



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ – ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ – ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ

**Χαρτογράφηση θαλάσσιων ενδιαιτημάτων με την χρήση δορυφορικών
δεδομένων Landsat – 8 και Sentinel – 2**

Παναγιώτης Σταμάτης

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Επιβλέπων Καθηγητής: Κωνσταντίνος Τοπουζέλης

Μυτιλήνη, 2019

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αποφοίτου του Τμήματος Επιστημών της Θάλασσας

Παναγιώτη Σταμάτη

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:

**Χαρτογράφηση θαλάσσιων ενδιαιτημάτων με την χρήση δορυφορικών
δεδομένων Landsat – 8 και Sentinel – 2**

Τριμελής Επιτροπή Επίβλεψης και Κρίσης της Εργασίας

Υπογραφές

Κωνσταντίνος Τοπουζέλης

Στυλιανός Κατσανεβάκης

Δήμητρα Κίτσιου

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου Κ. Τοπουζέλη που με εμπιστεύτηκε και μου έδωσε την ευκαιρία να λάβω μέρος σε ένα ερευνητικό πρόγραμμα, σε τρία επιστημονικά άρθρα και το πιο σημαντικό απ' όλα να είμαι και εγώ μέλος ενός group με εξαιρετους συναδέλφους. Έτσι λοιπόν θέλω να ευχαριστήσω τους συμφοιτητές του Marine Remote Sensing Group για την αμέριστη στήριξή τους και την υπομονή που δείχνανε προς εμένα. Ευχαριστώ την διδακτορική φοιτήτρια Μιχαέλα Δουκαρή που παρήγαγε τους ορθοφωτοχάρτες της παρούσας έρευνας καθώς και για την βοήθεια της σε ότι χρειάστηκα. Τέλος ένα μεγάλο ευχαριστώ στην δίδυμη αδερφή μου Χρύσα Σταμάτη που ήταν δίπλα μου σε όλη την διάρκεια του προπτυχιακού προγράμματος και ιδιαίτερα για την στήριξη της στην εκπόνηση αυτής της εργασίας, καθώς επίσης και στους γονείς μας που στηρίζουν τα όνειρα και τις προσπάθειες μας τόσα χρόνια.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	5
Περίληψη.....	8
1. Εισαγωγή	9
2. Δεδομένα και Περιοχή μελέτης.....	10
2.1 Δορυφορικά δεδομένα.....	10
2.1.1 Landsat – 8.....	10
2.1.2 Sentinel – 2	11
2.2 Δεδομένων ΣμηΕΑ και δεδομένα αναφοράς (Ground Truthing Data).....	13
2.3 Περιγραφή περιοχών μελέτης.....	15
2.3.1 Νάξος.....	16
2.3.2 Ίος	17
2.3.3 Φολέγανδρος.....	19
2.3.4 Σίφνος	20
2.3.5 Τήνος.....	22
2.3.6 Χίος	23
3. Μεθοδολογία	25
3.1 Προ επεξεργασία δορυφορικών δεδομένων	26
Ραδιομετρική βαθμονόμηση – Ατμοσφαιρική διόρθωση – Μάσκα στεριάς	26
3.2 Επεξεργασία δορυφορικών δεδομένων – Αντικειμενοστραφής ανάλυση.....	27
3.2.1 Κατάτμηση δορυφορικών δεδομένων	27
3.2.2 Ταξινόμηση δορυφορικών δεδομένων	29
3.2.3 Εκτίμηση Ακρίβειας	31
4. Αποτελέσματα	32

4.1	Νάξος.....	33
	Landsat – 8.....	33
	Sentinel – 2.....	34
4.2	Ιος.....	36
	Landsat – 8.....	36
	Sentinel – 2.....	38
4.3	Φολέγανδρος.....	39
	Landsat – 8.....	40
	Sentinel – 2.....	41
4.4	Σίφνος.....	42
	Landsat – 8.....	42
	Sentinel – 2.....	44
4.5	Τήνος.....	46
	Landsat – 8.....	46
	Sentinel – 2.....	48
4.6	Χίος.....	50
	Landsat – 8.....	50
	Sentinel – 2.....	52
5.	Συζήτηση – Συμπεράσματα.....	54
	Συμπεράσματα.....	54
6.	Βιβλιογραφία.....	56

Περίληψη

Τα λιβάδια της θαλάσσιας βλάστησης διαδραματίζουν ζωτικό ρόλο στην υγεία των παράκτιων οικοσυστημάτων, καθώς αποτελούν σημαντικό πυλώνα του παράκτιου περιβάλλοντος. Μέχρι στιγμής, η χαρτογράφηση τοπικών οικοτόπων πραγματοποιούνταν με τη χρήση ελεύθερων δορυφορικών εικόνων μεσαίας κλίμακας (Sentinel-2 ή Landsat-8). Τα συστήματα μη επανδρωμένων εναέριων αεροσκαφών (ΣμηΕΑ) έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση της χωρικής διακριτικής ικανότητας της παρατήρησης από τα μέτρα στα εκατοστά. Χρησιμοποιώντας εικόνες υψηλής χωρικής ανάλυσης, η θαλάσσια βλάστηση μπορεί να χαρτογραφηθεί με μεγάλη λεπτομέρεια αποκαλύπτοντας σημαντικά είδη ενδιαιτημάτων και να ανιχνεύσει νέα πρότυπα οικοτόπων.

Στην παρούσα μελέτη προτείνουμε μια μεθοδολογία ανάλυσης εικόνας πολλαπλών επιπέδων που αποτελείται από γεωαναφορά, ραδιομετρική βαθμονόμηση, ατμοσφαιρική διόρθωση και αντικειμενοστραφής ανάλυση (OBIA). Η διαδικασία OBIA εκτελείται χρησιμοποιώντας πλησιέστερους γειτονικούς και ασαφείς κανόνες ως ταξινομητές σε τρεις κύριες κατηγορίες: α) θαλάσσια βλάστηση, β) περιοχές με μαλακό πυθμένα (Άμμος) και γ) περιοχές με σκληρό πυθμένα (υφάλους). Τα ΣμηΕΑ δεδομένα, υψηλής ανάλυσης, αντιμετωπίζονται ως *in situ* παρατηρήσεις και χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση των ταξινομητών και για την αξιολόγηση της ακρίβειας. Η μεθοδολογία εφαρμόστηκε σε δορυφορικές εικόνες Sentinel-2 και Landsat-8 με χωρική ανάλυση 10m και 30m αντίστοιχα, σε διάφορες παραλίες σε νησιά των Κυκλάδων.

Τα αποτελέσματα δείχνουν καλύτερη ακρίβεια ταξινόμησης στα δεδομένα Sentinel-2 από ό, τι στο Landsat-8. Υπήρξε μεγάλη δυσκολία στην ανίχνευση του βιότοπου των υφάλων σε δορυφορικές εικόνες επειδή κάλυπτε μικρές περιοχές. Συμπερασματικά, η παρούσα μελέτη υπογραμμίζει την ανάγκη νέων γεωχωρικών δεδομένων υψηλής ακρίβειας για την εξέταση της ακρίβειας ανίχνευσης ενδιαιτημάτων σε δορυφορικές εικόνες με διαφορετικές χωρικές αναλύσεις.

1. Εισαγωγή

Τα λιβάδια της θάλασσας είναι πολύτιμοι βιότοποι, καθώς αποτελούν σημαντικό πυλώνα του παράκτιου περιβάλλοντος. Υποστηρίζουν σημαντικές θαλάσσιες διεργασίες και παρέχουν ζωτικές υπηρεσίες σε ένα οικοσύστημα, όπως απελευθέρωση οξυγόνου ή ανάπτυξη και προστασία των ψαριών. Η ανίχνευση και η χαρτογράφηση της θαλάσσιας βλάστησης είναι πολύ σημαντική για την προστασία και τη διατήρηση των θαλάσσιων οικοσυστημάτων και της βιοποικιλότητας.

Τα δορυφορικά δεδομένα χρησιμοποιούνται για την χαρτογράφηση θαλάσσιων και άλλων οικοτόπων λόγω της πλήρους κάλυψης μιας περιοχής. Διαφορετικά, υπάρχουν πολλά μειονεκτήματα που τα καθιστούν ακατάλληλα για λεπτομερή και ακριβή χαρτογράφηση. Η χαρτογράφηση των οικοτόπων με δορυφορικά δεδομένα μπορεί να επιτύχει με διάφορες μεθόδους. Εξαρτάται από την κλίμακα και τον τύπο. Η κλίμακα μπορεί να είναι περιφερειακή ή τοπική. Σε περιφερειακή ανάλυση κλίμακας μπορούν να χρησιμοποιηθούν δεδομένα μεσαίας χωρικής ανάλυσης όπως Landsat-8 ή Sentinel-2 και σε τοπική, υψηλής χωρικής ανάλυσης όπως δεδομένα που εξάγονται από ένα Σύστημα μη Επανδρωμένου Αεροσκάφους (ΣμηΕΑ). Ο τύπος ταξινόμησης μπορεί να είναι με βάση τα εικονοστοιχεία ή με βάση αντικείμενα. Η ταξινόμηση βάσει αντικειμένων αναφέρεται σε ομάδες εικονοστοιχείων με τα ίδια φασματικά χαρακτηριστικά.

Η χαρτογράφηση της θαλάσσιας βλάστησης σε περιφερειακή κλίμακα στην Ελλάδα παρουσιάζεται στη μελέτη των (Τορουζελίς *et al.*, 2018) όπου χάρτες της κατανομής της θαλάσσιας χλωρίδας προέρχονται από εικόνες Landsat-8. Σε αυτή τη μελέτη τα αποτελέσματα που εξήχθησαν με την μέθοδο της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης (OBIA) σε τρεις κύριες κατηγορίες, οστρακοειδή, ρηχές περιοχές και βαθιά νερά. Η ακρίβεια ταξινόμησης υπολογίστηκε από 62 μεμονωμένους τόπους Natura 2000 και τα αποτελέσματα ήταν συγκρίσιμα με προηγούμενες δημοσιευμένες έρευνες.

Η χαρτογράφηση οικοτόπων κοραλλιογενών υφάλων έχει επιτευχθεί από τους (Roelfsema *et al.*, 2018) με δορυφορικές εικόνες Landsat-8 στο Great Barrier Reef. Τα βήματα επεξεργασίας περιελάμβαναν OBIA και μοντελοποίηση για να βρεθούν οι διαφορετικοί σχηματισμοί και ζώνες από τον κοραλλιογενή ύφαλο. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η εφαρμοζόμενη μεθοδολογία μπορεί να ενσωματωθεί σε άλλους μεγάλους υφάλους σε όλο τον κόσμο, με ορισμένες τροποποιήσεις.

Τα δεδομένα Sentinel-2 έχουν χρησιμοποιηθεί για χαρτογράφηση θαλάσσιων περιοχών σε περιφερειακή κλίμακα στον κόλπο Καλλονής. Η ταξινόμηση βασισμένη σε εικονοστοιχεία, με ταξινομητή μέγιστης πιθανότητας, εκτελέστηκε σε τέσσερις κύριες κλάσεις, σκληρό και μαλακό πυθμένα, θαλάσσια βλάστηση και βαθιά θάλασσα.

Τα αποτελέσματα αποκάλυψαν τη χρησιμότητα των δεδομένων Sentinel-2 στη χαρτογράφηση λόγω της υψηλότερης χωρικής ανάλυσης. (Torouzelis *et al.*, 2016)

Η ακρίβεια της ταξινόμησης πρέπει να εξεταστεί. Η αξιολόγηση της ακρίβειας μπορεί να ελεγχθεί από τη θέση των σημείων δειγματοληψίας ή θεματικών χαρτών. Και οι δύο είναι γνωστές ως αξιολόγηση θέσης και θεματικής ακρίβειας αντίστοιχα. Το δεύτερο παράγει πίνακες σφαλμάτων και υπολογίζει την ακρίβεια του Παραγωγού και του Χρήστη και τα σχετικά σφάλματα, παραλείψεις και σφάλμα προμήθειας.

Η χρήση των ΣμηΕΑ, και ιδιαίτερα ενός ταξινομημένου χάρτη από δεδομένα ΣμηΕΑ, στην αξιολόγηση ακρίβειας δεν έχει εξεταστεί προηγουμένως. Ο κύριος στόχος αυτής της μελέτης είναι να παρουσιάσει μια μεθοδολογία χαρτογράφησης των παράκτιων οικοτόπων και να ελέγξει τον τρόπο με τον οποίο το αποτέλεσμα ταξινόμησης των δεδομένων ΣμηΕΑ μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δεδομένα αναφοράς για τον έλεγχο της ακρίβειας των δορυφορικών δεδομένων. Σε αυτή την έρευνα δορυφορικά δεδομένα Sentinel-2 και Landsat-8 προεπεξεργάστηκαν και αναλύθηκαν με μια μεθοδολογία αντικειμενοστραφούς ανάλυσης (OBIA). Μετά, το αποτέλεσμα ταξινόμησης συγκρίθηκε με το αποτέλεσμα ταξινόμησης των ΣμηΕΑ. Η έρευνα σκοπεύει να εξετάσει τους περιορισμούς στην χαρτογράφηση των παράκτιων οικοτόπων σε συγκεκριμένες κατηγορίες όπως η ανίχνευση των υφάλων.

2. Δεδομένα και Περιοχή μελέτης

2.1 Δορυφορικά δεδομένα

2.1.1 Landsat – 8

Ο δορυφόρος Landsat-8 εκτοξεύθηκε τον Φεβρουάριο του 2013 και φέρει δύο όργανα, τον αισθητήρα λειτουργικού εδάφους (Operational Land Imager- OLI) και τους αισθητήρες θερμικού υπέρυθρου αισθητήρα (Thermal Infrared Sensor- TIRS). Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε μόνο ο αισθητήρας λειτουργικού εδάφους (OLI) για τη δημιουργία των ορατών δορυφορικών εικόνων. Όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 1), ο αισθητήρας OLI συλλέγει δεδομένα σε 9 φασματικές περιοχές μικρού εύρους: 8 φασματικές περιοχές με χωρική ανάλυση 30m και μια παγχρωματική με ανάλυση 15m. Ο αισθητήρας TIRS συλλέγει δεδομένα σε δυο θερμικές φασματικές περιοχές με χωρική ανάλυση 100m. Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν 3 μπάντες στο ορατό φάσμα (Blue, Green, Red) και μια μπάντα στο υπέρυθρο φάσμα (Near Infrared). Τα δεδομένα

συλλέχθηκαν από τον Earth Explorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) και η χωρική ανάλυση των εικόνων Landsat ήταν 30 μέτρα.

Πίνακας 1 : Μπάντες, μήκος κύματος και χωρική ανάλυση του δορυφόρου Landsat – 8

Μπάντες	Μήκος κύματος (μm)	Χωρική ανάλυση
Band 1 - Coastal	0.43 - 0.45	30
Band 2 - Blue	0.45 - 0.51	30
Band 3 - Green	0.53 - 0.59	30
Band 4 - Red	0.64 - 0.67	30
Band 5 - Near Infrared (NIR)	0.85 - 0.88	30
Band 6 - Shortwave Infrared (SWIR) 1	1.57 - 1.65	30
Band 7 - Shortwave Infrared (SWIR) 2	2.11 - 2.29	30
Band 8 - Panchromatic	0.50 - 0.68	15
Band 9 - Cirrus	1.36 - 1.38	30
Band 10 - TIRS 1	10.60 - 11.19	100
Band 11 - TIRS 2	11.50 - 12.51	100

2.1.2 Sentinel – 2

Ο δορυφόρος Sentinel 2 έχει σχεδιαστεί με σκοπό να ικανοποιεί τις ανάγκες του προγράμματος Copernicus καθώς και των χρηστών του. Η πλήρης αποστολή Sentinel 2 αποτελείται από δύο δορυφόρους στην ίδια τροχιά αντιδιαμετρικά ο ένας από τον άλλο, με σκοπό την κάλυψη του ισημερινού ανά 5 ημέρες. Οι Sentinel 2 δορυφόροι έχουν τέτοιο εξοπλισμό έτσι ώστε να δειγματοληπτούν σε 13 φασματικές ζώνες καταγραφής. Κάθε ένας από τους δορυφόρους της αποστολής Sentinel 2 έχει σχεδιαστεί να φέρει έναν παθητικό αισθητήρα, τον MSI (Multi-Spectral Instrument). Ο MSI μετράει την ανακλώμενη ακτινοβολία της Γης σε 13 ραδιομετρικά κανάλια από το VNIR (Visible and Near - Infrared) μέχρι και το SWIR (Short Wave Infrared). Από τα 13 στο σύνολο κανάλια των δορυφόρων (Πίνακας 2), τα τέσσερα έχουν χωρική ανάλυση 10m, τα έξι 20m και 3 κανάλια 60m (Μανιουδάκης, 2018).

