



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΚΟΙΝΩΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

ΑΝΑΖΗΤΩΝΤΑΣ ΤΟ ΒΕΛΤΙΣΤΟ ΕΙΚΟΝΟΣΤΟΙΧΕΙΟ ΣΕ ΠΟΛΥ-ΧΡΟΝΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ
ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΣΕ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΝΕΦΟΥΣ

Σπύρος Χριστοφιλάκος

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Στα πλαίσια του ΠΜΣ “Γεωγραφία και Εφαρμοσμένη Γεωπληροφορική”

Επιβλέπων καθηγητής: Σωτήριος Κουκούλας, Αναπληρωτής Καθηγητής

Μυτιλήνη, Ιούλιος 2020

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Απόφοιτου του ΠΜΣ «Γεωγραφία και Εφαρμοσμένη Γεωπληροφορική» του τμήματος Γεωγραφίας

Σπύρου Χριστοφιλάκου

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:

ΑΝΑΖΗΤΩΝΤΑΣ ΤΟ ΒΕΛΤΙΣΤΟ ΕΙΚΟΝΟΣΤΟΙΧΕΙΟ ΣΕ ΠΟΛΥ-ΧΡΟΝΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΣΕ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΝΕΦΟΥΣ

Τριμελής Επιτροπή Επίβλεψης και Κρίσης της Εργασίας	Υπογραφές
Σωτήριος Κουκούλας	
Χρήστος Βασιλάκος	
Κωνσταντίνος Τοπουζέλης	

Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Σωτήρη Κουκούλα. Σας ευχαριστώ για την εμπιστοσύνη που μου δείξατε, την ελευθερία κινήσεων και την στήριξη που μου παρείχατε εν μέσω των δύσκολων συνθηκών που βιώνουμε. Κυρίως όμως και έχοντας επαληθεύσει τα λεγόμενα μου με τους υπόλοιπους συμφοιτητές μου, σας ευχαριστούμε για τις συζητήσεις στρογγυλής τραπέζης που κάναμε στα πλαίσια των μαθημάτων σας. Όλοι αποκομίσαμε από κάτι.

Παράλληλα, θέλω να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στον καθηγητή μου και επιβλέποντα της πτυχιακής μου εργασίας κατά το προπτυχιακό, κ. Κωνσταντίνο Τοπουζέλη. Η σχέση μου με την επιστήμη-τέχνη της τηλεπισκόπησης θεμελιώθηκε υπό την καθοδήγηση σας αλλά και την υπομονή που δείξατε στο πρόσωπο μου. Η ομάδα θαλάσσιας τηλεπισκόπησης του τμήματος Ωκεανογραφίας και Θαλάσσιων Βιοεπιστημών δεν θα μπορούσε να παραληφθεί βέβαια. Μιχαέλα, Ανδρομάχη, Ιωάννα, Σπύρο και Πάνο σας ευχαριστώ για την υποστήριξη σας κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας αλλά και για την πρώτη μου επαφή και συνεργασία με μια επιστημονική ομάδα στο γραφειάκι στον τρίτο.

Οφείλω επίσης ένα μεγάλο ευχαριστώ στην Birgit Gerasch, συντονίστρια της ομάδας Βέλτιστης τηλεπισκόπησης νερού του Ινστιτούτου τηλεπισκόπησης και φωτογραμμετρίας της Εθνικής Υπηρεσίας Διαστήματος της Γερμανίας (DLR) και στο δόκτορα Δημοσθένη Τραγανό, επιστήμονα και μέλος της εν λόγω ομάδας όπου δεχτήκανε την αίτηση πρακτικής μου. Στα πλαίσια της πρακτικής Erasmus και της δίμηνης σύμβασης που συνάψαμε, θεωρώ πως διαμορφώθηκα ως άνθρωπος και επιστήμονας. Σας ευχαριστώ από καρδιάς για την εμπειρία, την υποστήριξη, την πίστη στο έργο μου, το φιλικό και όχι επαγγελματικό κλίμα που συνάντησα αλλά προπαντός για τις συζητήσεις μας.

Η παρούσα εργασία δε θα υλοποιείτο χωρίς την τεχνική και θεωρητική υποστήριξη του δόκτορα Δημήτρη Πουρσανίδη και της terraSolutions marine environment research. Για αυτό το λόγο είμαι ευγνώμων για την παροχή των δεδομένων επαλήθευσης αλλά και την προτροπή για την επιστημονική αναζήτηση.

Τέλος, θα ήθελα να αφιερώσω την παρούσα εργασία στην οικογένεια μου. Στους γονείς μου, Βασίλη, Λίλιαν και στον αδελφό μου Γιώργο. Δυστυχώς, το λεξιλόγιο μου είναι πολύ περιορισμένο για να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου. Σας ευχαριστώ για όσα με μάθατε, την εμπιστοσύνη, την αγάπη και την υπομονή σας κατά τα φοιτητικά μου χρόνια.

Για όσους δεν είναι πλέον εδώ.

