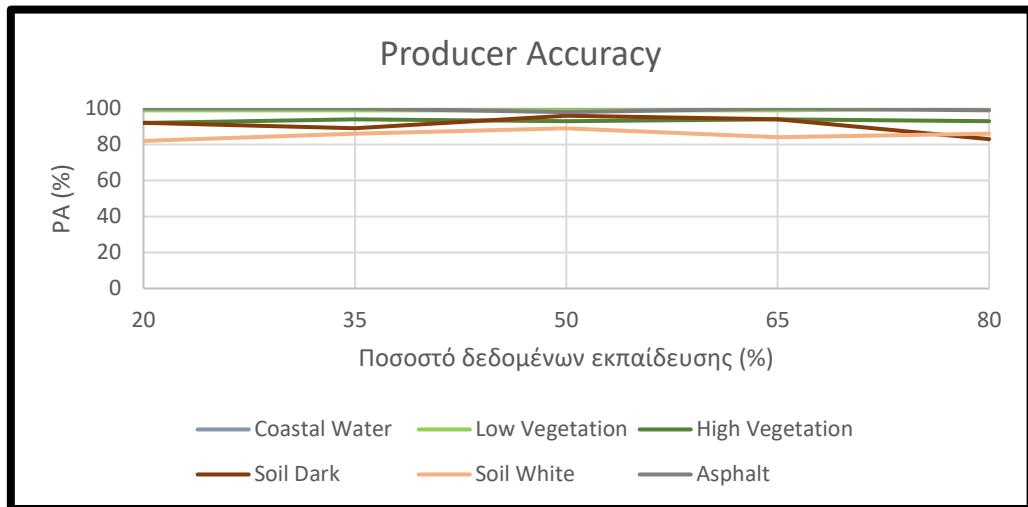
**Hyper (1) – SVM χωρίς PCA**





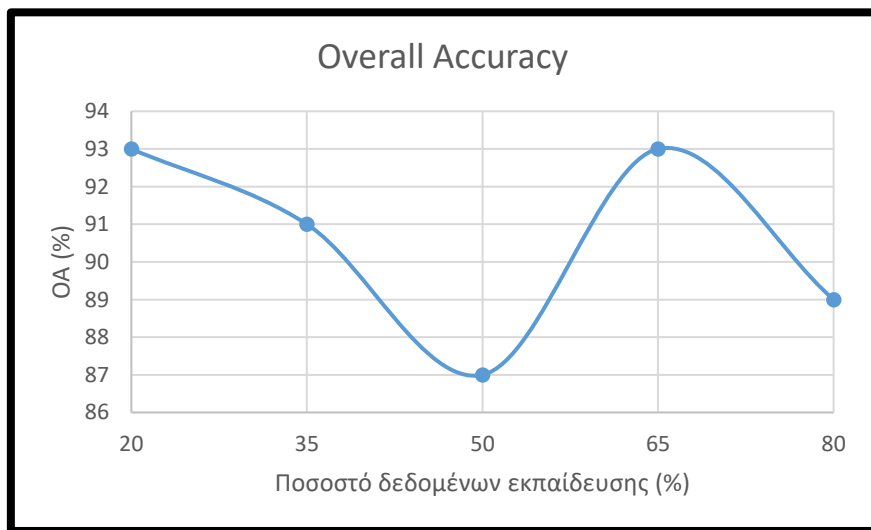
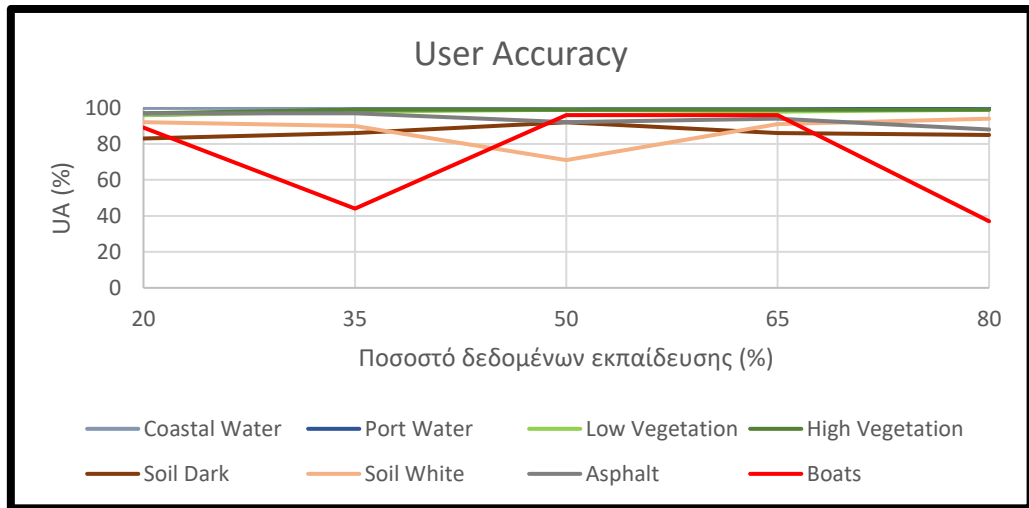
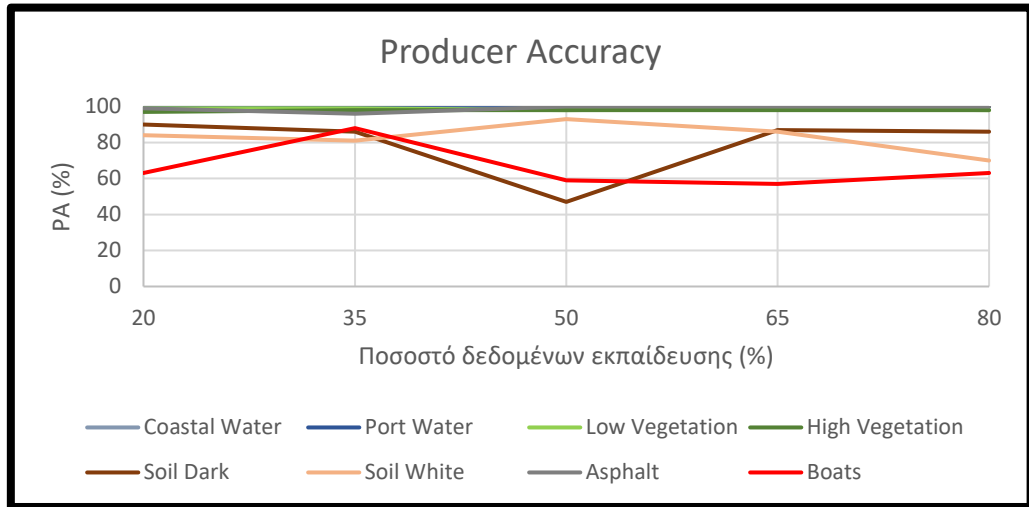
➤ Από παράγραφο 3.4.3

**Hyper (2) – SVM χωρίς PCA**



➤ Από παράγραφο 3.4.3

**Hyper (3) – SVM χωρίς PCA**



## Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1.1 - Εικόνα Αεροσκάφους UAS της εταιρείας UCANDRONE IKE. ....	6
Σχήμα 1.2 - Εικόνα Πολυκοπτήρου UAS της εταιρείας DJI. ....	6
Σχήμα 1.3 - Εικόνα Ελικοπτήρου UAS της εταιρείας Velos Rotors LLC. ....	6
Σχήμα 2.1 - Εικόνα που απεικονίζει τον αυτόματο πιλότο του πολυκόπτερου καταγραφής ..	10
Σχήμα 2.2 - Εικόνα του Υπερφασματικού αισθητήρα HEADWALL VNIR. ....	11
Σχήμα 2.3 - Εικόνα του Πολυφασματικού αισθητήρα Parrot Sequoia NIR. (Πηγή: www.parrot.com Drones SAS. Assessed: 10/5/2018). ....	13
Σχήμα 2.4 - Εικόνα του Θερμικού αισθητήρα Flir Vue Pro. (Πηγή: www.flir.com Flir Systems Inc. Assessed: 10/5/2018).....	14
Σχήμα 2.5 - Οι τρεις βαθμοί ελευθερίας ενός Εναέριου Συστήματος. ....	15
Σχήμα 2.6 - Διαδικασία σάρωσης Υπερφασματικού αισθητήρα. (Πηγή: Headwall photonics, Inc USA. Assessed: 15/5/2018). ....	15
Σχήμα 2.7 - Σκελετός αναθρακονήματος της νέας βάσης σταθεροποίησης του Υπερφασματικού αισθητήρα. ....	16
Σχήμα 2.8 - Ηλεκτρικός τριφασικός κινητήρας βάσης σταθεροποίησης Υπερφασματικού αισθητήρα. ....	17
Σχήμα 2.9 - Μονάδα ελέγχου βάσης σταθεροποίησης Υπερφασματικού αισθητήρα. ....	17
Σχήμα 2.10 - Τελική εικόνα πλατφόρμας UAS με τοποθετημένο τον Υπερφασματικό αισθητήρα πάνω στη βάση σταθεροποίησης. ....	18
Σχήμα 2.11 - Πολύγωνο οριοθέτησης της περιοχής μελέτης.....	19
Σχήμα 2.12 - Εισαγωγή δεδομένων για την Πολυφασματική καταγραφή.....	20
Σχήμα 2.13 - Σχέδιο πτήσης για τη συλλογή Πολυφασματικών δεδομένων. ....	21
Σχήμα 2.14 - Λίστα προκαθορισμένων σημείων για την πτήση Πολυφασματικών δεδομένων. .....	21