Πίνακας 2 : Μπάντες, μήκος κύματος και χωρική ανάλυση του δορυφόρου Sentinel - 2

Μπάντες	Μήκος κύματος (μm)	Χωρική ανάλυση
Band 1 - Coastal	0.443	60
Band 2 - Blue	0.490	10
Band 3 - Green	0.560	10
Band 4 - Red	0.665	10
Band 5 - Vegetation Red Edge	0.705	20
Band 6 - Vegetation Red Edge	0.740	20
Band 7 - Vegetation Red Edge	0.783	20
Band 8 - Near Infrared (NIR)	0.842	10
Band 8A - Vegetation Red Edge	0.865	20
Band 9 - Water vapour	0.945	60
Band 10 - SWIR - Cirrus	1.375	60
Band 11 - SWIR	1.610	20
Band 12 - SWIR	2.190	20

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν οι τρεις μπάντες στο ορατό (Red, Green, Blue) και μία στο υπέρυθρο φάσμα (NIR). Οι μπάντες αυτές έχουν την υψηλότερη χωρική ανάλυση στα 10 m.

Τα προϊόντα της αποστολής Sentinel 2 αναλύονται σε διάφορα επίπεδα ανάλογα με την επεξεργασία και τις διορθώσεις που τους εφαρμόζονται (Μανιουδάκης, 2018).

- Level-0: Αποτελούν τα συμπιεσμένα ακατέργαστα δεδομένα. Περιέχουν όλη τη πληροφορία που είναι απαραίτητη για να προκύψουν τα δεδομένα των επόμενων επιπέδων.
- Level-1A: Αποτελούν ασυμπιεσμένα ακατέργαστα δεδομένα με πρόχειρη την ανάθεση των ραδιομετρικών καναλιών και των βοηθητικών επισυναπτόμενων δεδομένων.
- Level-1B: Αποτελούν τα ραδιομετρικά διορθωμένα δεδομένα. Το φυσικό γεωμετρικό μοντέλο διορθώνεται, χρησιμοποιώντας ήδη υπάρχοντα σημεία ελέγχου εδάφους και επισυνάπτεται στα δεδομένα χωρίς να εφαρμόζεται.
- Level-1C: Τα προϊόντα παρέχουν ορθοαναχθέντα πάνω από την ατμοσφαιρική ανάκλαση (Top-Of-Atmosphere reflectance), με sub-pixel πολυκάναλη εγγραφή. Οι μάσκες νεφών και γης/ νερού συμπεριλαμβάνονται στα προϊόντα.
- Level-2A: Τα προϊόντα παρέχουν ορθοαναχθέντα κάτω από την ατμόσφαιρα ανάκλαση (Bottom-Of-Atmosphere reflectance), με sub-pixel πολυκάναλη εγγραφή. Στα προϊόντα περιλαμβάνεται και χάρτης

ταξινόμησης σκηνών (Scene classification map για νέφη, σκιές νεφών, βλάστηση, έδαφος/ έρημος, νερό, χιόνι κλπ.).

Τα προϊόντα των επιπέδων Level-0, Level 1A, Level 1B δεν είναι διαθέσιμα στους χρήστες ενώ τα προϊόντα Level-1C και Level-2A είναι διαθέσιμα μέσα από το Copernicus Open Access Hub. Χρησιμοποιήθηκαν level 1C δεδομένα στην παρούσα μελέτη όπου και μετατράπηκαν σε level 2 όπως εξηγείται στο κεφάλαιο της μεθοδολογίας.

2.2 Δεδομένων ΣμηΕΑ και δεδομένα αναφοράς (Ground Truthing Data)

Τα δεδομένα UAV προήλθαν από προγενέστερη μελέτη στις περιοχές ενδιαφέροντος μέσω του ερευνητικού προγράμματος MARISCA το 2017. Για τη συλλογή των δεδομένων πεδίου χρησιμοποιήθηκε ένα Σύστημα μη Επανδρωμένου Αεροσκάφους (ΣμηΕΑ), το οποίο είναι ικανό να εκτελεί αυτόνομα προγραμματισμένες πτήσεις. Η πτήση ήταν διαμορφωμένη έτσι ώστε το UAV να πραγματοποιήσει κάθετη απογείωση και προσγείωση (Vertical Take Off and Landing- VTOL) και βασίστηκε στο σύστημα αυτόματου πιλότου Pixhawk που ελέγχει τον αισθητήρα και τις πληροφορίες πτήσης. Από την επεξεργασία των διαδοχικών εναέριων φωτογραφιών, του ΣμηΕΑ προέκυψαν οι ορθοφωτοχάρτες, μέσω του λογισμικού *Agisoft photoscan*. Η γεωαναφορά έγινε με επιλεγμένα σημεία από το *Google Earth* στο προβολικό σύστημα *WGS 1984*. Για το λόγο αυτό υπάρχει μια χωρική απόκλιση της τάξης των 10 – 60 cm στους παραγόμενους ορθοφωτοχάρτες. Μετά την εισαγωγή των εναέριων φωτογραφιών, το λογισμικό ευθυγραμμίζει τις θέσεις τους με βάση το προβολικό σύστημα και δημιουργεί ένα αραιό νέφος σημείων (*Align Photos*). Έπειτα με βάση το πρώτο αποτέλεσμα το νέφος σημείων πυκνώνει (*Dense Cloud*). Στη συνέχεια μέσω του πυκνού νέφους σημείων προκύπτει ένα τρισδιάστατο μοντέλο. Τέλος, δημιουργείται ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους και εξάγεται ο ορθοφωτοχάρτης. Στην παρούσα έρευνα το προβολικό σύστημα που επιλέχθηκε ήταν το UTM Zone 35N. Η χωρική ανάλυση των ορθοφωτοχαρτών ήταν στα 3 – 5 cm αλλά λόγω του μεγάλου όγκου πληροφορίας έγινε μετατροπή στα 30 cm. Μετά από την απαραίτητη ανάλυση και επεξεργασία οι ορθοφωτοχάρτες ταξινομήθηκαν στις απαραίτητες κλάσεις ενδιαιτημάτων. Το αποτέλεσμα αυτών χρησιμοποιήθηκε για την ταξινόμηση των δορυφορικών δεδομένων όπως αναλύεται στο κεφάλαιο της μεθοδολογίας.

Η διαδικασία συλλογής των δεδομένων αναφοράς έπαιρνε μέρος κάθε φορά παράλληλα με την πτήση – αποστολή του ΣμηΕΑ. Αφού γινόταν μια πρώτη αναγνώριση της κάθε παραλίας επιλέγονταν κάποια σημεία αναφοράς για την δημιουργία και τον προσανατολισμό των τομών που θα κάλυπταν την κάθε περιοχή μελέτης. Πάνω στις τομές γινόταν η συλλογή των υποβρύχιων φωτογραφιών. Η διαδικασία ολοκληρωνόταν με την ταξινόμηση των φωτογραφιών σε φακέλους και με την σχεδίαση των τομών στο *Google Earth* ώστε να γίνει

εύκολα η ταυτοποίηση τους και των υποβρύχιων φωτογραφιών πάνω στους τελικούς ορθοφωτοχάρτες. Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε ήταν ένα ζευγάρι κολυμβητικά πέδιλα, μία επαγγελματική υποβρύχια μάσκα (μάρκας Scubapro), μια υποβρύχια κάμερα (μάρκας GoPro – hero 4) και ένα βυθόμετρο χειρός. Κάθε φορά που άλλαζε το υποβρύχιο υπόστρωμα αποτυπωνόταν σε μια υποβρύχια φωτογραφία. Φυσικά υπήρχε ο περιορισμός του βάθους μιας και δεν υπήρχε καταδυτικός εξοπλισμός αυτόνομης κατάδυσης. Τα δεδομένα ξεκινούσαν από το 1 μέτρο βάθους μέχρι τα 15 μέτρα μέγιστο. Τα δεδομένα αναφοράς χρησιμοποιήθηκαν για την ταξινόμηση των ορθοφωτοχαρτών που έγιναν η βάση της ταξινόμησης των δορυφορικών εικόνων. Επίσης αποτέλεσαν αυτούσια και τα δείγματα εκτίμησης ακρίβειας για τα παραπάνω αποτελέσματα.

Πίνακας 3 : Πίνακας των συνολικών δεδομένων της έρευνας

Δεδομένα		Αριθμος φωτογραφιών ή εικόνων
Πεδίου	Υποβρύχιες φωτογραφίες	99
	ΣμηΕΑ	1.527
Δορυφορικά		
	Landsat - 8	6
	Sentinel - 2	6

2.3 Περιγραφή περιοχών μελέτης

Περιοχές Μελέτης



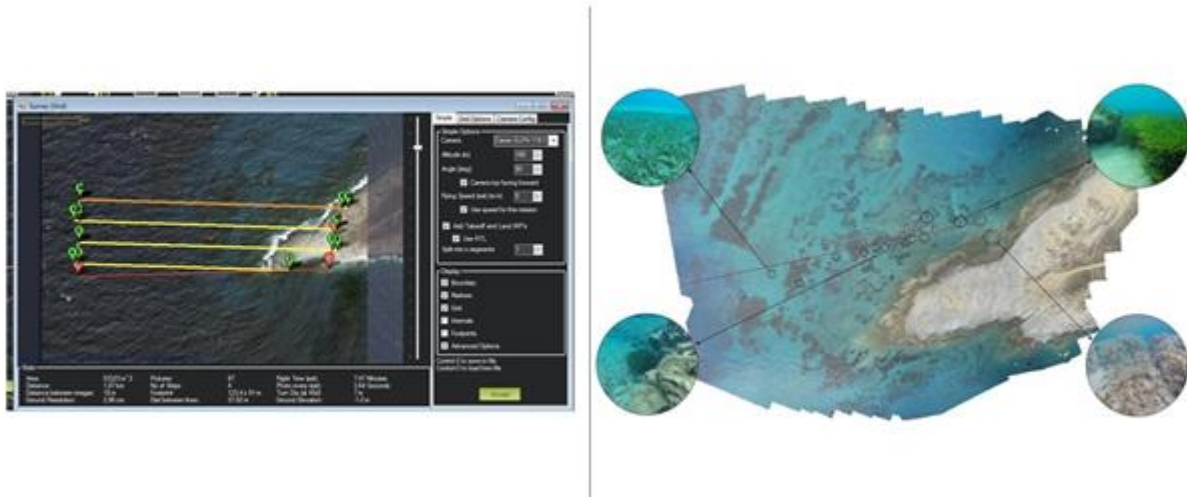
Εικόνα 1 : Παρουσίαση Περιοχών Μελέτης

2.3.1 Νάξος

Η Νάξος εντοπίζεται Νότιο - Ανατολικά των Κυκλάδων με συντεταγμένες $37^{\circ}03'11''\text{N}$, $25^{\circ}28'35''\text{E}$. Συγκεκριμένα η περιοχή μελέτης ήταν το ακρωτήριο στον Άγιο Προκόπιο. Το εμβαδόν της περιοχής μελέτης είναι 53.323 m^2 . Η Landsat – 8 εικόνα που επιλέχθηκε ήταν η "LC08_L1TP_181034_20160611_20170324_01_T1" με ημερομηνία δειγματοληψίας 11 Ιουνίου 2016. Αντίστοιχα η Sentinel – 2 εικόνα που επιλέχθηκε ήταν η "S2A_MSIL1C_20160528T090022_N0202_R007_T35SLB_20160528T090826" με ημερομηνία δειγματοληψίας 28 Μαΐου 2016. Ο χρόνος πτήσης του ΣμηΕΑ ήταν 7:47 λεπτά, τραβήχτηκαν συνολικά 97 αεροφωτογραφίες και η χωρική τους ανάλυση ήταν 2.96 cm . Η δειγματοληψία για την συλλογή δεδομένων αναφοράς (ground truthing data) έγινε σε μία ευθεία γραμμή κατά μήκος της περιοχής πτήσης. Συλλέχθηκαν συνολικά 50 υποβρύχιες φωτογραφίες απ' τις οποίες χρησιμοποιήθηκαν οι 13. Τα βάθη δειγματοληψίας ήταν $1 - 20 \text{ m}$.



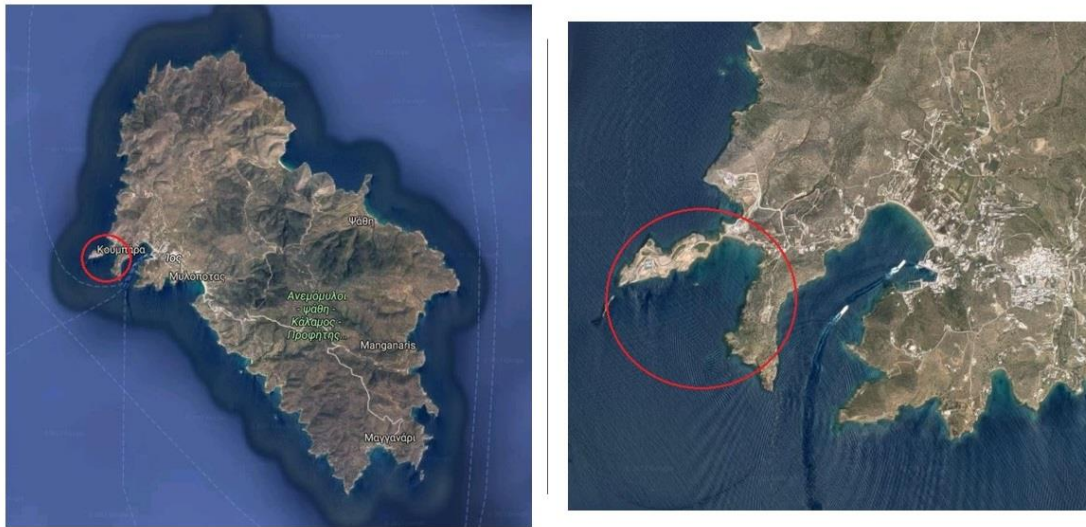
Εικόνα 2 : Περιοχή μελέτης Νάξος



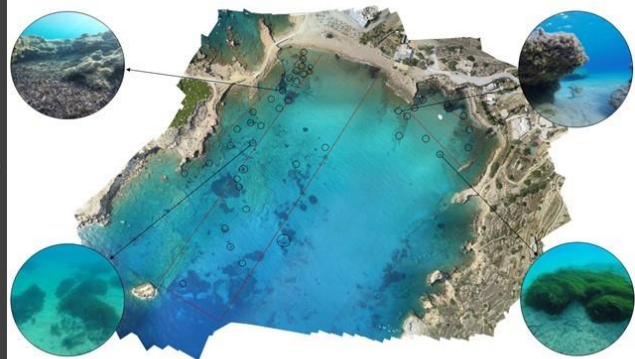
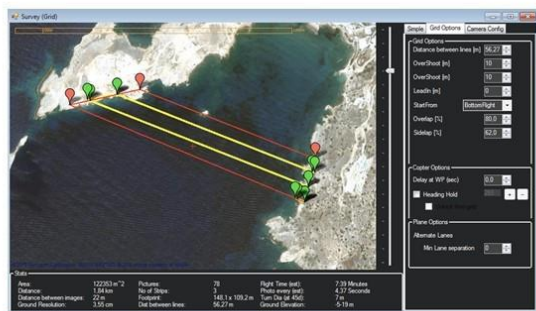
Εικόνα 3 : Σχεδιασμός πτήσης και δειγματοληψία δεδομένων αναφοράς

2.3.2 Ίος

Η Ίος εντοπίζεται νότια των Κυκλάδων με συντεταγμένες $36^{\circ}43'00''\text{N}$, $25^{\circ}20'00''\text{E}$. Η περιοχή μελέτης ήταν η παραλία με την ονομασία Κουμπάρα. Η έκταση της παραλία είναι 196.408 m^2 . Η Landsat – 8 εικόνα που χρησιμοποιήθηκε ήταν η "*LC08_L1TP_181035_20160611_20170324_01_T1*" με ημερομηνία δειγματοληψίας της 11 Ιουνίου 2016 ενώ η Sentinel – 2 ήταν η "*S2A_MSIL1C_20160528T090022_N0202_R007_T35SLA_20160528T090826*" με ημερομηνία λήψης 28 Μαΐου 2016. Ο συνολικός χρόνος πτήσης του ΣμηΕΑ ήταν 40:50 λεπτά και η συνολική απόσταση 9.94 km. Τραβήχτηκαν 406 αεροφωτογραφίες με χωρική ανάλυση 3.55 cm, απ' τις οποίες χρησιμοποιήθηκαν οι 358. Πραγματοποιήθηκαν 3 δειγματοληψίες δεδομένων αναφοράς (ground truth data). Η πρώτη σε ευθεία γραμμή, η δεύτερη σε μορφή "Π" και η τρίτη σε μορφή τραπεζίου. Συνολικά συλλέχθηκαν 132 υποβρύχιες φωτογραφίες και χρησιμοποιήθηκαν οι 44.