Σχήμα 2.15 - Εισαγωγή δεδομένων για τη Θερμική καταγραφή.....	22
Σχήμα 2.16 - Σχέδιο πτήσης για τη συλλογή Θερμικών δεδομένων .....	23
Σχήμα 2.17 - Λίστα προκαθορισμένων σημείων για την πτήση Θερμικών δεδομένων. ....	23
Σχήμα 2.18 - Σχέδιο πτήσης για τη συλλογή Υπερφασματικών δεδομένων. ....	24
Σχήμα 2.19 - Λίστα προκαθορισμένων σημείων για την πτήση Υπερφασματικών δεδομένων. .....	25
Σχήμα 2.20 - Πυκνό νέφος σημείων περιοχής μελέτης (δεδομένα RGB). Παρατηρείται υψηλός θόρυβος στο μοντέλο λόγω κυρίως του Rolling Shutter του RGB αισθητήρα.....	26

Σχήμα 2.21 - Πυκνό νέφος σημείων περιοχής μελέτης (πολυφασματικά δεδομένα). Παρατηρείται αισθητά βελτιωμένο μοντέλο λόγω των τεσσάρων ανεξάρτητων πολυφασματικών καναλιών τεχνολογίας Global Shutter.....	27
Σχήμα 2.22 - 3D επιφάνεια (mesh) της περιοχής μελέτης (δεδομένα RGB). Παρατηρείται αντίστοιχα θόρυβος και artifacts λόγω κυρίως του Rolling Shutter. ....	28
Σχήμα 2.23 – 3D επιφάνεια (mesh) της περιοχής μελέτης (πολυφασματικά δεδομένα). Παρατηρείται αισθητή βελτίωση του μοντέλου και της επιφάνειας.....	28
Σχήμα 2.24 - Ορθοεικόνα (δεδομένα RGB) της περιοχής μελέτης. ....	29
Σχήμα 2.25 - Ορθοεικόνα (δεδομένα πολυφασματικά) της περιοχής μελέτης. ....	29
Σχήμα 2.26 - Οπτικοποίηση υπερφασματικών δεδομένων στο λογισμικό της κατασκευάστριας εταιρείας.....	31
Σχήμα 2.27 - Διαδικασία δημιουργίας ορθομωσαϊκού και επιλογή βασικών παραμέτρων.....	31
Σχήμα 2.28 - Επιλογή των επιθυμητών φασματικών καναλιών για την εξαγωγή του ορθομωσαϊκού. ....	32
Σχήμα 2.29 - Reflectance, Irradiance και Radiance.....	33
Σχήμα 2.30 - Διαδικασία αντιστοίχισης πρώτου Υπερφασματικού μωσαϊκού. Αριστερά οι θέσεις των GCPs. Δεξιά το μωσαϊκό μετά την αντιστοίχιση.....	33
Σχήμα 2.31 - Πίνακας σφαλμάτων γεωαναφοράς για το πρώτο Υπερφασματικό μωσαϊκό....	34
Σχήμα 2.32 - Διαδικασία αντιστοίχισης Υπερφασματικού δεύτερου μωσαϊκού. Αριστερά οι θέσεις των GCPs. Δεξιά το μωσαϊκό μετά την αντιστοίχιση.....	34