Εικόνα 4 : Περιοχή μελέτης Ιος



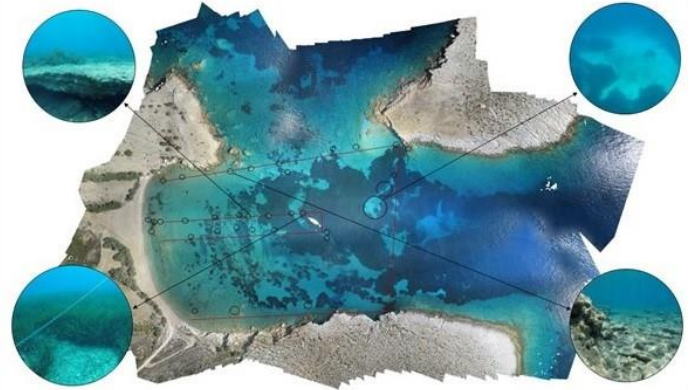
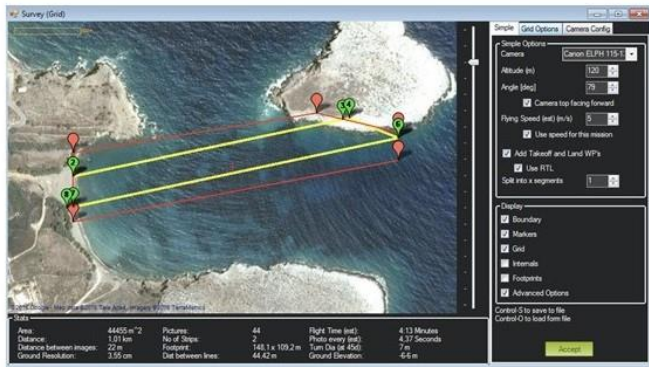
Εικόνα 5 : Σχεδιασμός πτήσης και δειματοληψία δεδομένων αναφοράς

2.3.3 Φολέγανδρος

Με συντεταγμένες $36^{\circ}37'N$, $24^{\circ}54'E$ η Φολέγανδρος εντοπίζεται νότια των Κυκλάδων. Συγκεκριμένα η περιοχή μελέτης ήταν η παραλία με την ονομασία Λιβάδι. Η συνολική έκταση της είναι 57.298 m^2 . Για την κάλυψη της χρειάστηκε να πραγματοποιηθούν δύο πτήσεις. Ο χρόνος των πτήσεων ήταν περίπου 8 λεπτά στο σύνολο. Τραβήχτηκαν 331 φωτογραφίες με χωρική ανάλυση 3.55 cm . Πραγματοποιήθηκαν δύο δειγματοληψίες δεδομένων αναφοράς (ground truth data) σε μορφή "Π". Συλλέχθηκαν 73 υποβρύχιες φωτογραφίες απ' τις οποίες χρησιμοποιήθηκαν οι 36. Τέλος το ρηχό όριο της Ποσειδωνίας ξεκινούσε στα 4 m βάθος.



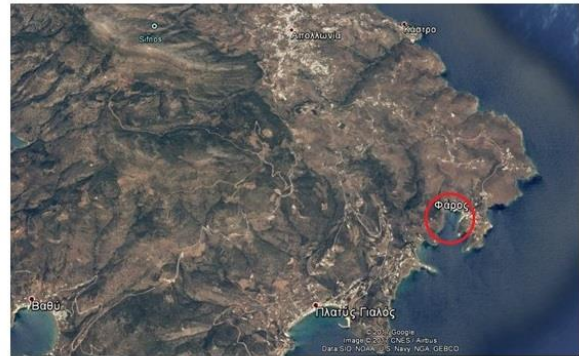
Εικόνα 6 : Περιοχή μελέτης Φολέγανδρος



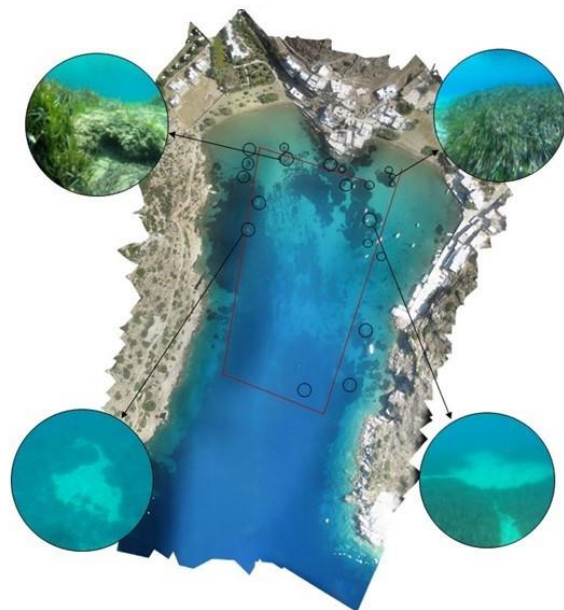
Εικόνα 7 : Σχεδιασμός πτήσης και δειγματοληψία δεδομένων αναφοράς

2.3.4 Σίφνος

Η Σίφνος εντοπίζεται στις Δυτικές Κυκλάδες με συντεταγμένες 36°58'00"N, 24°43'00"E. Η περιοχή μελέτης ήταν η παραλία Φάρος που βρίσκεται νότια του νησιού με έκταση 82.282 m². Η Landsat – 8 εικόνα που επιλέχθηκε ήταν η "LC08_L1TP_182034_20160618_20170323_01_T1" και η Sentinel – 2 ήταν η "S2A_MSIL1C_20160421T090552_N0201_R050_T35SKA_20160421T091226". Η πρώτη έχει ημερομηνία λήψης 18 Ιουνίου 2016 ενώ η δεύτερη 21 Απριλίου 2016. Πραγματοποιήθηκε μία πτήση με διάρκεια 9 λεπτών για την κάλυψη της παραλία από το ΣμηΕΑ και πάρθηκαν 238 αεροφωτογραφίες με χωρική ανάλυση 3.55 cm, από τις οποίες χρησιμοποιήθηκαν οι 232 για την δημιουργία του ορθοφωτοχάρτη. Η δειγματοληψία δεδομένων αναφοράς (ground truth data) έγινε σε μορφή ορθογωνίου παραλληλογράμμου για την κάλυψη της παραλίας. Από τις 37 υποβρύχιες φωτογραφίες χρησιμοποιήθηκαν οι 22 ως δεδομένα αναφοράς.



Εικόνα 8 : Περιοχή μελέτης Σίφνος



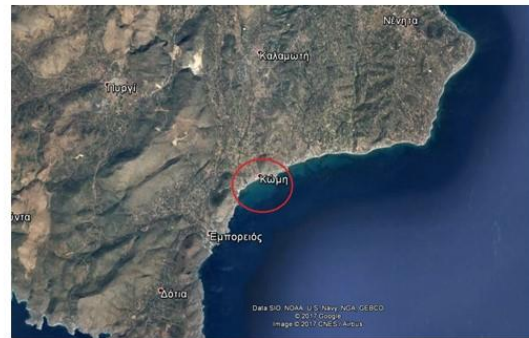
Εικόνα 9 : Σχεδιασμός πτήσης και δειγματοληψία δεδομένων αναφοράς

2.3.5 Τήνος

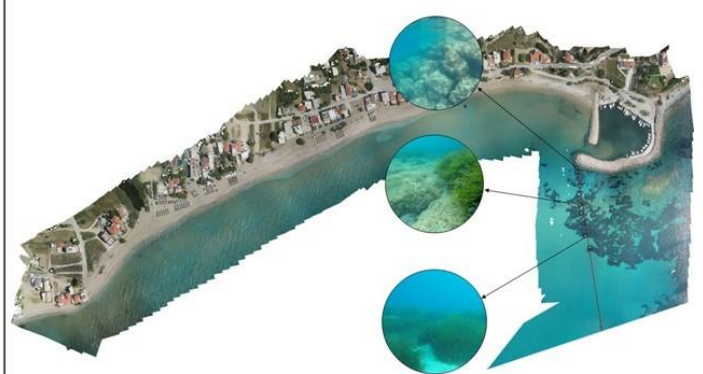
Η Τήνος βρίσκεται Βόρειο Ανατολικά των Κυκλάδων με συντεταγμένες $37^{\circ}57'76''\text{N}$, $25^{\circ}16'27''\text{E}$. Μελετήθηκε η παραλία Άγιος Σώστης που εντοπίζεται στο Νότιο τμήμα του νησιού. Η έκταση της περιοχής μελέτης ήταν 335.768 m^2 και πραγματοποιήθηκαν 5 πτήσεις για την κάλυψή της με την χρήση ΣμηΕΑ. Ο χρόνος πτήσης ήταν 28 λεπτά και συλλέχθηκαν 606 αεροφωτογραφίες με χωρική ανάλυση στα 3.55 cm , από τις οποίες χρησιμοποιήθηκαν οι 530 για την παραγωγή του τελικού ορθοφωτοχάρτη. Η δειγματοληψία δεδομένων αναφοράς έγινε σε μορφή τριγώνου. Πάρθηκαν 54 υποβρύχιες φωτογραφίες σε βάθη 1 ως 10 μέτρα, από τις οποίες χρησιμοποιήθηκαν οι 12. Η Landsat – 8 εικόνα που χρησιμοποιήθηκε είχε ονομασία "LC08_L1TP_182034_20160618_20170323_01_T1" και η Sentinel – 2 "S2A_MSIL1C_20160528T090022_N0202_R007_T35SLB_20160528T090826". Η λήψη της πρώτης έγινε στις 18 Ιουνίου 2016 ενώ της δεύτερης στις 28 Μαΐου 2016.



Εικόνα 10 : Περιοχή μελέτης Τήνος



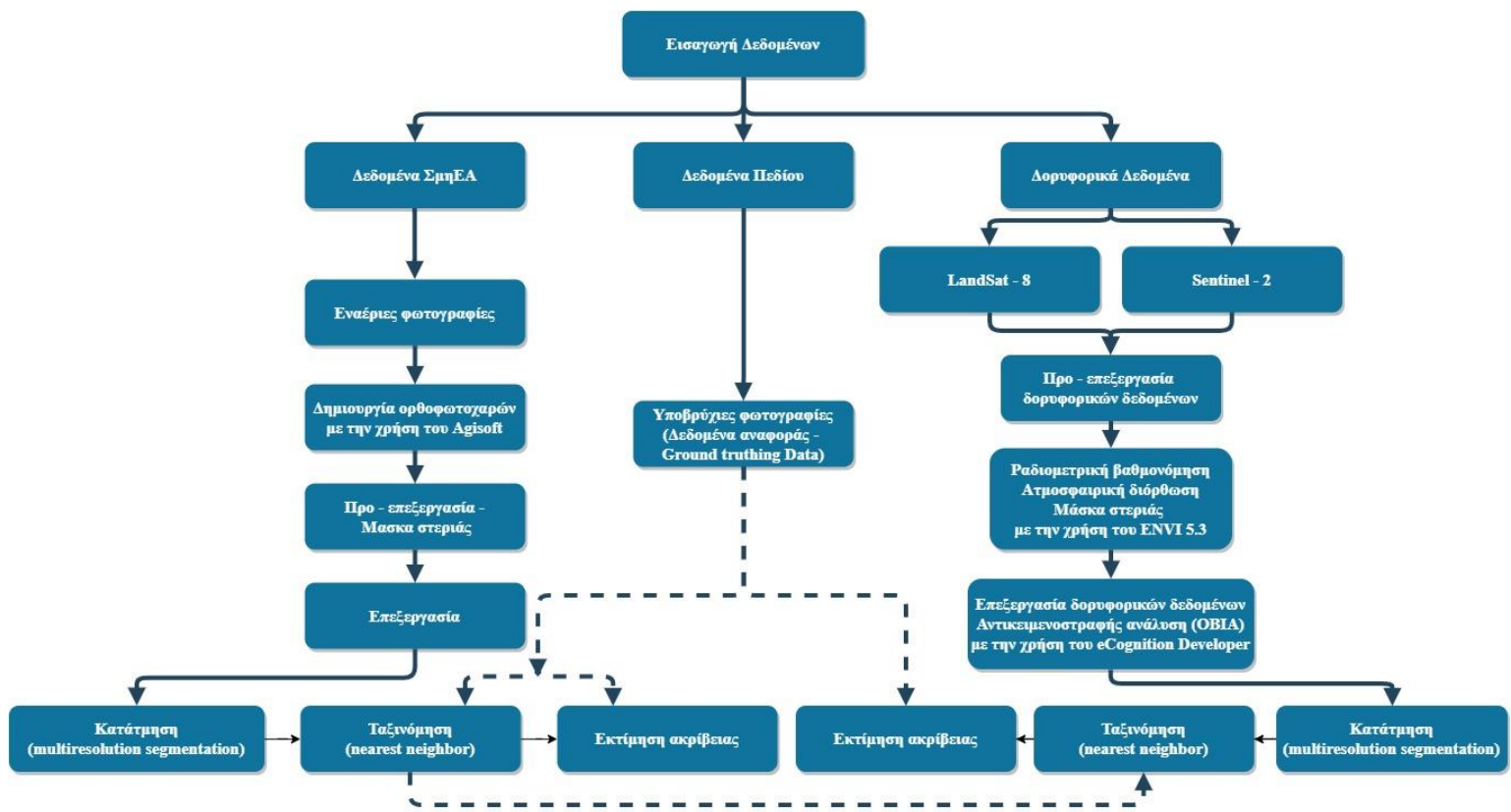
Εικόνα 13 : Περιοχή μελέτης Χίος



Εικόνα 12 : Σχεδιασμός πτήσης και δειγματοληψία δεδομένων αναφοράς

3. Μεθοδολογία

Παρακάτω αναλύεται η μεθοδολογία για την επεξεργασία και την εξαγωγή αποτελεσμάτων των δορυφορικών δεδομένων. Τα δυο πρώτα πακέτα δεδομένων, των ΣμηΕΑ και των δεδομένων πεδίου, έχουν αναλυθεί σε προηγούμενη έρευνα του ίδιου συγγραφέα. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιούνται τα αποτελέσματα τους όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα ροής.



Εικόνα 14 : Παρουσίαση διαγράμματος ροής της μεθοδολογίας

3.1 Προ επεξεργασία δορυφορικών δεδομένων

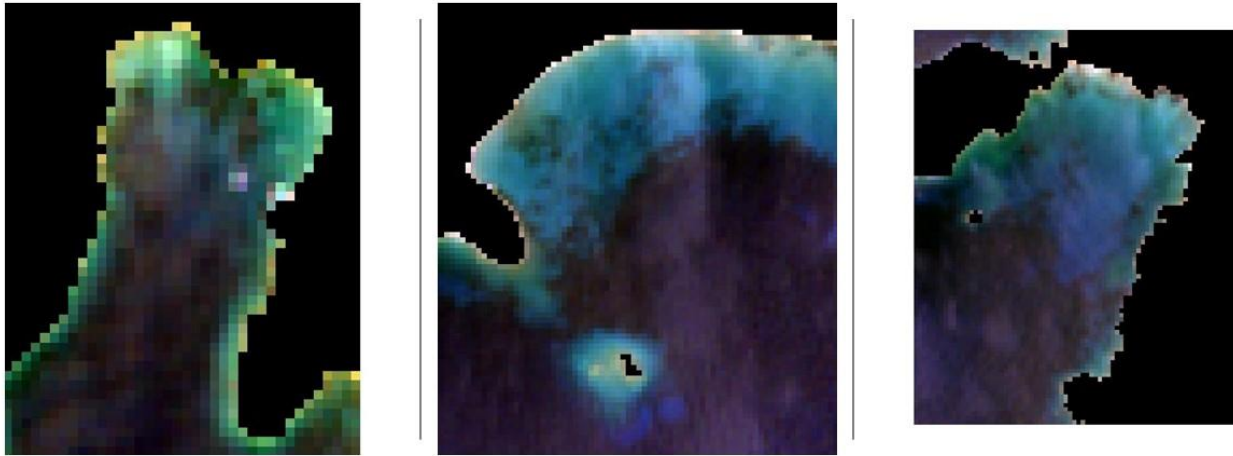
Ραδιομετρική βαθμονόμηση – Ατμοσφαιρική διόρθωση – Μάσκα στεριάς

Τα δεδομένα που καταγράφονται από δορυφόρους μπορεί να περιέχουν σφάλματα που μπορεί να οφείλονται στους αισθητήρες καταγραφής αλλά και στις επιδράσεις της ατμόσφαιρας. Η διόρθωση τους αποτελεί ένα βασικό βήμα για την σωστή εξαγωγή αποτελεσμάτων. Η ραδιομετρική βαθμονόμηση μετατρέπει τις τιμές των pixel μιας εικόνας σε τιμές ακτινοβολίας. Η ανακλώμενη ακτινοβολία μπορεί να περιέχει και τιμές από την ακτινοβολία της ατμόσφαιρας. Η ατμοσφαιρική διόρθωση μειώνει την επίδραση των ατμοσφαιρικών παραγόντων στις τιμές των pixel.

Όσον αφορά τις Landsat-8 εικόνες η παραπάνω διαδικασία πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό *ENVI 5.3* με τις εντολές *radiometric calibration* και *QUick Atmospheric Correction (QUAC)* αντίστοιχα. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω η πρώτη διεργασία βαθμονομεί τις τιμές των δεδομένων σε τιμές ακτινοβολίας, ανακλαστικότητας. Η δεύτερη πραγματοποιεί ατμοσφαιρική διόρθωση στο ορατό και υπέρυθρο φάσμα χρησιμοποιώντας τον προσδιορισμό των μηκών κύματος, των μπαντών του αισθητήρα και την ραδιομετρική βαθμονόμηση τους. (Bernstein et all 2012)

Για τα Sentinel-2 δεδομένα χρησιμοποιήθηκε ο επεξεργαστής *Sen2Cor* για την μετατροπή level 1 δεδομένων σε level 2, δηλαδή ατμοσφαιρικά δεδομένα. Με έτοιμο κώδικα, δίνοντας απλά την πρώτη εικόνα, το *Sen2Cor* βγάζει αποτελέσματα για όλες της μπάντες και τις χωρικές αναλύσεις των Sentinel-2 δεδομένων.

Τελευταίο βήμα της προ επεξεργασίας είναι η μάσκα στεριάς όπου πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό *ENVI 5.3*. Μέσω της διαδικασίας αυτής, αφαιρείται η πληροφορία των pixel που αντιστοιχούν στην στεριάς δίνοντας έμφαση στις τιμές της θάλασσας. Χρησιμοποιήθηκε η υπέρυθρη μπάντα της κάθε εικόνας για την διαδικασία της μάσκας. Στις τιμές της υπέρυθρης ακτινοβολίας γίνεται έντονος διαχωρισμός τιμών στεριάς – θάλασσας. Κάνοντας μια τομή (*transect*) μεταξύ στεριάς και θάλασσας, βρέθηκε για την κάθε εικόνα η τιμή – κατώφλι όπου γίνεται η αλλαγή στις τιμές των pixel. Έπειτα με τις εντολές *build mask* και *apply mask* δημιουργείται η μάσκα που αφαιρεί όλες τις τιμές που προσδιορίστηκαν ως τιμές στεριάς και δίνει την τιμή 0 και κρατάει τις τιμές θάλασσας δίνοντας τους την τιμή 1 αρχικά. Με την εφαρμογή της μάσκας στην εικόνα, οι τιμές 1 αλλάζουν με την κάθε τιμή των pixel που αντιστοιχεί εν τέλει σε θάλασσα.



Εικόνα 15 : Παραδείγματα μάσκας στεριάς σε Sentinel 2 εικόνες. Σίφνος, Τήνος, Ίος αντίστοιχα

3.2 Επεξεργασία δορυφορικών δεδομένων – Αντικειμενοστραφής ανάλυση

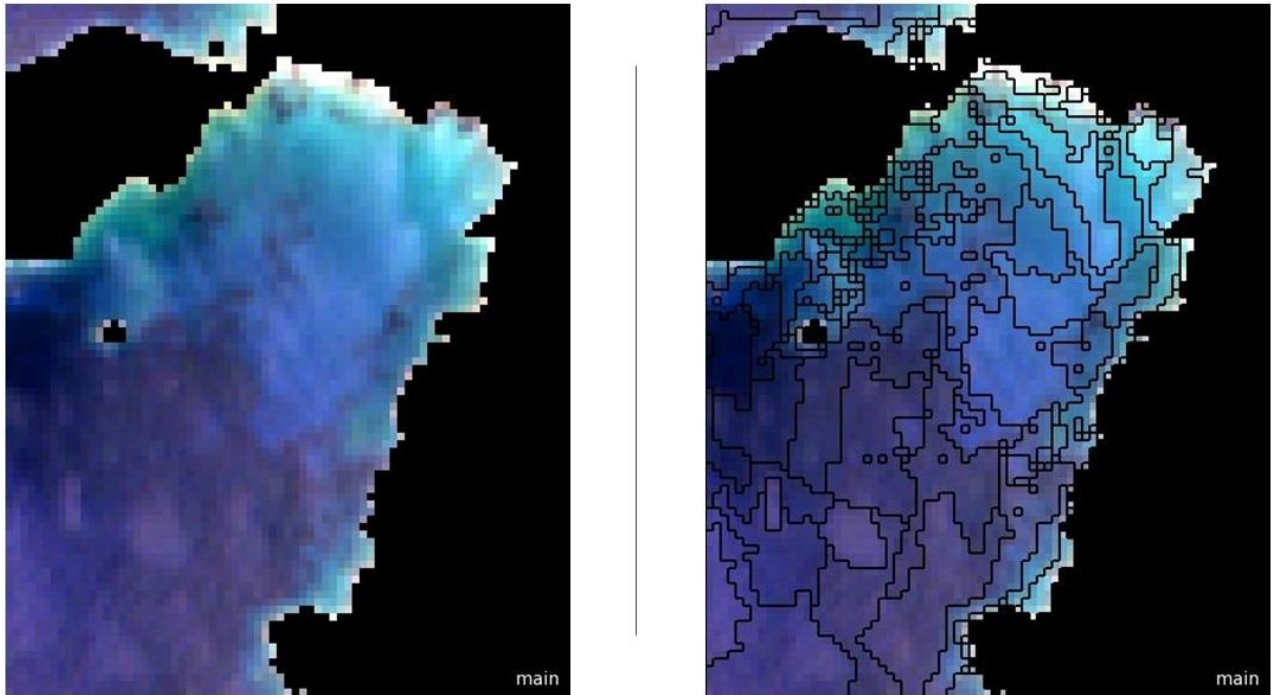
Η επεξεργασία των εικόνων έγινε στο *eCognition Developer 64*. Η αντικειμενοστραφής ανάλυση (Object Based Image Analysis – OBIA) βασίζεται στην δημιουργία αντικειμένων για την επεξεργασία των δεδομένων. Ξεκινώντας με την κατάτμηση αυτών, στην ταξινόμηση τους και έπειτα στην εκτίμηση ακρίβειας.

3.2.1 Κατάτμηση δορυφορικών δεδομένων

Η κατάτμηση δημιουργεί ομογενή τμήματα, αντικείμενα. Ως αντικείμενα ορίζονται ομάδες εικονοστοιχείων με κοινά χαρακτηριστικά. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος πολλαπλής διακριτικής ικανότητας (multiresolution segmentation). Ο αλγόριθμος αυτός συγχωνεύει διαδοχικά αντικείμενα ή εικονοστοιχεία της εικόνας. Πρόκειται για μια κατάτμηση από το ειδικό στο γενικό (bottom-up segmentation), η οποία βασίζεται σε μια τεχνική συγχώνευσης ανά ζεύγη. Η κατάτμηση πολλαπλής διακριτικής ικανότητας είναι μια διαδικασία βελτιστοποίησης η οποία για ένα δεδομένο αριθμό αντικειμένων εικόνας, ελαχιστοποιεί την μέση ετερογένεια και μεγιστοποιεί την αντίστοιχη ομοιογένεια τους.

Το τελικό αποτέλεσμα της κατάτμησης εξαρτάται από τρεις βασικούς παραμέτρους (Matikainen *et al.*, 2017). Τα βάρη των καναλιών της εικόνας (image layer weights), της παραμέτρου κλίμακας (scale parameter) και την σύνθεση του κριτηρίου ομοιογένειας (composition of homogeneity criterion) όπου ορίζεται από δυο κριτήρια, το σχήμα (shape) και την συμπαγότητα (compactness)

- Τα βάρη των καναλιών (image layer weights) της εικόνας επιτρέπουν στον χρήστη να επιλέξει κατά πόσο τα ξεχωριστά κανάλια της εικόνας θα υπολογίζονται για το αποτέλεσμα της κατάτμησης. Όσο μεγαλύτερη η τιμή του βάρους σε ένα κανάλι, περισσότερη η φασματική πληροφορία που θα υπολογιστεί από αυτό.
- Η κλίμακα (scale) ορίζει την ετερογένεια των αντικειμένων που θα δημιουργηθούν. Όσο μεγαλύτερη είναι τιμή της κλίμακας, μεγαλύτερα αντικείμενα θα δημιουργούνται. Ανάλογα με τον αν η περιοχή μελέτης είναι ομοιογενείς ή ετερογενείς αλλάζει και η τιμή της κλίμακας. Σε μια περιοχή μεγάλης ομοιογένειας θα δοθεί μεγάλη τιμή κλίμακας ώστε να δημιουργηθούν μεγάλα ομοιογενή αντικείμενα. Το αντίθετο θα συμβεί σε μια ετερογενείς περιοχή μελέτης.
- Το κριτήριο ομοιογένειας (homogeneity criterion) του αλγορίθμου της κατάτμησης πολλαπλής διακριτικής ικανότητας μετρά πόσο ομοιογενές ή ετερογενές είναι ένα αντικείμενο ως προς τον εαυτό του. Υπολογίζετε ως συνδυασμός των ιδιοτήτων χρώματος και σχήματος του αρχικού αντικειμένου. Η ομοιογένεια του χρώματος βασίζεται στην τυπική απόκλιση των φασματικών χρωμάτων. Η ομοιογένεια του σχήματος βασίζεται στην απόκλιση ενός συμπαγούς (ή ομαλού) σχήματος. Το κριτήριο ομοιογένειας μπορεί να προσαρμοστεί με την στάθμιση των κριτηρίων του σχήματος (shape) και συμπαγοποίησης (compactness). Το κριτήριο σχήματος παίρνει τιμές 0.0 - 0.9. Η τιμή αυτή καθορίζει σε ποιο βαθμό το σχήμα επηρεάζει την κατάτμηση σε σχέση με το χρώμα. Αντίστοιχα, η τιμή της συμπαγότητας ορίζει κατά πόσο συμπαγή θα είναι τα σχήματα που θα δημιουργηθούν και παίρνει τιμές από 0 – 1 (Dimitrakopoulos, 2010).



Εικόνα 16 : Παράδειγμα κατάτμησης πολλαπλής διακριτικής ικανότητας

3.2.2 Ταξινόμηση δορυφορικών δεδομένων

Η διαδικασία της ταξινόμησης ξεκινάει από τον σωστό ορισμό των κλάσεων. Μετά την ανάλυση των δεδομένων αναφοράς (ground truthing data) και το δορυφορικών δεδομένων επιλέχθηκαν τρεις (3) κύριες κλάσεις. Οι τρεις βασικές κλάσεις είναι η θαλάσσια βλάστηση (seagrass), η άμμος (sand) και ο ύφαλος (reef) (Yeadon and King, 1999). Η ταξινόμηση έγινε. Το επόμενο βήμα ήταν η επιλογή δειγμάτων εκπαίδευσης (samples) για των προσδιορισμό της κάθε κλάσης. Η επιλογή των δειγμάτων έγινε βάση των αντικειμένων από το αποτέλεσμα της κατάτμησης. Επίσης η επιλογή αυτή βασίστηκε στα αποτελέσματα ταξινόμησης δεδομένων ΣμηΕΑ (Ορθοφωτοχάρτες). Για την κάθε περιοχή μελέτης υπήρξε από ένα διανυσματικό αρχείο (Vector file) ταξινόμησης με τις επιλεγμένες κλάσεις. Χρησιμοποιήθηκε ως θεματικό επίπεδο (Thematic layer) για την εξαγωγή δειγμάτων ταξινόμησης. Με τις εντολές *assign class by thematic layer* και *classify image object to samples* του *eCognition Developer* οι κλάσεις του θεματικού επιπέδου αντιστοιχήθηκαν με τις κλάσεις της δορυφορικής εικόνας. Τέλος γίνεται μια ταξινόμηση των κλάσεων στα αντίστοιχα αντικείμενα της δορυφορικής εικόνας όπου δημιουργούνται και τα δείγματα για την ταξινόμησης ολόκληρης της εικόνας.

Μέσω της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης, χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος του κοντινότερου γείτονα (k-nearest neighbor) και ορισμένα χαρακτηριστικά (features) για τον προσδιορισμό των κλάσεων και το τελικό αποτέλεσμα της ταξινόμησης. Ο αλγόριθμος k-nearest neighbor (k-NN) είναι μια μέθοδος ταξινόμησης αντικειμένων με βάση τα κοντινότερα δείγματα εκπαίδευσης (samples). Ο k-NN είναι μια λειτουργία εκμάθησης όπου ο αλγόριθμος εφαρμόζεται για κάθε αντικείμενο τοπικά και ο συνολικός υπολογισμός του αποτελέσματος αναβάλλεται μέχρι την τελική ταξινόμηση. Είναι ο πιο απλός από όλους τους αλγορίθμους μηχανικής εκμάθησης. Κάθε αντικείμενο ταξινομείται με βάση την πλειοψηφία των γειτόνων του, με το αντικείμενο να ανατίθεται στην πιο κοινή κλάση μεταξύ k κοντινών γειτόνων. Το k είναι ένας θετικός ακέραιος όπου εκφράζει τον αριθμό δειγμάτων που θα ληφθούν υπόψη ως κοντινοί γείτονες για ένα αντικείμενο. Ο αριθμός του εξαρτάται από τα υπάρχοντα δεδομένα. Οι μεγάλες τιμές δίνουν ένα καλύτερο οπτικό αποτέλεσμα στην ταξινόμηση αλλά τα όρια μεταξύ των κλάσεων είναι λιγότερο διακριτά. Το *eCognition Developer 9.0.1* έχει ως προεπιλεγμένο αλγόριθμο ταξινόμησης του κοντινότερου γείτονα με το k να έχει την τιμή 1.

Το λογισμικό υπολογίζει την απόσταση για τον κοντινότερο γείτονα με τον ακόλουθο τύπο:

$$d = \sqrt{\sum_f \left(\frac{V_f(s) - V_f(o)}{\sigma_f} \right)^2}$$

Όπου:

- d = Η απόσταση μεταξύ του δείγματος (sample) και του αντικειμένου της εικόνας (image object)
- $V_f(s)$ = Η χαρακτηριστική τιμή ενός δείγματος (sample) για το χαρακτηριστικό f
- $V_f(o)$ = Η χαρακτηριστική τιμή ενός αντικειμένου της εικόνας (image object) για το χαρακτηριστικό f
- σ_f = Η τυπική απόκλιση των χαρακτηριστικών τιμών για το χαρακτηριστικό f

Τα χαρακτηριστικά (features) των κλάσεων προσδίδουν μια βάση για την ταξινόμηση της δορυφορικής εικόνας. Στην παρούσα έρευνα η ταξινόμηση βασίστηκε στις μέσες τιμές των αντικειμένων για τις μπάντες στο ορατό φάσμα (Red, Green, Blue), στην φωτεινότητα (brightness) και στην μέγιστη διαφορά των μπαντών (max difference). Η φωτεινότητα εκφράζει τις μέσες τιμές των αντικειμένων σε όλες τις μπάντες και η μέγιστη διαφορά, την μέγιστη διαφορά των τιμών των αντικειμένων. Η παραπάνω διαδικασία βασίστηκε σε δοκιμές και αποτυχίες (trials and errors) για να βγει το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα.

3.2.3 Εκτίμηση Ακρίβειας

Μετά την ολοκλήρωση της ταξινόμησης ακολουθεί η εκτίμηση ακρίβειας της. Μια διαδικασία απαραίτητη μιας και χωρίς τα ποσοστά ακρίβειας το αποτέλεσμα της ταξινόμησης είναι αβάσιμο. Επίσης μας δείχνει πόσο κοντά είμαστε στην ακριβή απεικόνιση του πεδίου, καθώς, και αν ο χρήστης μπόρεσε να εξάγει τα επιθυμητά αποτελέσματα.

Στην παρούσα μελέτη για την εκτίμηση ακρίβειας χρησιμοποιήθηκαν τα αρχικά δεδομένα πεδίου (Ground truthing data). Από τα δεδομένα των ΣμηΕΑ εξήχθησαν διανυσματικά αρχεία με επιλεγμένα τα αντικείμενα όπου υπήρχε η αντίστοιχη υποβρύχια φωτογραφία για τον προσδιορισμό του ενδιαιτημάτος. Τα αρχεία αυτά χρησιμοποιήθηκαν ως θεματικά επίπεδα (thematic layers) στα δορυφορικά δεδομένα. Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία όπως αναφέρθηκε στην ενότητα της ταξινόμησης, με τις εντολές assign class by thematic layer και classify image object to samples, έγινε ο ορισμός των δειγμάτων εκτίμησης ακρίβειας. Συγκρίνοντας τα δείγματα αυτά με το αποτέλεσμα των ταξινομήσεων, μέσω του λογισμικού υπολογίστηκαν οι πίνακες ακρίβειας (accuracy matrix). Στους πίνακες δίνεται η ακρίβεια χρήστη, η ακρίβεια παραγωγού, η ολική ακρίβεια της ταξινόμησης και ο συντελεστής Κ.