Σχήμα 2.33 - Πίνακας σφαλμάτων γεωαναφοράς για το δεύτερο Υπερφασματικό μωσαϊκό. ....	34
Σχήμα 2.34 - Διαδικασία αντιστοίχισης Υπερφασματικού τρίτου μωσαϊκού. Αριστερά οι θέσεις των GCPs. Δεξιά το μωσαϊκό μετά την αντιστοίχιση.....	35
Σχήμα 2.35 - Πίνακας σφαλμάτων γεωαναφοράς για το τρίτο Υπερφασματικό μωσαϊκό.....	35
Σχήμα 2.36 - Διαδικασία αντιστοίχισης του Θερμικού μωσαϊκού. Αριστερά οι θέσεις των GCPs. Δεξιά το μωσαϊκό μετά την αντιστοίχιση.....	35
Σχήμα 2.37 - Πίνακας σφαλμάτων γεωαναφοράς για το Θερμικό μωσαϊκό. ....	36
Σχήμα 2.38 - Ορθοεικόνα της περιοχής μελέτης, προερχόμενη από τις 126 RGB εικόνες, με χωρική ανάλυση τα 5cm. ....	37
Σχήμα 2.39 - Ορθοεικόνα της περιοχής μελέτης, προερχόμενη από τις 126 πολυφασματικές εικόνες της Sequoia, με χωρική ανάλυση τα 8 cm. Ο χάρτης αποτελεί έγχρωμο σύνθετο των καναλιών G-R-NIR. ....	37
Σχήμα 2.40 - Ορθοεικόνα της περιοχής μελέτης από τις 195 θερμικές εικόνες του Flir Vue Pro, με χωρική ανάλυση τα 5 cm. ....	38
Σχήμα 2.41 - Ορθοεικόνα της περιοχής μελέτης από τη συγχώνευση των πολυφασματικών και θερμικών δεδομένων στα 5cm. Ο χάρτης αποτελεί έγχρωμο σύνθετο των καναλιών G-R-Thermal.....	38

Σχήμα 2.42 - Έγχρωμο σύνθετο των καναλιών RGB:145-75-45 της Υπερφασματικής εικόνας του πρώτου σκέλους πτήσης. ....	39
Σχήμα 2.43 - Έγχρωμο σύνθετο των καναλιών RGB:145-75-45 της Υπερφασματικής εικόνας του δεύτερου σκέλους πτήσης. ....	39
Σχήμα 2.44 - Έγχρωμο σύνθετο των καναλιών RGB:145-75-45 της Υπερφασματικής εικόνας του τρίτου σκέλους πτήσης. ....	40
Σχήμα 3.1 - Παράδειγμα ταξινόμησης με τον αλγόριθμο Μέγιστης πιθανοφάνειας.....	43
Σχήμα 3.2 - Παράδειγμα ταξινόμησης με τον αλγόριθμο Spectral Angle Mapping. ....	44
Σχήμα 3.3 - Οι διάφορες πιθανές γραμμές που μπορούν να χωρίσουν τα δεδομένα σε 2 κατηγορίες (Αριστερά). Η υλοποίηση του ορίου απόφασης ως η διχοτόμος του μέγιστου δυνατού κενού μεταξύ των δεδομένων (Πηγή: <a href="http://www.docs.opencv.org">www.docs.opencv.org</a> Assessed: 10/5/2018) 45	45