Πίνακας 4 : Παράδειγμα πίνακα ακριβειών

User \ Reference Class	sand	seagrass	reef	Sum
sand	120	36	51	207
seagrass	7	133	8	148
reef	24	30	111	165
Sum	151	199	170	
Producer	0.79	0.67	0.65	
User	0.58	0.90	0.67	
	Overall Accuracy	0.70		
	KIA	0.55		

Συγκεκριμένα, η ακρίβεια του χρήστη (user accuracy, commission error) εκφράζει το σφάλμα της συμπερίληψης, δηλαδή πόσα αντικείμενα από διάφορες κλάσεις ταξινομήθηκαν σε μια λάθος κλάση. Αντίστοιχα η ακρίβεια του παραγωγού (producer accuracy, omission error) εκφράζει το σφάλμα της παράλειψης, δηλαδή πόσα αντικείμενα δεν ταξινομήθηκαν σωστά στην κλάση που έπρεπε. Η ακρίβεια του χρήστη εξάγεται από το άθροισμα των αντικειμένων, για την κάθε κλάση, των γραμμών, ενώ αντίστοιχα η ακρίβεια του παραγωγού από το άθροισμα των στηλών. Η συνολική ακρίβεια (Overall Accuracy) υπολογίζεται ως ο λόγος του αθροίσματος της διαγώνιου του πίνακα, όπου φαίνονται τα συνολικά αντικείμενα για την κάθε κλάση ξεχωριστά, δια του συνολικού αριθμού των αντικειμένων, το άθροισμα δηλαδή των στηλών "sum". Τέλος ο συντελεστής K (KIA) μετρά την συνολική συμφωνία του πίνακα. Σε αντίθεση με την συνολική ακρίβεια ο K λαμβάνει υπόψιν και μη διαγώνια στοιχεία (Freire, 1987). Σύμφωνα με τους (Hudson and Ramm, 1987) ο τύπος για τον συντελεστή K είναι ο εξής:

$$\hat{K} = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r X_{i+} X_{+i}}{N^2 - \sum_{i=1}^r X_{i+} X_{+i}}$$

Όπου:

- r : Ο αριθμός των γραμμών και των στηλών του πίνακα ακριβείας
- N : Ο συνολικός αριθμός των δεδομένων
- X_{ii} : Δεδομένα στην στήλη i και γραμμή i
- X_{i+} : Ελάχιστο σύνολο γραμμών i
- X_{+i} : Ελάχιστο σύνολο στηλών i

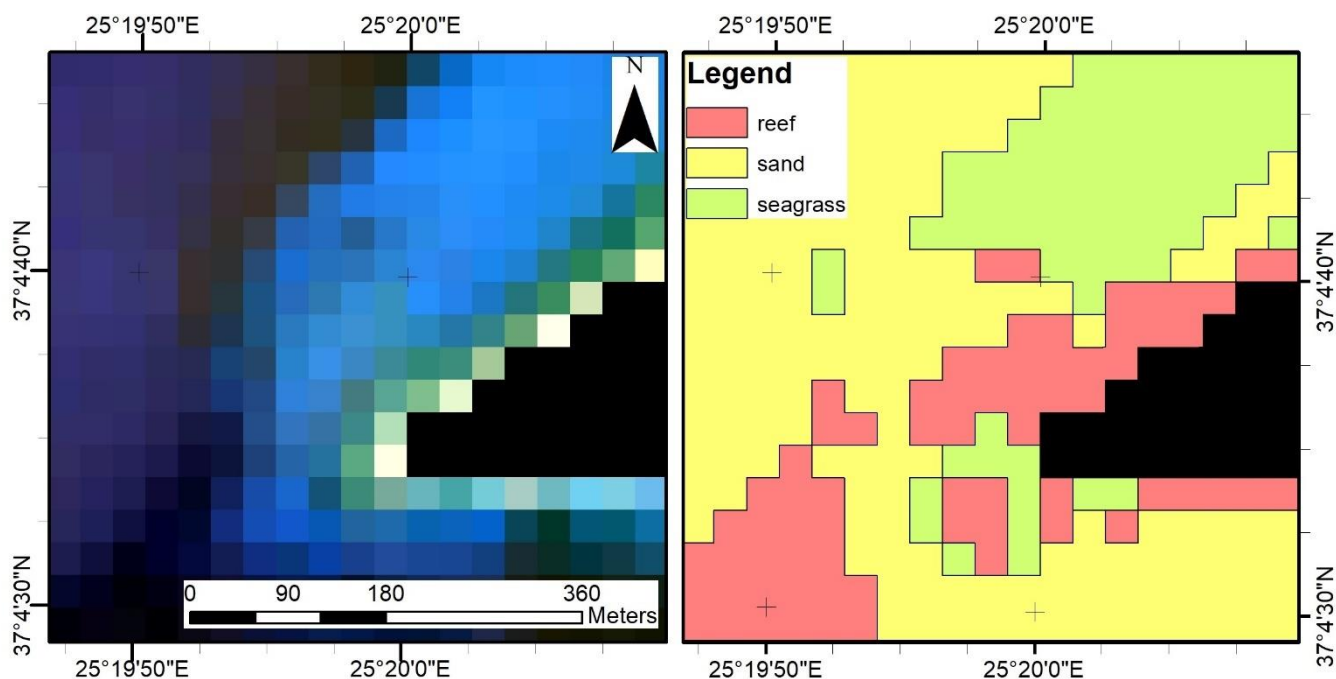
4. Αποτελέσματα

Στην παρούσα ενότητα γίνεται παρουσίαση και σχολιασμός των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την προαναφερθέντα μεθοδολογία. Για το κάθε νησί δίνονται ο τελικός χάρτης της ταξινόμησης και περιγραφή των κλάσεων και ο πίνακας ακριβειών.

4.1 Νάξος

Η περιοχή μελέτης της Νάξου χαρακτηρίζεται από τις τρεις βασικές κλάσεις (Υφάλος, Άμμος, Ποσειδωνία). Σε αντίθεση με τις άλλες παραλίες, στην Νάξο και οι τρεις κλάσεις εντοπίζονται καθ' όλη την έκταση της περιοχής μελέτης χωρίς σαφή διαχωρισμό. Έγινε ταξινόμηση σε δορυφορικές εικόνες Landsat – 8 και Sentinel – 2 με 30 και 10 μέτρα χωρική ανάλυση αντίστοιχα. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα.

Landsat – 8



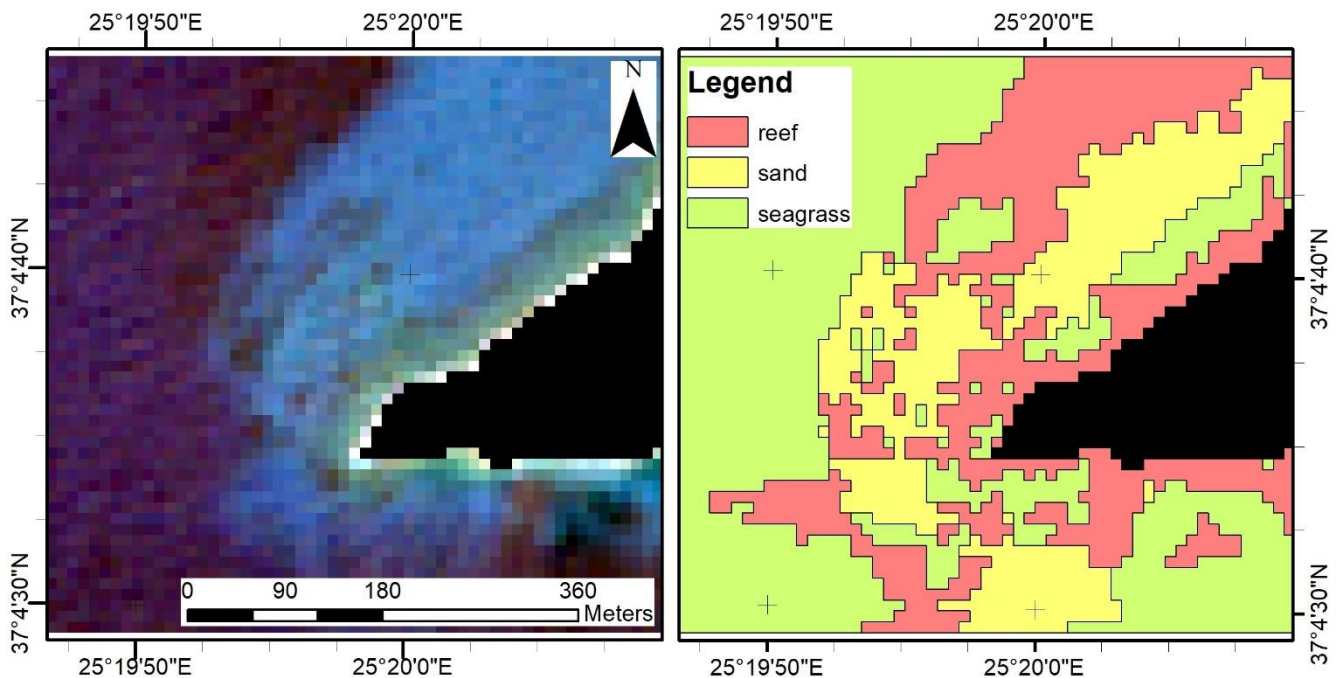
Εικόνα 17 : Παρουσίαση αποτελέσματος ταξινόμησης σε Landsat - 8 εικόνα. Νάξος

Η περιοχή μελέτης της Νάξου έχει τα χαμηλότερα ποσοστά ακρίβειας στα δορυφορικά δεδομένα του Landsat – 8. Σύμφωνα με τον πίνακα ακριβειών οι κλάσεις της θαλάσσιας βλάστησης και της άμμου δεν εντοπίζεται καθόλου. Αυτό σημαίνει πως κανένα εικονοστοιχείο των αντικειμένων που επιλέχθηκαν για την εκτίμηση ακρίβειας δεν ταξινομήθηκε σωστά. Η κλάση του υφάλου έχει πολύ χαμηλά ποσοστά ανίχνευσης με 25 % και 17 % ακρίβεια παραγωγού και χρήστη αντίστοιχα. Η συνολική ακρίβεια ανέρχεται στο 11 % με συντελεστή Κ 0.36. Αυτό σημαίνει ότι η ταξινόμηση είναι λανθασμένη για την συγκεκριμένη περιοχή.

Πίνακας 5 : Πίνακας ακριβειών ταξινόμησης Landsat - 8. Νάξος

User \ Reference Class	sand	seagrass	reef	Sum
sand	0	0	8	8
seagrass	0	0	1	1
reef	3	12	3	18
Sum	3	12	12	
Producer	0.00	0.00	0.25	
User	0.00	0.00	0.17	
	Overall Accuracy	0.11		
	KIA	0.36		

Sentinel - 2



Εικόνα 18 : Παρουσίαση αποτελέσματος ταξινόμησης σε Sentinel - 2 εικόνα. Νάξος

Στην Sentinel – 2 εικόνα με μεγαλύτερη χωρική ανάλυση τα ποσοστά των ακριβειών αυξάνονται σε σχέση με την Landsat – 8. Παρ’ όλα αυτά η ακρίβεια των κλάσεων καθώς και η συνολική παραμένει χαμηλή. Μοναδική εξαίρεση είναι η ακρίβεια χρήστη της θαλάσσιας βλάστησης. Η ακρίβεια της ταξινόμησης ανέρχεται στο 36 % με συντελεστή K 0.1. Αυτό οφείλεται στην μικρή έκταση της περιοχής μελέτης σε σχέση με την χωρική ανάλυση των αισθητήρων των δορυφόρων.

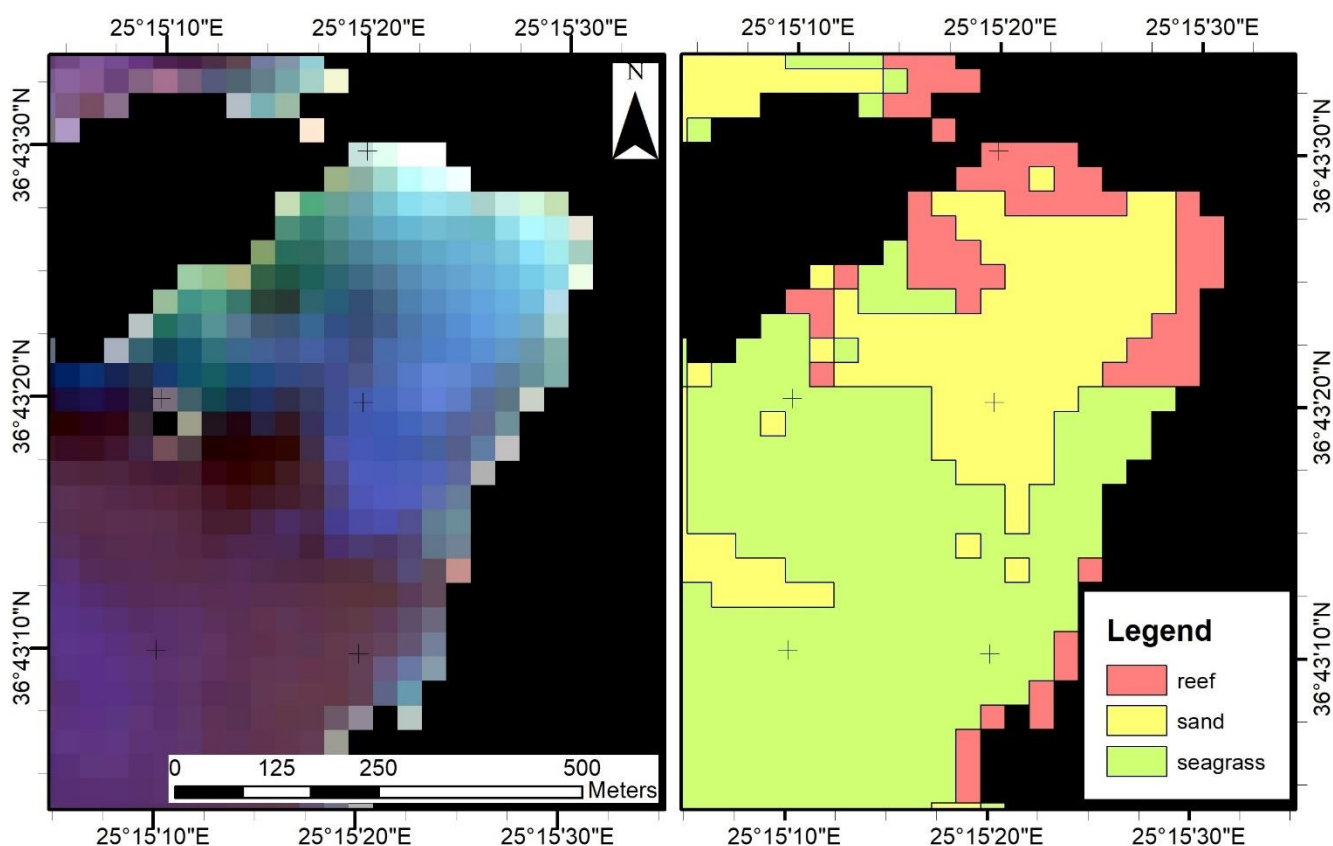
Πίνακας 6 : Πίνακας ακριβειών ταξινόμησης Sentinel - 2. Νάξος

User \ Reference Class	reef	sand	seagrass	Sum
reef	16	51	37	104
sand	21	26	6	53
seagrass	1	0	24	25
Sum	38	77	67	
Producer	0.42	0.34	0.36	
User	0.15	0.49	0.96	
	Overall Accuracy	0.36		
	KIA	0.10		

4.2 Ιος

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ταξινόμησης της Ίου σε Landsat – 8 και Sentinel – 2 δεδομένα. Η ταξινόμηση έγινε με τον αλγόριθμο του κοντινότερου γείτονα και με χαρακτηριστικά (features) μέσης τιμής των κλάσεων στο λογισμικό *eCognition Developer 64*. Η περιοχή μελέτης περιμετρικά καλύπτεται από περιοχές υφάλου. Το κύριο κομμάτι της χαρακτηρίζεται από μια αμμώδης έκταση ενώ στα βαθύτερα σημεία της επικρατεί η θαλάσσια βλάστηση.

Landsat – 8



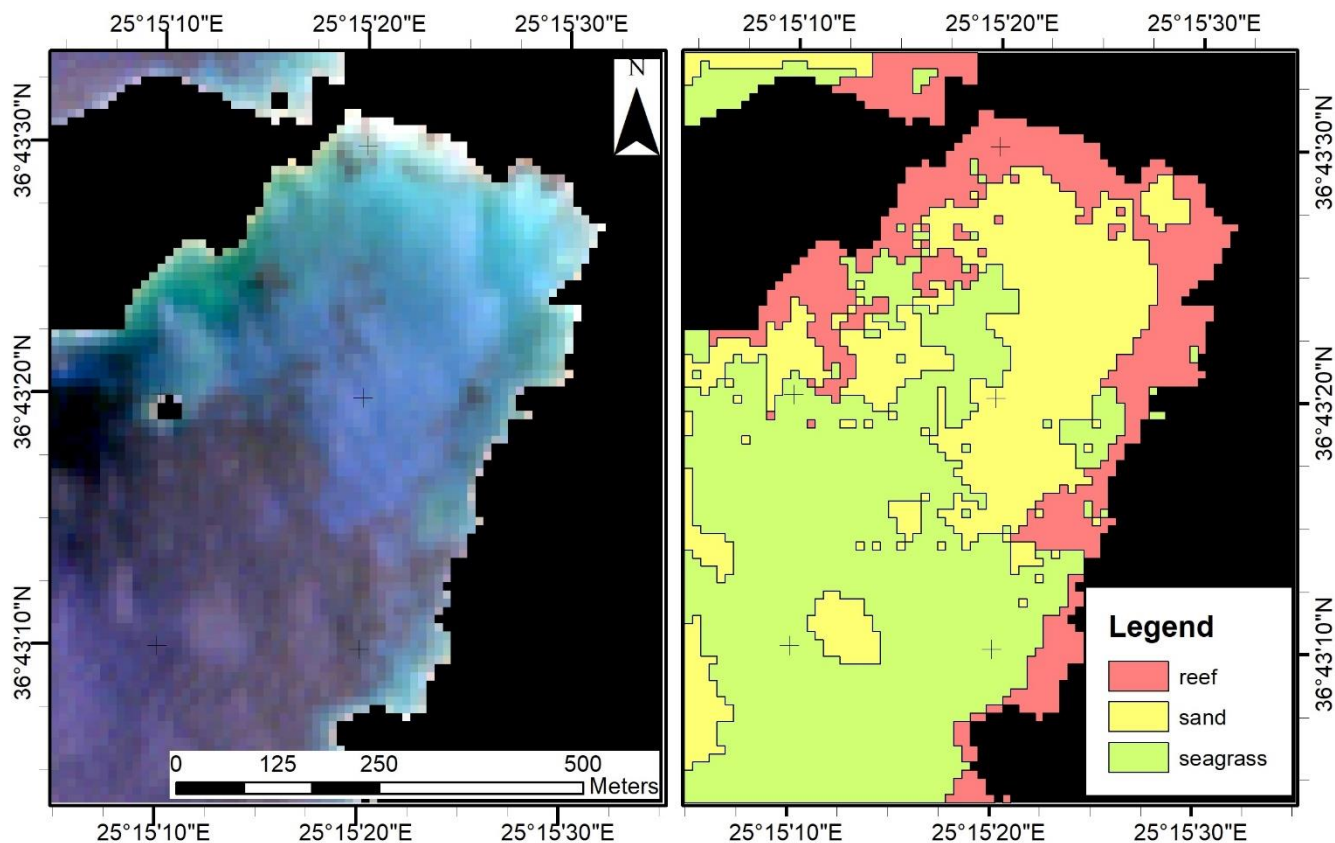
Εικόνα 19 : Παρουσίαση αποτελέσματος ταξινόμησης σε Landsat - 8 εικόνα. Ίος

Στη χωρική ανάλυση των 30 μέτρων, με την μεθοδολογία που εφαρμόστηκε εντοπίζεται, σε μεγάλο ποσοστό, η μεγάλη έκταση άμμου στον κέντρο της παραλίας καθώς και η θαλάσσια βλάστηση. Υπάρχει δυσκολία στην ταξινόμηση των περιοχών που χαρακτηρίζονται από την κλάση του υφάλου. Η συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης είναι 69% με συντελεστή K 0.5.