Σχήμα 3.4 – Χάρτης απεικόνισης των Πολυγώνων εκπαίδευσης (Μπλε χρώμα) και ελέγχου (Πράσινο χρώμα) στον RGB ορθοφωτοχάρτη της περιοχής μελέτης. ....	49
Σχήμα 3.5 – Χάρτης απεικόνισης των Πολυγώνων εκπαίδευσης και ελέγχου στο RGB Υπερφασματικό μωσαϊκό (1) με όλες τις κατηγορίες ταξινόμησης. ....	49
Σχήμα 3.6 - Χάρτης απεικόνισης των Πολυγώνων εκπαίδευσης και ελέγχου στο RGB Υπερφασματικό μωσαϊκό (2) με όλες τις κατηγορίες ταξινόμησης. ....	50
Σχήμα 3.7 - Χάρτης απεικόνισης των Πολυγώνων εκπαίδευσης και ελέγχου στο RGB Υπερφασματικό μωσαϊκό (3) με όλες τις κατηγορίες ταξινόμησης. ....	50
Σχήμα 3.8 - Φασματική υπογραφή κατηγορίας Deep Water από την Πολυφασματική Sequoia. ....	51
Σχήμα 3.9 - Φασματική υπογραφή κατηγορίας Coastal Water από την Πολυφασματική Sequoia.....	51
Σχήμα 3.10 - Φασματική υπογραφή κατηγορίας Port Water από την Πολυφασματική Sequoia. ....	52
Σχήμα 3.11 - Φασματική υπογραφή κατηγορίας Low vegetation από την Πολυφασματική Sequoia.....	52
Σχήμα 3.12 Φασματική υπογραφή κατηγορίας High vegetation από την Πολυφασματική Sequoia.....	53
Σχήμα 3.13 - Φασματική υπογραφή κατηγορίας Soil Dark από την Πολυφασματική Sequoia. ....	53
Σχήμα 3.14 - Φασματική υπογραφή κατηγορίας Soil Light από την Πολυφασματική Sequoia. ....	54
Σχήμα 3.15 - Φασματική υπογραφή κατηγορίας Asphalt από την Πολυφασματική Sequoia. 54	54
Σχήμα 3.16 - Φασματική υπογραφή κατηγορίας Boats από την Πολυφασματική Sequoia. ...	55
Σχήμα 3.17 - Φασματική υπογραφή κατηγορίας Coastal Water από την Υπερφασματική HeadWall VNIR.....	55

Σχήμα 3.18 - Φασματική υπογραφή κατηγορίας Port Water από την Υπερφασματική HeadWall VNIR.....	56
Σχήμα 3.19 - Φασματική υπογραφή κατηγορίας Low vegetation από την Υπερφασματική HeadWall VNIR.....	56
Σχήμα 3.20 - Φασματική υπογραφή κατηγορίας High vegetation από την Υπερφασματική HeadWall VNIR.....	57