Πίνακας 7 : Πίνακας ακριβειών ταξινόμησης Landsat - 8. 1ος

User \ Reference Class	sand	seagrass	reef	Sum
sand	27	0	14	41
seagrass	0	17	2	19
reef	8	2	15	25
Sum	35	19	31	
Producer	0.77	0.89	0.48	
User	0.66	0.89	0.6	
	Overall Accuracy	0.69		
	KIA	0.53		

Sentinel - 2



Εικόνα 20 : Παρουσίαση αποτελέσματος ταξινόμησης σε Sentinel - 2 εικόνα. 1ος

Στη Sentinel – 2 δορυφορική εικόνα της Ίου με χωρική ανάλυση 10 μέτρων εντοπίζεται με μεγαλύτερη ακρίβεια η κλάση της άμμου και της θαλάσσιας βλάστησης. Βελτίωση υπάρχει και στην κλάση του υφάλου καθώς περιμετρικά της παραλίας η ταξινόμηση χαρακτηρίζεται από την εν λόγω κλάση. Υπάρχουν μικρές περιοχές στην θαλάσσια βλάστηση που ταξινομούνται ως άμμος λόγω της επίδραση στις ατμόσφαιρας στην εικόνα. Η φασματική υπογραφή των περιοχών αυτών μοιάζει με την κλάση της άμμου ενώ στην πραγματικότητα πρόκειται για θαλάσσια βλάστηση. Ο πίνακας ακριβειών εκφράζει την βελτίωση της ταξινόμησης σε σχέση με τα Landsat – 8 δεδομένα. Η συνολική ακρίβεια είναι 70% με συντελεστή K 0.55

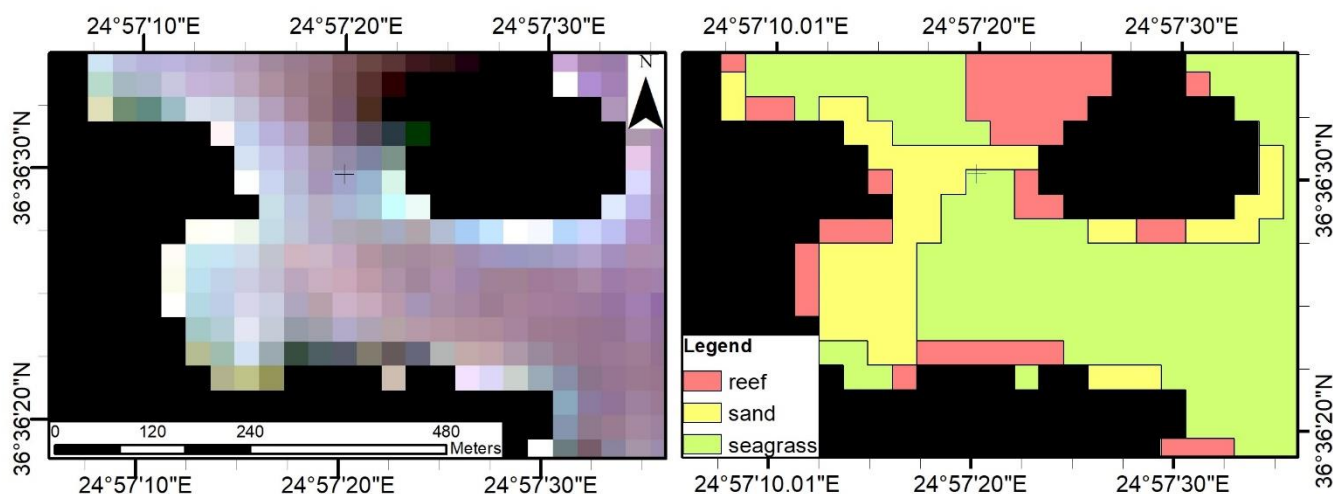
Πίνακας 8 : Πίνακας ακριβειών ταξινόμησης Sentinel - 2. Ίος

User \ Reference Class	sand	seagrass	reef	Sum
sand	120	36	51	207
seagrass	7	133	8	148
reef	24	30	111	165
Sum	151	199	170	
Producer	0.79	0.67	0.65	
User	0.58	0.90	0.67	
	Overall Accuracy	0.70		
	KIA	0.55		

4.3 Φολέγανδρος

Η παραλία ‘Λιβιάδι’ της Φολεγάνδρου χαρακτηρίζεται από σκληρό υπόστρωμα υφάλου περιμετρικά της παραλίας. Λίγο βαθύτερα επικρατεί ένα μαλακό υπόστρωμα άμμου με μικρές περιοχές θαλάσσιας βλάστησης. Τέλος υπάρχει μια μεγάλη περιοχή θαλάσσιας βλάστησης με περιοχές άμμου σε κάποια σημεία της. Με την χρήση της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης έγινε η ταξινόμηση σε Landsat – 8 και Sentinel – 2 δεδομένα. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα καθώς και οι πίνακες ακριβειών.

Landsat - 8



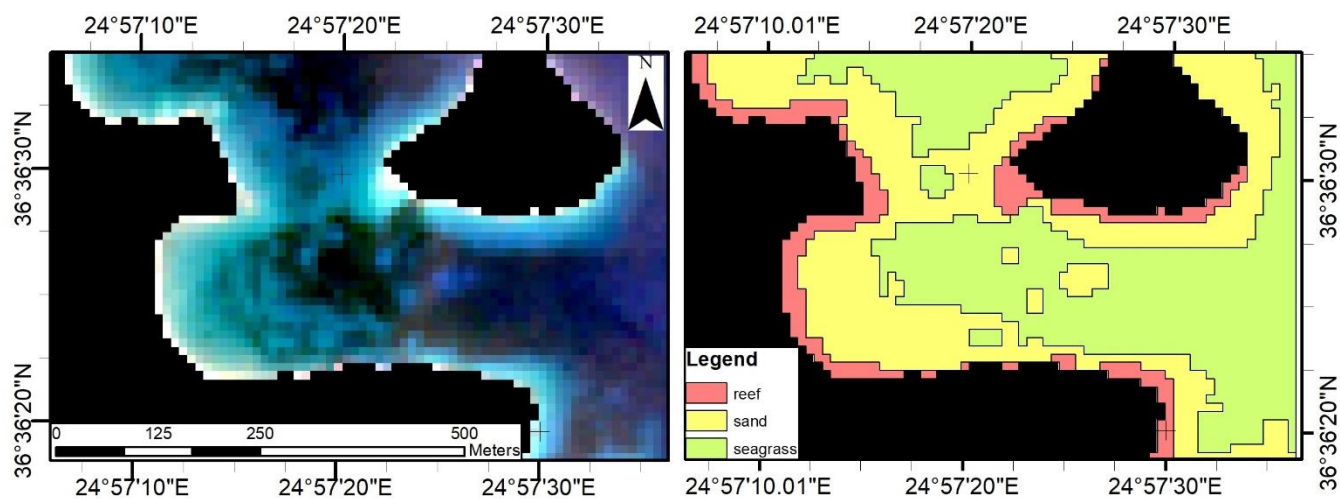
Εικόνα 21 : Παρουσίαση αποτελέσματος ταξινόμησης σε Landsat - 8 εικόνα. Φολέγανδρος

Η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε, με επιτυχία ανιχνεύει ένα μεγάλο μέρος της θαλάσσιας βλάστησης στο βαθύ κομμάτι, καθώς και ένα σημαντικό μέρος της άμμου στα πρώτα μέτρα της παραλίας. Η μεγαλύτερη ακρίβεια παραγωγού είναι στην κλάση της θαλάσσιας βλάστησης με ποσοστό 80 % ενώ του χρήστη είναι και στις δύο κλάσεις άμμου και θαλάσσιας βλάστηση με ποσοστό 61 %. Όπως φαίνεται και στον πίνακα ακριβειών, υπάρχει χαμηλή ακρίβεια στην κλάση του υφάλου με 19 % και 29 % ακρίβεια χρήστη και παραγωγού αντίστοιχα. Η συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης ανέρχεται στο 54 % με συντελεστή K 0.24

Πίνακας 9 : Πίνακας ακριβειών ταξινόμησης Landsat - 8. Φολέγανδρος

User \ Reference Class	reef	sand	seagrass	Sum
reef	5	17	4	26
sand	6	28	12	46
seagrass	4	38	66	108
Sum	17	84	83	
Producer	0.29	0.33	0.80	
User	0.19	0.61	0.61	
	Overall Accuracy	0.54		
	KIA	0.24		

Sentinel - 2



Εικόνα 22 : Παρουσίαση αποτελέσματος ταξινόμησης σε Sentinel - 2 εικόνα. Φολέγανδρος

Στην δορυφορική εικόνα του Sentinel -2 αυξάνεται η χωρική ανάλυση στα 10 μέτρα δίνοντας έτσι καλύτερα αποτελέσματα στην ταξινόμηση των κλάσεων. Η κλάση του υφάλου ανιχνεύεται με μεγαλύτερη επιτυχία σε σχέση με τα Landsat δεδομένα. Όπως φαίνεται και στην εικόνα περιμετρικά της ακτογραμμής έχει ταξινομηθεί με κόκκινο χρώμα η κλάση ύφαλος. Βελτίωση υπάρχει και στην εκτίμηση του παραγωγού με ποσοστό σχεδόν 60 %. Επίσης στην Sentinel εικόνα διακρίνονται και οι μικρές περιοχές άμμου που υπάρχουν μέσα στην θαλάσσια βλάστηση, στο βαθύ κομμάτι της παραλίας, όπου ταξινομούνται και στην σωστή κλάση. Τέλος με ακρίβειες παραγωγού και χρήστη λίγο πάνω από 60 % ανιχνεύεται η κλάση της άμμου. Η συνολική ακρίβειας της ταξινόμησης ανέρχεται στο 66 % με συντελεστή K 0.43.

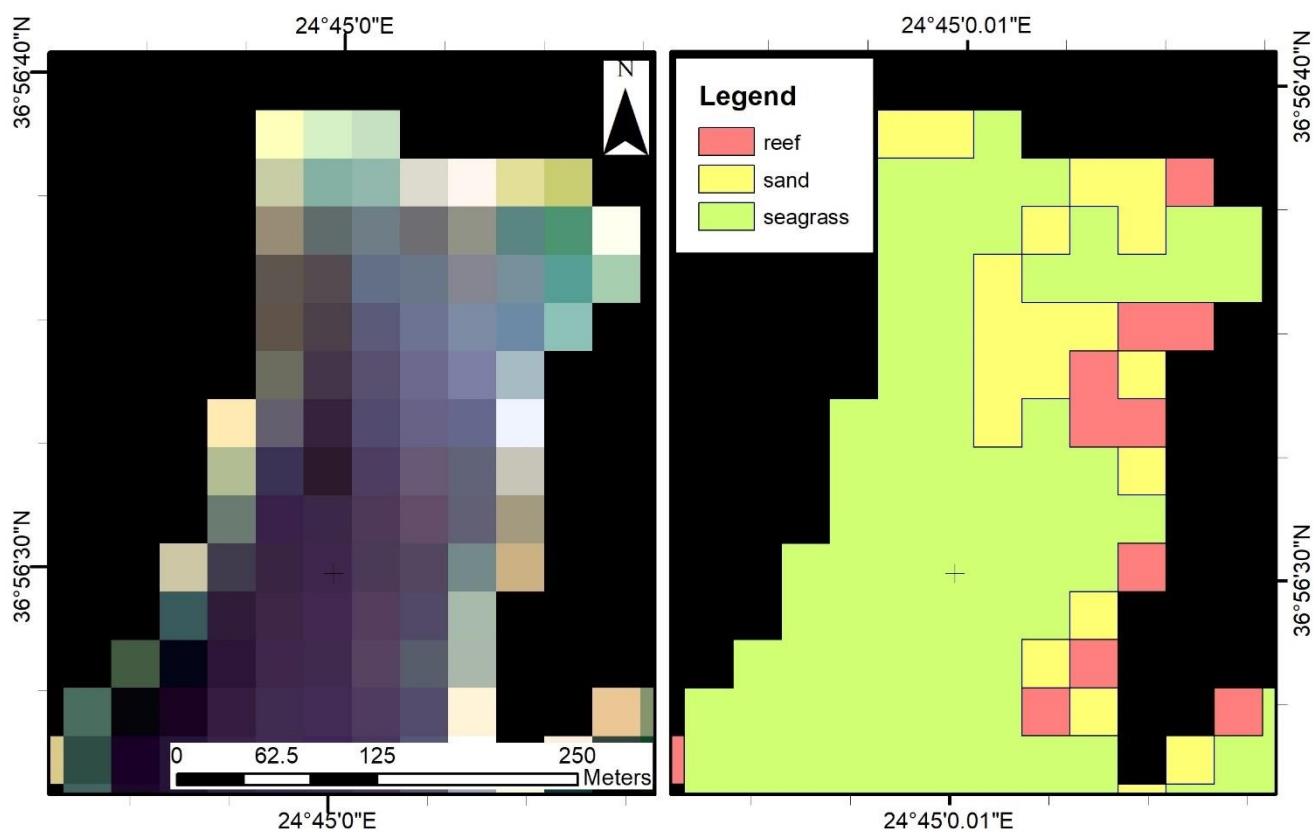
Πίνακας 10 : Πίνακας ακριβειών ταξινόμησης Sentinel - 2. Φολέγανδρος

User \ Reference Class	reef	sand	seagrass	Sum
reef	58	144	19	221
sand	36	454	226	716
seagrass	4	110	554	668
Sum	98	708	799	
Producer	0.59	0.64	0.69	
User	0.26	0.63	0.83	
	Overall Accuracy	0.66		
	KIA	0.43		

4.4 Σίφνος

Η περιοχή που μελετήθηκε στο νησί της Σίφνου ήταν η παραλία Φάρος. Χαρακτηρίζεται από 2 περιοχές άμμου στα ρηχά νερά. Λίγο βαθύτερα κυριαρχεί η θαλάσσια βλάστηση ενώ παραμετρικά υπάρχουν κομμάτια υφάλου σκληρού υποστρώματος. Παρακάτω δίνονται τα αποτελέσματα ταξινόμησης σε δορυφορικές εικόνες Landsat – 8 και Sentinel – 2 με τον αλγόριθμο του κοντινότερου γείτονα, όπως εξήχθησαν από το λογισμικό *eCognition Developer 64*.