Σχήμα 3.21 - Φασματική υπογραφή κατηγορίας Soil Dark από την Υπερφασματική HeadWall VNIR.....	57
Σχήμα 3.22 - Φασματική υπογραφή κατηγορίας Soil Light από την Υπερφασματική HeadWall VNIR.....	57
Σχήμα 3.23 - Φασματική υπογραφή κατηγορίας Asphalt από την Υπερφασματική HeadWall VNIR.....	58
Σχήμα 3.24 - Φασματική υπογραφή κατηγορίας Boats από την Υπερφασματική HeadWall VNIR.....	58
Σχήμα 3.25 - Ορθοεικόνα της περιοχής μελέτης από Πολυφασματικά δεδομένα.....	61
Σχήμα 3.26 - Χάρτης ταξινομημένης εικόνας Πολυφασματικού Ορθομωσαϊκού με τη μέθοδο Maximum Likelihood. ....	61
Σχήμα 3.27 - Ορθοεικόνα της περιοχής μελέτης από Πολυφασματικά – Θερμικά δεδομένα. 63	
Σχήμα 3.28 - Χάρτης ταξινομημένης εικόνας σύνθεσης Πολυφασματικού – Θερμικού Ορθομωσαϊκού με τη μέθοδο Maximum Likelihood. ....	63
Σχήμα 3.29 – Ορθοεικόνα πρώτου σκέλους της περιοχής μελέτης από Υπερφασματικά δεδομένα. ....	65
Σχήμα 3.30 - Χάρτης ταξινομημένης εικόνας Υπερφασματικού μωσαϊκού πρώτου σκέλους πτήσης με τη μέθοδο Maximum Likelihood.....	65
Σχήμα 3.31 - Ορθοεικόνα δεύτερου σκέλους της περιοχής μελέτης από Υπερφασματικά δεδομένα. ....	67
Σχήμα 3.32 - Χάρτης ταξινομημένης εικόνας Υπερφασματικού μωσαϊκού δεύτερου σκέλους πτήσης με τη μέθοδο Spectral Angle Mapping.....	67
Σχήμα 3.33 - Ορθοεικόνα τρίτου σκέλους της περιοχής μελέτης από Υπερφασματικά δεδομένα. ....	69
Σχήμα 3.34 - Χάρτης ταξινομημένης εικόνας Υπερφασματικού μωσαϊκού τρίτου σκέλους πτήσης με τη μέθοδο Minimum Distance.....	69
Σχήμα 3.35 - Ορθοεικόνα πρώτου σκέλους της περιοχής μελέτης από Υπερφασματικά δεδομένα. ....	71
Σχήμα 3.36 - Χάρτης ταξινομημένης εικόνας Υπερφασματικού μωσαϊκού πρώτου σκέλους πτήσης με τη μέθοδο SVM – PCA. ....	71

Σχήμα 3.37 - Ορθοεικόνα δεύτερου σκέλους της περιοχής μελέτης από Υπερφασματικά δεδομένα. ....	74
Σχήμα 3.38 - Χάρτης ταξινομημένης εικόνας Υπερφασματικού μωσαϊκού δεύτερου σκέλους πτήσης με τη μέθοδο SVM – PCA. ....	74
Σχήμα 3.39 - Ορθοεικόνα τρίτου σκέλους της περιοχής μελέτης από Υπερφασματικά δεδομένα. ....	77
Σχήμα 3.40 - Χάρτης ταξινομημένης εικόνας Υπερφασματικού μωσαϊκού τρίτου σκέλους πτήσης με τη μέθοδο SVM – PCA. ....	77
Σχήμα 3.41 - Ορθοεικόνα πρώτου σκέλους της περιοχής μελέτης από Υπερφασματικά δεδομένα. ....	80
Σχήμα 3.42 - Χάρτης ταξινομημένης εικόνας Υπερφασματικού μωσαϊκού πρώτου σκέλους πτήσης με τη μέθοδο SVM. ....	80
Σχήμα 3.43 - Ορθοεικόνα δεύτερου σκέλους της περιοχής μελέτης από Υπερφασματικά δεδομένα. ....	83
Σχήμα 3.44 - Χάρτης ταξινομημένης εικόνας Υπερφασματικού μωσαϊκού δεύτερου σκέλους πτήσης με τη μέθοδο SVM. ....	83
Σχήμα 3.45 - Ορθοεικόνα τρίτου σκέλους της περιοχής μελέτης από Υπερφασματικά δεδομένα. ....	86
Σχήμα 3.46 - Χάρτης ταξινομημένης εικόνας Υπερφασματικού μωσαϊκού τρίτου σκέλους πτήσης με τη μέθοδο SVM. ....	86

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.1 – Τεχνικά χαρακτηριστικά του Υπερφασματικού αισθητήρα HEADWALL VNIR.....	12
Πίνακας 2.2 - Τεχνικά χαρακτηριστικά του Πολυφασματικού αισθητήρα Parrot Sequoia NIR. (Πηγή: <a href="http://www.parrot.com">www.parrot.com</a> Parrot Drones SAS. Assessed: 10/5/2018). ....	13
Πίνακας 2.3 - Πίνακας των τεχνικών χαρακτηριστικών του Θερμικού αισθητήρα Flir Vue Pro. (Πηγή: <a href="http://www.flir.com">www.flir.com</a> Flir Systems Inc. Assessed: 10/5/2018).....	14
Πίνακας 3.1 - Πίνακας ανάλυσης κατηγοριών ταξινόμησης. Στον πίνακα φαίνονται τα ονόματα και χρώματα της κάθε κατηγορίας καθώς και η ανάλυση της κάθε κατηγορίας στα διαθέσιμα φάσματα.....	48
Πίνακας 3.2 - Αποτελέσματα ταξινομήσεων Πολυφασματικών μωσαϊκών με τη μέθοδο Maximum Likelihood. ....	60
Πίνακας 3.3 - Αποτελέσματα ταξινόμησης της σύνθεσης Πολυφασματικών – Θερμικών μωσαϊκών με τη μέθοδο Maximum Likelihood.....	62
Πίνακας 3.4 - Πίνακας αποτελεσμάτων ταξινόμησης Υπερφασματικού μωσαϊκού του πρώτου σκέλους πτήσης με τη μέθοδο Maximum Likelihood. ....	64