Landsat – 8



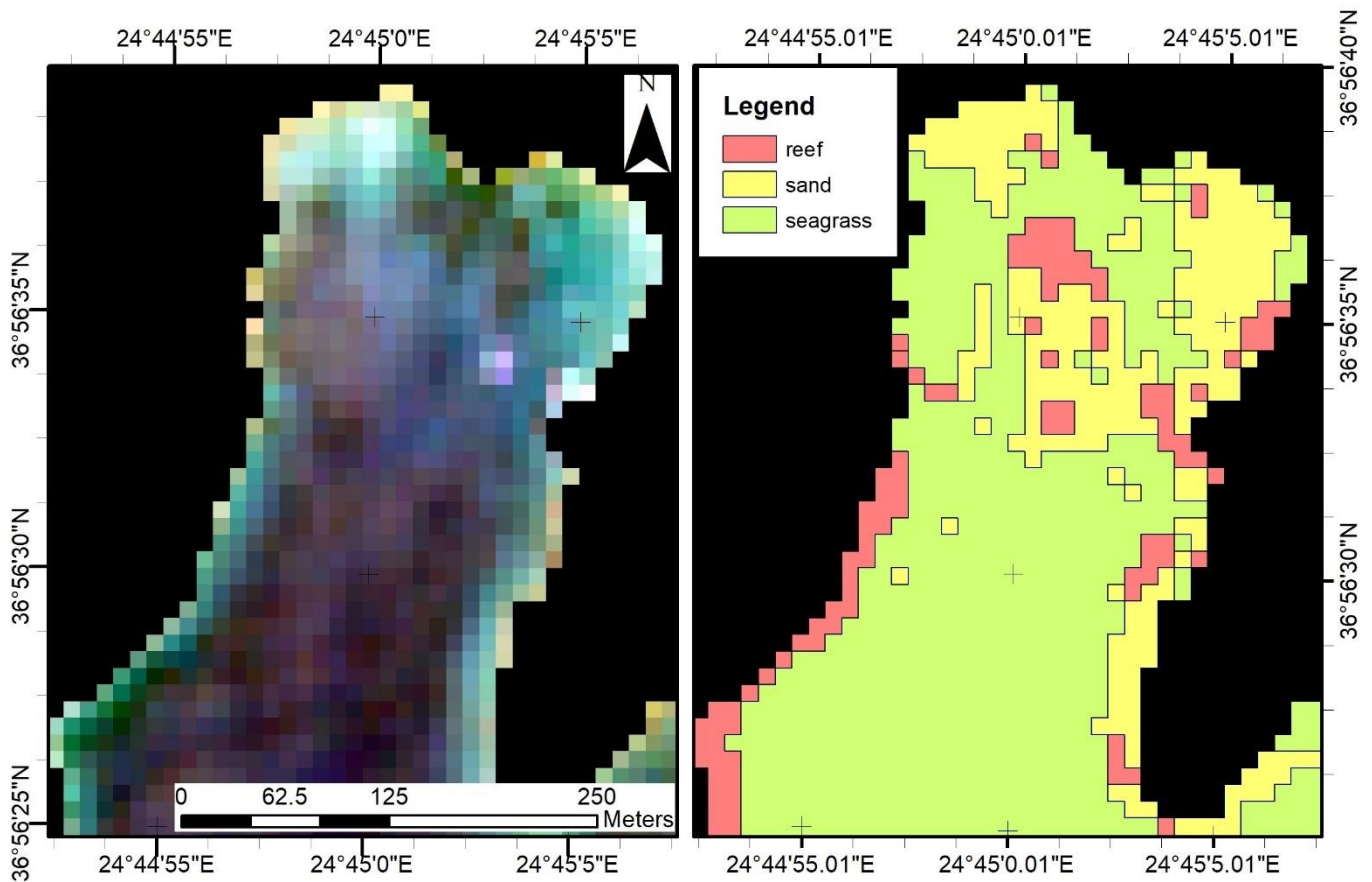
Εικόνα 23 : Παρουσίαση αποτελέσματος ταξινόμησης σε Landsat - 8 εικόνα. Σίφνος

Στα 30 μέτρα χωρικής ανάλυσης εντοπίζεται επαρκώς η κλάση της θαλάσσια βλάστησης με ακρίβεια παραγωγού και χρήστη 97 % και 76 % αντίστοιχα. Αντίθετα στην κλάση του υφάλου δεν ταξινομήθηκε κανένα αντικείμενο σωστά με από αποτέλεσμα η ακρίβεια να είναι στο 0 %. Λαμβάνοντας υπόψη την χωρική ανάλυση του δορυφόρου, είναι λογικό να μην ταξινομούνται σωστά, μικρές περιοχές σε έκταση. Η κλάση της άμμου εντοπίζεται με ποσοστά ακρίβειας 47 % και 58 %. Η συνολική ακρίβεια ταξινόμησης ανέρχεται στο 67 % με συντελεστή K 0.3.

Πίνακας 11 : Πίνακας ακριβειών ταξινόμησης Landsat - 8. Σίφνος

User \ Reference Class	sand	seagrass	reef	Sum
sand	7	0	5	12
seagrass	6	28	3	37
reef	2	1	0	3
Sum	15	29	8	
Producer	0.47	0.97	0	
User	0.58	0.76	0	
	Overall Accuracy	0.67		
	KIA	0.38		

Sentinel - 2



Εικόνα 24 : Παρουσίαση αποτελέσματος ταξινόμησης σε Sentinel - 2 εικόνα. Σίφνος

Σε Sentinel – 2 δορυφορική εικόνα, με χωρική ανάλυση 10 μέτρων διακρίνονται καλύτερα οι 2 περιοχές άμμου στο ρηχό κομμάτι της παραλίας. Έτσι η κλάση της άμμου έχει ακρίβεια παραγωγού 84 % και χρήστη 66 %. Την καλύτερη ακρίβεια την έχει η κλάση της θαλάσσιας βλάστησης με ακρίβειες παραγωγού και χρήστη 95 % και 94 % αντίστοιχα. Τέλος αντίθετα με τα Landsat – 8 δεδομένα η κλάση του υφάλου ανιχνεύεται σε ποσοστά 39 % και 73 % για τις ακρίβειες παραγωγού και χρήστη. Όπως φαίνεται και στην εικόνα της ταξινόμησης ο ύφαλος σωστά ανιχνεύεται περιμετρικά της παραλίας καθώς και ένα σημείο στο κέντρο της περιοχής μελέτης. Τέλος η συνολική ακρίβεια είναι στο 86 % με συντελεστή K 0.7.

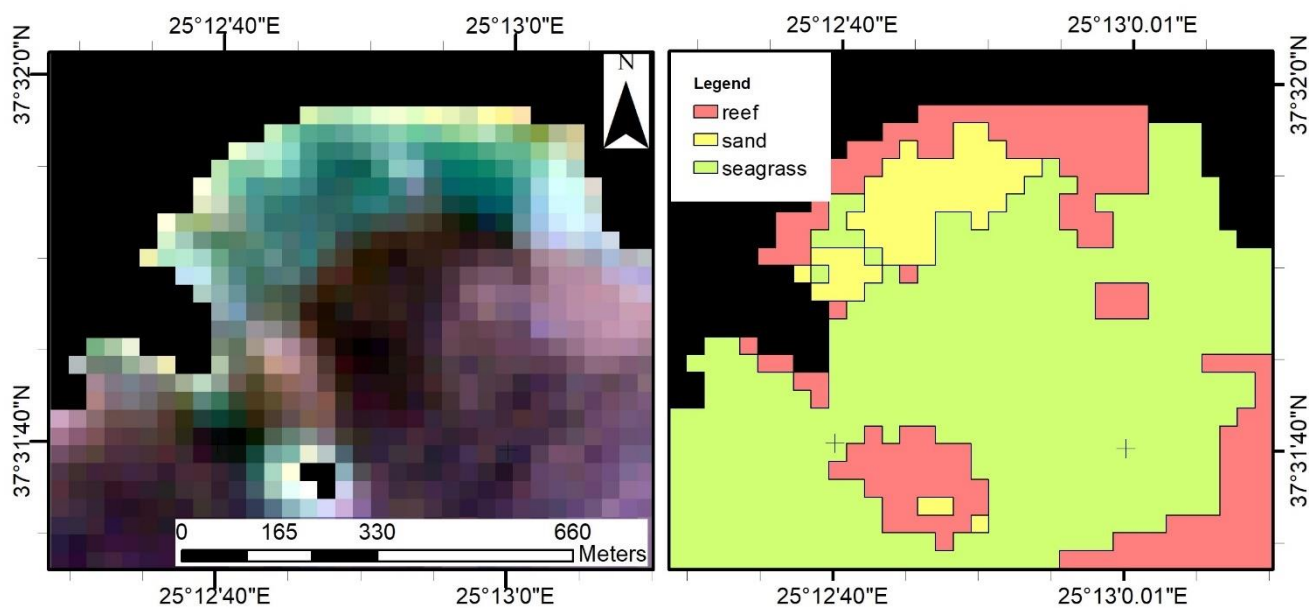
Πίνακας 12 : Πίνακας ακριβειών ταξινόμησης Sentinel - 2. Σίφνος

User \ Reference Class	sand	reef	seagrass	Sum
sand	67	29	6	102
reef	0	22	8	30
seagrass	13	6	295	314
Sum	80	57	309	
Producer	0.84	0.39	0.95	
User	0.66	0.73	0.94	
	Overall Accuracy	0.86		
	KIA	0.70		

4.5 Τήνος

Στο νησί της Τήνου μελετήθηκε η παραλία Άγιος Σώστης. Η παραλία χαρακτηρίζεται κυρίως από 2 βασικές περιοχές. Στα πρώτα μέτρα βάθους εμφανίζονται οι κλάσεις της άμμου καθώς και του υφάλου. Έπειτα συναντάται η κλάση της θαλάσσιας βλάστησης όπου και καλύπτει το μεγαλύτερο κομμάτι της περιοχής. Τέλος υπάρχει και μια βραχονησίδα η οποία περιβάλλεται από την κλάση του υφάλου στα ρηχά και θαλάσσια βλάστηση στα βαθύτερα νερά. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε σε εικόνες Landsat – 8 και Sentinel – 2, με την μέθοδο της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης και τον αλγόριθμο του κοντινότερου γείτονα.

Landsat – 8



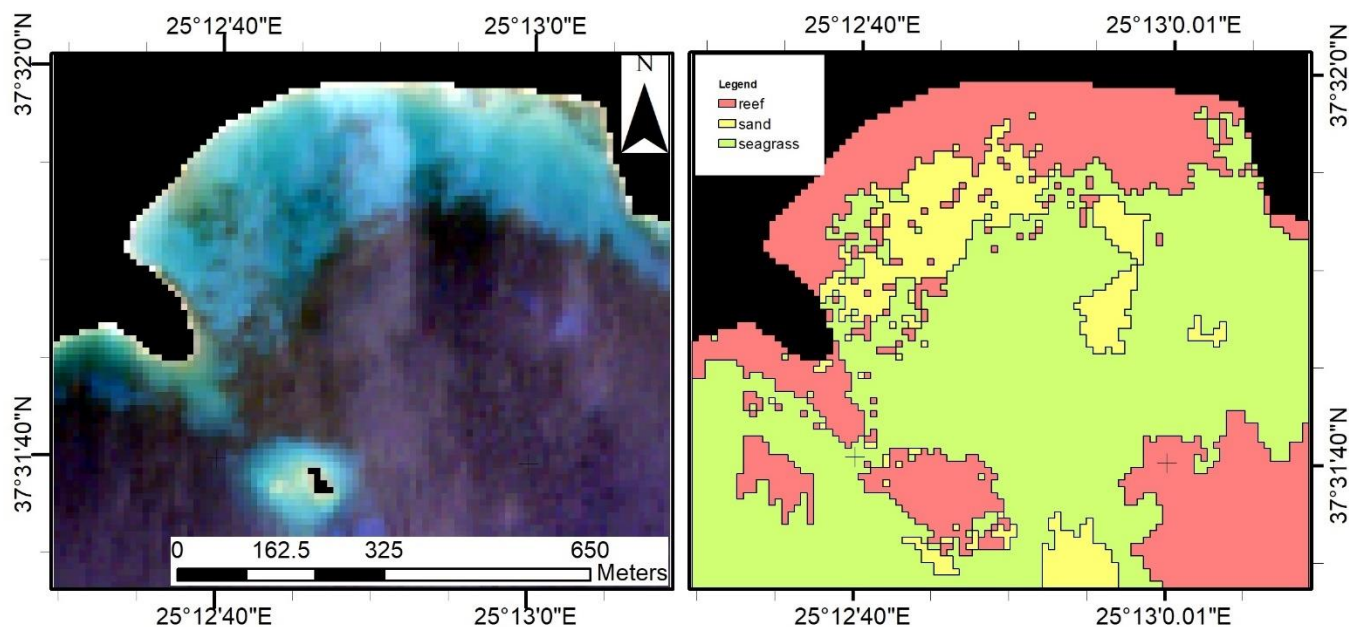
Εικόνα 25 : Παρουσίαση αποτελέσματος ταξινόμησης σε Landsat - 8 εικόνα. Τήνος

Παραπάνω παρουσιάζεται το αποτέλεσμα ταξινόμησης Landsat – 8 εικόνας σε 30 μέτρα χωρικής ανάλυσης. Ο χάρτης απεικονίζει μια μεγάλη περιοχή θαλάσσιας βλάστησης που καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης. Έπειτα στο ρηχό κομμάτι φέρει την κλάση του υφάλου καθώς και ένα σημείο άμμου. Τέλος γύρω από την βραχονησίδα διακρίνεται η κλάση ύφαλος. Ο πίνακας ακριβειών δίνει μια μεγάλη συνολική ακρίβεια της τάξης του 81 %. Επίσης υψηλά είναι και τα ποσοστά της ακρίβειας χρήστη και παραγωγού. Κάποια αγγίζουν το 100% με εξαίρεση την ακρίβεια παραγωγού για την κλάση της άμμου. Αυτό σημαίνει πως τα εικονοστοιχεία των δειγμάτων που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση ακρίβειας ταιριάζανε απόλυτα με τα αντίστοιχα εικονοστοιχεία και κλάσεις της ταξινόμησης. Οπότε αν και η ακρίβεια σύμφωνα με τον πίνακα παραμένει υψηλή ίσως και να υπάρχουν σφάλματα λόγω της μικρής χωρικής ανάλυσης.

Πίνακας 13 : Πίνακας ακριβειών ταξινόμησης Landsat - 8. Τήνος

User \ Reference Class	sand	seagrass	reef	Sum
sand	10	0	0	10
seagrass	20	73	0	93
reef	1	0	8	9
Sum	31	73	8	
Producer	0.32	1.00	1.00	
User	1.00	0.78	0.89	
	Overall Accuracy	0.81		
	KIA	0.56		

Sentinel - 2



Εικόνα 26 : Παρουσίαση αποτελέσματος ταξινόμησης σε Sentinel - 2 εικόνα. Τήνος

Στην δορυφορική εικόνα του Sentinel – 2, με χωρική ανάλυση 10 μέτρων φαίνεται καθαρά η μεγάλη περιοχή θαλάσσιας βλάστησης που χαρακτηρίζει την περιοχή μελέτης. Στο ρηχό κομμάτι της παραλίας διακρίνονται μικρά σημεία βλάστησης από τα οποία κάποια ανιχνεύονται και ταξινομούνται σωστά, ενώ κάποια άλλα ταξινομούνται λάθος ως ύφαλος ή άμμος. Παρ’ όλα αυτά όπως και στην περίπτωση της Landsat – 8 εικόνας οι ακρίβειες της ταξινόμησης είναι υψηλές με συνολική ακρίβεια 95 % και K 0.9. Άρα έχουν ταξινομηθεί σωστά τα εικονοστοιχεία των δειγμάτων για την εκτίμηση της ακρίβειας. Την μεγαλύτερη ακρίβεια την συναντάμε στην κλάση της θαλάσσιας βλάστησης όπου στην ακρίβεια παραγωγού ανιχνεύεται με ποσοστό 100 % και στο χρήστη 95 %. Ακολουθεί η κλάση της άμμου με 91 % και 100 % αντίστοιχα.

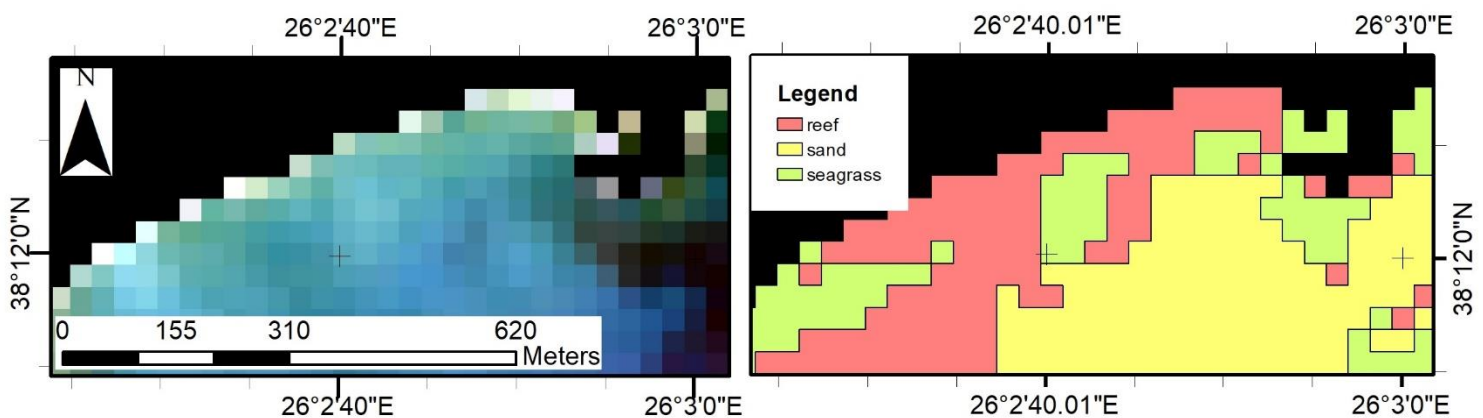
Πίνακας 14 : Πίνακας ακριβειών ταξινόμησης Sentinel - 2. Τήνος

User \ Reference Class	reef	sand	seagrass	Sum
reef	91	16	0	107
sand	0	178	0	178
seagrass	25	1	487	513
Sum	116	195	487	
Producer	0.78	0.91	1.00	
User	0.85	1.00	0.95	
	Overall Accuracy	0.95		
	KIA	0.90		

4.6 Χίος

Η παραλία Κώμη στην Χίο χαρακτηρίζεται από τις τρεις βασικές κλάσεις (Υφαλος, Άμμος, Ποσειδωνία). Αν και ‘σαρώθηκε’ όλη η παραλία για την παραγωγή του ορθοφωτοχάρτη, η περιοχή μελέτης περιορίστηκε στο σημείο έξω από το αλιευτικό καταφύγιο. Αυτό συνέβη για δύο λόγους. Αρχικά το ενδιαφέρον επικεντρώθηκε στο σημείο αυτό μιας και μόνο εκεί εντοπίστηκε θαλάσσια βλάστηση και στο σημείο εκείνο συλλέχθηκαν δεδομένα αναφοράς (ground truth data). Επίσης στο υπόλοιπο της παραλίας επικρατούσε μόνο η κλάση της Άμμου. Παρόλα αυτά υπήρξε μια λασποειδής σύσταση όπου δεν άφηνε το πρόγραμμα να ξεχωρίσει τις κλάσεις, όση εκπαίδευση και να του δινόταν. Οπότε ήταν αδύνατη η ταξινόμηση όλης της παραλίας ακόμα και με φωτοερμηνεία. Τέλος δεν μπορούμε να γνωρίζουμε τι κλάσεις επικρατούσαν μέσα στο αλιευτικό καταφύγιο. Οπότε τα παραπάνω σημεία ταυτοποιήθηκαν σε κλάσεις που επέλεξε το πρόγραμμα χωρίς να αντιπροσωπεύουν την πραγματικότητα.