Πίνακας 3.5 - Πίνακας αποτελεσμάτων ταξινόμησης Υπερφασματικού μωσαϊκού του δεύτερου σκέλους πτήσης με τη μέθοδο Spectral Angle Mapping.....	66
Πίνακας 3.6 - Πίνακας αποτελεσμάτων ταξινόμησης Υπερφασματικού μωσαϊκού του τρίτου σκέλους πτήσης με τη μέθοδο Minimum Distance.....	68
Πίνακας 3.7 - Confusion matrix αποτελεσμάτων ταξινόμησης πρώτου σκέλους Υπερφασματικού μωσαϊκού με SVM – PCA. ....	70
Πίνακας 3.8 - Πίνακας OA συναρτήσεως του ποσοστού δεδομένων εκπαίδευσης για όλες τις ταξινομήσεις του Υπερφασματικού μωσαϊκού (1) με τη μέθοδο SVM – PCA.....	72
Πίνακας 3.9 - Πίνακας PA όλων των κατηγοριών για κάθε ποσοστό εκπαίδευσης των ταξινομήσεων του Υπερφασματικού μωσαϊκού (1) με τη μέθοδο SVM – PCA. ....	72
Πίνακας 3.10 - Πίνακας UA όλων των κατηγοριών για κάθε ποσοστό εκπαίδευσης των ταξινομήσεων του Υπερφασματικού μωσαϊκού (1) με τη μέθοδο SVM – PCA.....	73
Πίνακας 3.11 - Confusion matrix αποτελεσμάτων ταξινόμησης δεύτερου σκέλους Υπερφασματικού μωσαϊκού με SVM – PCA. ....	73
Πίνακας 3.12 - Πίνακας OA συναρτήσεως του ποσοστού δεδομένων εκπαίδευσης για όλες τις ταξινομήσεις του Υπερφασματικού μωσαϊκού (2) με τη μέθοδο SVM – PCA.....	75
Πίνακας 3.13 - Πίνακας PA όλων των κατηγοριών για κάθε ποσοστό εκπαίδευσης των ταξινομήσεων του Υπερφασματικού μωσαϊκού (2) με τη μέθοδο SVM – PCA.....	75



Πίνακας 3.14 - Πίνακας UA όλων των κατηγοριών για κάθε ποσοστό εκπαίδευσης των ταξινομήσεων του Υπερφασματικού μωσαϊκού (2) με τη μέθοδο SVM – PCA.....	76
Πίνακας 3.15 - Confusion matrix αποτελεσμάτων ταξινόμησης τρίτου σκέλους Υπερφασματικού μωσαϊκού με SVM – PCA. ....	76
Πίνακας 3.16 - Πίνακας OA συναρτήσει του ποσοστού δεδομένων εκπαίδευσης για όλες τις ταξινομήσεις του Υπερφασματικού μωσαϊκού (3) με τη μέθοδο SVM – PCA.....	78
Πίνακας 3.17 - Πίνακας PA όλων των κατηγοριών για κάθε ποσοστό εκπαίδευσης των ταξινομήσεων του Υπερφασματικού μωσαϊκού (3) με τη μέθοδο SVM – PCA.....	78
Πίνακας 3.18 - Πίνακας UA όλων των κατηγοριών για κάθε ποσοστό εκπαίδευσης των ταξινομήσεων του Υπερφασματικού μωσαϊκού (3) με τη μέθοδο SVM – PCA.....	79
Πίνακας 3.19 - Confusion matrix αποτελεσμάτων ταξινόμησης πρώτου σκέλους Υπερφασματικού μωσαϊκού με SVM.....	79
Πίνακας 3.20 - Πίνακας OA συναρτήσει του ποσοστού δεδομένων εκπαίδευσης για όλες τις ταξινομήσεις του Υπερφασματικού μωσαϊκού (1) με τη μέθοδο SVM.....	81
Πίνακας 3.21 - Πίνακας PA όλων των κατηγοριών για κάθε ποσοστό εκπαίδευσης των ταξινομήσεων του Υπερφασματικού μωσαϊκού (1) με τη μέθοδο SVM.....	81
Πίνακας 3.22 - Πίνακας UA όλων των κατηγοριών για κάθε ποσοστό εκπαίδευσης των ταξινομήσεων του Υπερφασματικού μωσαϊκού (1) με τη μέθοδο SVM.....	81
Πίνακας 3.23 - Confusion matrix αποτελεσμάτων ταξινόμησης δεύτερου σκέλους Υπερφασματικού μωσαϊκού με SVM.....	82
Πίνακας 3.24 - Πίνακας OA συναρτήσει του ποσοστού δεδομένων εκπαίδευσης για όλες τις ταξινομήσεις του Υπερφασματικού μωσαϊκού (2) με τη μέθοδο SVM.....	84
Πίνακας 3.25 - Πίνακας PA όλων των κατηγοριών για κάθε ποσοστό εκπαίδευσης των ταξινομήσεων του Υπερφασματικού μωσαϊκού (2) με τη μέθοδο SVM.....	84
Πίνακας 3.26 - Πίνακας UA όλων των κατηγοριών για κάθε ποσοστό εκπαίδευσης των ταξινομήσεων του Υπερφασματικού μωσαϊκού (2) με τη μέθοδο SVM.....	84
Πίνακας 3.27 - Confusion matrix αποτελεσμάτων ταξινόμησης τρίτου σκέλους Υπερφασματικού μωσαϊκού με SVM.....	85
Πίνακας 3.28 - Πίνακας OA συναρτήσει του ποσοστού δεδομένων εκπαίδευσης για όλες τις ταξινομήσεις του Υπερφασματικού μωσαϊκού (3) με τη μέθοδο SVM.....	87
Πίνακας 3.29 - Πίνακας PA όλων των κατηγοριών για κάθε ποσοστό εκπαίδευσης των ταξινομήσεων του Υπερφασματικού μωσαϊκού (3) με τη μέθοδο SVM.....	87
Πίνακας 3.30 - Πίνακας UA όλων των κατηγοριών για κάθε ποσοστό εκπαίδευσης των ταξινομήσεων του Υπερφασματικού μωσαϊκού (3) με τη μέθοδο SVM.....	87