Landsat - 8



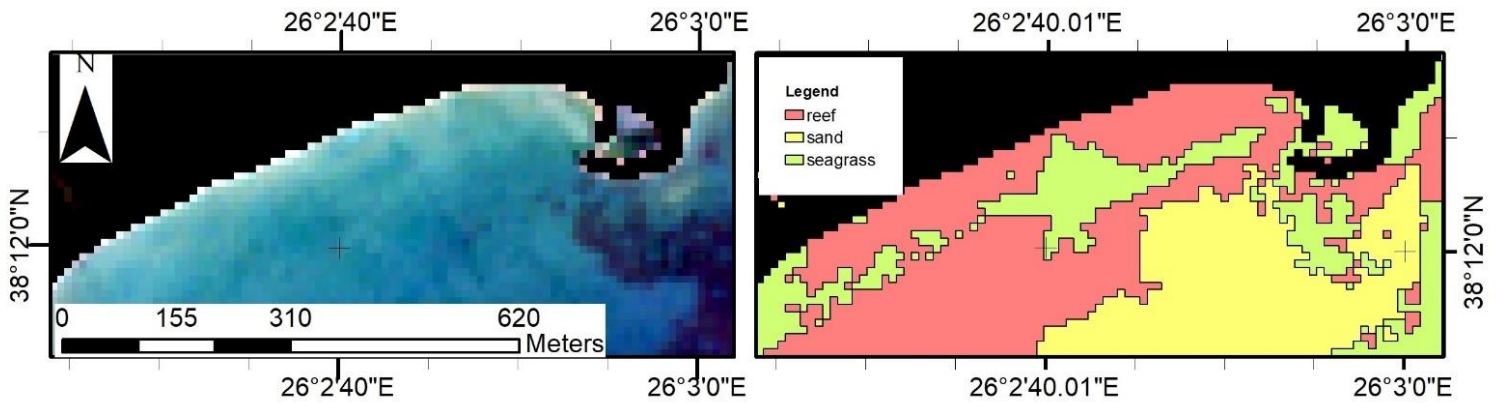
Όπως αναφέρθηκε παραπάνω η περιοχή μελέτης περιορίστηκε έξω από το αλιευτικό καταφύγιο της παραλίας, το οποίο εντοπίζεται στο δεξί μέρος της δορυφορικής εικόνας. Τα αντικείμενα εκπαίδευσης δόθηκαν σύμφωνα με τα σημεία δειγματοληψίας του πεδίου. Με βάση αυτά το αποτέλεσμα της ταξινόμησης στην Landsat - 8 εικόνα ανέρχεται στο 71 % ακρίβεια με συντελεστή K 0.3. Αν και η συνολική ακρίβεια είναι σε σχετικά ικανοποιητικά ποσοστά δεν αντιπροσωπεύει πλήρως το αποτέλεσμα μιας και τα δεδομένα εκτίμησης ακρίβειας περιορίζονται σε ένα μικρό μέρος της συνολικής περιοχής. Μάλιστα σύμφωνα με τον πίνακα ακριβειών η κλάση

της θαλάσσιας βλάστησης έχει ποσοστά ακρίβειας 0 %. Άρα κανένα από τα αντικείμενα εκτίμησης ακρίβειας της συγκεκριμένης κλάσης δεν ταξινομήθηκε σωστά. Η κλάση της άμμου αντίθετα είχε τα μεγαλύτερα ποσοστά ανίχνευσης με 98 % και 82 % ακρίβεια παραγωγού και χρήστη αντίστοιχα. Αυτό οφείλεται στο ότι η περιοχές της άμμου ήταν μεγαλύτερες και πιο εύκολα ανιχνεύσιμες, σε σχέση με την θαλάσσια βλάστηση και τον ύφαλο.

Πίνακας 15 : Πίνακας ακριβειών ταξινόμησης Landsat - 8. Χίος

User \ Reference Class	sand	seagrass	reef	Sum
sand	51	0	11	62
seagrass	1	0	10	11
reef	0	0	3	3
Sum	52	0	24	
Producer	0.98	undefined	0.13	
User	0.82	0.00	1.00	
	Overall Accuracy	0.71		
	KIA	0.33		

Sentinel - 2



Εικόνα 27 : Παρουσίαση αποτελέσματος ταξινόμησης σε Sentinel - 2 εικόνα. Χίος

Κατεβαίνοντας στα 10 μέτρα χωρικής ανάλυσης φαίνεται καλύτερα πως στην περιοχή μελέτης επικρατεί ένα ενδιαίτημα που μοιάζει περισσότερο με άμμο. Παρ' όλα αυτά ένα μεγάλο κομμάτι ταξινομείται λάθος ως ύφαλος και θαλάσσια βλάστηση. Έτσι ενώ η συνολική ακρίβεια ανέρχεται στο 96 %, το ποσοστό αυτό δεν μπορεί να αντιπροσωπεύσει ολόκληρη την περιοχή μελέτης. Όσον αφορά το σημείο στο οποίο έχουμε δεδομένα αναφοράς πεδίου η ακρίβεια παραμένει σε υψηλά ποσοστά και στις τρεις κλάσεις. Η κλάση της άμμου και της θαλάσσιας βλάστησης έχουν τα υψηλότερα ποσοστά στις ακρίβειες χρήστη και παραγωγού τα οποία κυμαίνονται από 96 % μέχρι 100 %. Χαμηλότερη είναι η ακρίβεια παραγωγού στην κλάση του υφάλου με ποσοστό 79 %. Όπως φαίνεται από τις περιοχές μελέτης την συγκεκριμένη έρευνας, ακόμα και στα 10 μέτρα χωρικής ανάλυσης η συγκεκριμένη κλάση έχει τα χαμηλότερα ποσοστά ακρίβειας μιας και από τα τρία ενδιαιτήματα που μελετώνται είναι το μικρότερο σε έκταση.

Πίνακας 16 : Πίνακας ακριβειών ταξινόμησης Sentinel - 2. Χίος

User \ Reference Class	sand	seagrass	reef	Sum
sand	275	0	11	286
seagrass	1	84	2	87
reef	3	0	58	61
Sum	279	84	73	
Producer	0.99	1.00	0.79	
User	0.96	0.97	0.95	
	Overall Accuracy	0.96		
	KIA	0.92		

5. Συζήτηση – Συμπεράσματα

Το αντικείμενο έρευνας της παρούσας εργασίας βρίσκεται ακόμα στα πρώτα του στάδια. Υπάρχουν έρευνες που μελετούν την χαρτογράφηση περιοχών με την χρήση μη επανδρωμένων εναέριων μέσων. Αυτό αποτελεί και το πρώτο κομμάτι της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας. Μια παρόμοια έρευνα από το Πανεπιστήμιο της Ρώμης, του τμήματος περιβαλλοντικής βιολογίας και του τμήματος στατιστικής ασχολείται με την χαρτογράφηση και ταξινόμηση ενδιαιτημάτων με την χρήση ΣμηΕΑ (Ventura *et al.*, 2016). Συγκεκριμένα, με την χρήση των UAV's θέλανε να ταυτοποιήσουν παράκτιες περιοχές κατάλληλες για γόνους ψαριών. Έχοντας στην κατοχή τους ένα, χαμηλού κόστους, αυτοσχέδιο drone και με δύο κάμερες χαρτογραφήσανε μια περιοχή στο νησί Giglio στην κεντρική Ιταλία. Στα αποτελέσματα υπήρχαν τρεις ταξινομήσεις για την ίδια περιοχή με τρεις τρόπους σε διαφορετικά λογισμικά. Έγινε χρήση του *ArcGis 10.1* για ταξινόμηση με την μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood), με το δωρεάν λογισμικό *MultiSpec 3.4* πραγματοποιήθηκε μια ταξινόμηση ομογενών αντικειμένων (ECHO) και με το λογισμικό *eCognition Developer 8.7* έγινε η ταξινόμηση με αντικειμενοστραφής ανάλυση (OBIA) όπως ακριβώς και στην παρούσα έρευνα. Τα δεδομένα αναφοράς για τις ταξινομήσεις και την εκτίμηση ακρίβειας ήταν υποβρύχια βίντεο που τραβήχτηκαν σε τομές στην περιοχή μελέτης, σε αντίθεση με την παρούσα εργασία που έγινε με υποβρύχιες φωτογραφίες.

Στα αποτελέσματα η μέθοδος της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης έδωσε τα καλύτερα αποτελέσματα με ακρίβεια 89.01 % ενώ οι άλλες δύο μέθοδοι για να έχουν την καλύτερη δυνατή ακρίβεια χρειάστηκε να γίνουν διορθώσεις στην ταξινόμηση κάτι που στην πρώτη μέθοδο δεν έγινε. Στην παρούσα έρευνα τα αποτελέσματα ταξινόμησης των ΣμηΕΑ χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα αναφοράς για την ταξινόμηση αλλά και την εκτίμηση ακρίβειας δορυφορικών εικόνων.

Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα, η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή τους δίνει μεγάλης ακρίβειας αποτελέσματα ταξινόμησης δορυφορικών δεδομένων. Για να φτάσουμε στο σημείο αυτό είναι αναγκαίο να συλλεχθούν σωστά δεδομένα πεδίου, αεροφωτογραφίες και υποβρύχιες φωτογραφίες, για την δημιουργία και ταξινόμησης ορθοφωτοχαρτών. Από το σημείο αυτό και έπειτα τα αποτελέσματα ταξινόμησης των ΣμηΕΑ αποτελούν ένα καλό σετ δεδομένων για την επεξεργασία και ταξινόμηση δορυφορικών εικόνων.

Χρησιμοποιήθηκαν οι δορυφόροι Landsat – 8 και Sentinel – 2 με χωρική ανάλυση 30 μέτρα και 10 μέτρα αντίστοιχα. Μεγαλύτερες ακρίβειες ταξινόμησης είχαμε στα 10 μέτρα χωρικής ανάλυσης λόγω της μικρής έκτασης που είχαν οι παραλίες που μελετήθηκαν. Είναι εφικτό να χρησιμοποιηθούν τα Landsat δεδομένα για ταξινόμηση, αρκεί η περιοχής μελέτης να είναι ανάλογης έκτασης για την χωρική ανάλυση του δορυφόρου. Το ίδιο συναντάμε και το επίπεδο των κλάσεων. Η κλάση της άμμου και της θαλάσσια βλάστησης συναντήθηκαν σε μεγάλες εκτάσεις τις περιοχές μελέτης σε σχέση με την κλάση του υφάλου. Έτσι οι κλάσεις αυτές δώσανε και μεγαλύτερη ακρίβεια στα τελικά αποτελέσματα. Επίσης τα Landsat – 8 δεδομένα, όπως είναι φυσικό, λόγω της χωρικής ανάλυσης είχαν μικρότερα ποσοστά ακρίβειας σε σχέση με τα Sentinel – 2. Αυτό ισχύει και για τις συνολικές ακρίβειες αλλά και για τις ακρίβειες των κλάσεων. Το μεγαλύτερο πρόβλημα υπήρξε στην κλάση του υφάλου που λόγω της μικρής έκτασης του, είχε την μικρότερη ακρίβεια στα 30 μέτρα χωρικής ανάλυσης. Συμπερασματικά για την έκταση των συγκεκριμένων περιοχών μελέτης, επιλέγονται τα Sentinel – 2 δεδομένα για την ταξινόμηση τους ή δορυφορικά δεδομένα ακόμα μεγαλύτερης χωρικής ανάλυσης από τα 10 μέτρα.

Η χρήση των μη επανδρωμένων εναέριων μέσω (UAV's) είναι μια νέα μέθοδος δειγματοληψίας πεδίου που δίνει την δυνατότητα συλλογής δεδομένων εξαιρετικής ακρίβειας. Πλέον η χαρτογράφηση περνάει σε ένα άλλο επίπεδο λόγω της μεγάλης χωρικής ανάλυσης. Παρά την υψηλή διακριτική ικανότητα που προσφέρουν τα UAV's, η επίδραση του βάθους εξακολουθεί να αποτελεί πρόβλημα. Παρατηρήθηκε ότι στα ρηχά το λογισμικό ξεχώριζε σωστά τις κλάσεις κατά ένα μεγάλο ποσοστό. Αντίθετα όσο το βάθος αυξανόταν οι κλάσεις γινόταν δυσδιάκριτες.

Η μεγάλη χωρική ανάλυση δίνει την δυνατότητα να γίνει σωστά η φωτοερμηνεία των ορθοφωτοχαρτών, αλλά είναι απαραίτητη η συλλογή δεδομένων αναφοράς (Ground Truthing Data). Για γίνει σωστά η εξαγωγή της πληροφορίας από την ταξινόμηση των ορθοφωτοχαρτών πρέπει να εκτιμηθεί η ακρίβεια τους με την χρήση των δεδομένων αναφοράς. Παρά την ευκολία συλλογής δεδομένων που προσφέρουν τα UAV's, υπάρχουν κάποια προβλήματα που δεν μπορούν ακόμα να ξεπεραστούν. Οι πτήσεις πρέπει να γίνονται συγκεκριμένες ώρες λόγω του ηλίου. Το πρωί και όσο ο ήλιος βρίσκεται χαμηλά η αντανάκλαση του έχει την κατάλληλη γωνία ώστε να μην βρίσκει τον φακό της κάμερας. Το μεσημέρι όπου ο ήλιος είναι κάθετα με την επιφάνεια η αντανάκλαση του αποτυπώνεται στις αεροφωτογραφίες και υπάρχει το ονομαζόμενο sunglint. Στα σημεία αυτά δεν μπορούν να αναγνωρισθούν καθόλου τα δεδομένα και συνεπώς χάνεται η πληροφορία.

Συνοπτικά η παρούσα έρευνα ασχολείται με την ταξινόμηση και εκτίμηση ακρίβειας δορυφορικών εικόνων με την χρήση ενός πακέτου δεδομένων όπου συμπεριλαμβάνονται αεροφωτογραφίες, υποβρύχιες φωτογραφίες και ταξινομημένοι ορθοφωτοχάρτες. Σε συνέχεια της μελέτης αυτής τα παραπάνω δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ταξινόμηση μεγαλύτερων, σε έκταση, περιοχών ακόμα και αν δεν υπάρχουν δεδομένα πεδίου σε όλα τα σημεία.

6. Βιβλιογραφία

- Dimitrakopoulos, K. (2010) *Object oriented classification of Spot imagery for land cover mapping*.
- Freire, S. E. (1987) 'A CLADISTIC ANALYSIS OF LUCILIA CASS. (COMPOSITAE, INULEAE)', *Cladistics*, 3(3), pp. 254–272. doi: 10.1111/j.1096-0031.1987.tb00510.x.
- Hudson, W. D. and Ramm, C. W. (1987) 'Correct formulation of the kappa-coefficient of agreement', *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 53(April), p. 421. doi: 80003349820.
- Matikainen, L. *et al.* (2017) 'Object-based analysis of multispectral airborne laser scanner data for land cover classification and map updating', *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. The Authors, 128, pp. 298–313. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2017.04.005.
- Roelfsema, C. *et al.* (2018) 'Coral reef habitat mapping: A combination of object-based image analysis and ecological modelling', *Remote Sensing of Environment*, 208(December 2017), pp. 27–41. doi: 10.1016/j.rse.2018.02.005.
- Topouzelis, K. *et al.* (2016) 'The use of Sentinel-2 imagery for seagrass mapping: Kalloni Gulf (Lesvos Island, Greece) case study', in Themistocleous, K. *et al.* (eds) *Fourth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2016)*, p. 96881F. doi: 10.1117/12.2242887.
- Topouzelis, K. *et al.* (2018) 'Seagrass mapping in Greek territorial waters using Landsat-8 satellite images', *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. Elsevier, 67(December 2017), pp. 98–113. doi: 10.1016/j.jag.2017.12.013.
- Ventura, D. *et al.* (2016) 'A low-cost drone based application for identifying and mapping of coastal fish nursery grounds', *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. Elsevier Ltd, 171, pp. 85–98. doi: 10.1016/j.ecss.2016.01.030.
- Yeadon, M. R. and King, M. A. (1999) 'A method for synchronising digitised video data', *Journal of Biomechanics*, 32(9), pp. 983–986. doi: 10.1016/S0021-9290(99)00083-4.
- Book, R., "eCognition® Developer," 1–266 (2015).