Περίληψη

Η παρούσα εργασία αφορά τη δημιουργία ενός σύνθετου εικόνας από πολύ-χρονικά δορυφορικά δεδομένα μέσω ενός αυτοματοποιημένου συστήματος βαθμονόμησης των εικονοστοιχείων. Παράλληλα, εξετάζει τις υπολογιστικές δυνατότητες του υπολογιστικού περιβάλλοντος νέφους, Google Earth Engine, πραγματοποιώντας εξ ολοκλήρου την προεπεξεργασία και την κύρια ανάλυση των δεδομένων μέσα από την πλατφόρμα. Το σύστημα βαθμονόμησης που προτείνεται, αποτελεί παραλλαγή εφαρμοσμένων γεω-πληροφορικών μεθόδων που κατέστησαν βαθμολογίες σε όλα τα εικονοστοιχεία με σκοπό την παραγωγή εικόνας, απαλλαγμένη από ατμοσφαιρικές αλλοιώσεις, που θα αποτελείται από τα εικονοστοιχεία με την υψηλότερη βαθμολογία. Το αντικείμενο μελέτης της αρχικής εφαρμογής ήταν τα δάση του Καναδά ενώ η παρούσα μελέτη εστιάζει στη θαλάσσια τηλεπισκόπηση και στις ιδιαιτερότητες της θαλάσσιας στήλης. Πιο συγκεκριμένα, επικεντρώνεται στις αλλοιώσεις που πέρα της ατμοσφαιρικής στήλης, προκαλούνται επίσης από τη διεπιφάνεια της θάλασσας και τη θαλάσσια στήλη. Συνολικά, η περιοχή μελέτης έχει μέγεθος περίπου εφτακοσίων τετραγωνικών χιλιομέτρων και τα δορυφορικά δεδομένα προέρχονται από το Sentinel-2, I12A για όλο το έτος 2018. Το σύνθετο εικόνας που δημιουργήθηκε αξιολογήθηκε βάση επιβλεπομένης ταξινόμησης φατνίων, αντικειμενοστραφούς ανάλυσης και ποιοτικών κριτηρίων. Τα αποτελέσματα της εργασίας καθιστούν την μεθοδολογία έγκυρη και αξία χρήσης ειδικά για άτομα μη εξιδεικευμένα στη θαλάσσια τηλεπισκόπηση. Επιπλέον, λόγω του όγκου των δεδομένων που επεξεργάστηκαν και τις υπολογιστικές απαιτήσεις του εγχειρήματος, επιβεβαιώνει τα προτερήματα των υπολογιστικών περιβαλλόντων νέφους έναντι επιτραπέζιων συστημάτων όταν η μελέτη αφορά μεγάλα δεδομένα και τηλεπισκόπηση.

Abstract

The present study deals with the creation of an image composite from multi-temporal satellite data through an automated grade system for each pixel. In the same time, it explores the processing capabilities of the cloud-computing environment, Google Earth Engine, by running the entire pre-process and main analysis of the data through the platform. The suggested grade system is a variation of applied geo-informatic methods that set score values at each pixel with the intention to produce a free from atmospheric alterations, image, which is compiled from the pixels with the higher grade. The study area of the initial application was the Canadian forests while the region of interest of current study focuses on the marine remote sensing aspect and its specific structures alterations that occur from the water column. To be exact, beyond the atmospheric column spectral alterations, the study workflow also concentrates on the alterations that occur from the water column and the water surface. The total area of the region of interest is roughly seven hundred square kilometers and the satellite data belongs to Sentinel-2, Lvl2A for the whole year of 2018. The quality assessment of the composite is based on a per-pixel supervised classification, object based image analysis and quality criteria expressed with quantitative data. The results of the study establish the methodology as valid and worthy of use especially for people with no expertise on marine remote-sensing. Furthermore, due to the size of the processed data and the computing needs of the process, it confirms the advantages of cloud-computing environments in contrast with local systems when dealing with big data and remote sensing.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες.....	3
Περίληψη.....	4
Abstract	5
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ:1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
1.1 Χρησιμότητα και εφαρμογές της τηλεπισκόπησης στη θαλάσσια παράκτια ζώνη	8
1.2 Εξέλιξη των μεθόδων ανάλυσης	9
1.3 Ακρίβεια και εγκυρότητα προϊόντων ταξινόμησης.....	10
1.4 Σκοπός Μελέτης	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	13
2.1 Περιοχή μελέτης.....	14
2.2 Δορυφορικά δεδομένα και δεδομένα ταξινόμησης.....	16
2.3 Προεπεξεργασία δεδομένων	18
2.3.1 Μάσκα Στεριάς.....	18
2.3.2 Εκτίμηση Βέλτιστου Εικονοστοιχείου	19
2.3.3 Κανονικοποίηση ιστογράμματος	23
2.3.4 Υπολογισμός ανακλαστικότητας πάνω και κάτω από τη διεπιφάνεια νερού-αέρα	25
2.3.5 Δείκτης αμετάβλητου βάθους.....	25
2.4 Ταξινόμηση Θαλάσσιας Κάλυψης.....	27
2.4.1 Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση ανά φατνίο	27
2.4.2 Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση σε προϊόντα αντικειμενοστραφούς ανάλυσης.....	27
2.5 Εκτίμηση Ακρίβειας Ταξινόμησης	28
2.5.1 Δείκτες Ακρίβειας.....	28
2.5.2 Γεωχωρική πληροφορία αξιοπιστίας ταξινόμησης (Confidence Layer)	28

ΚΕΦΑΛΑΙΟ:3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	31
3.1 Αποτελέσματα προεπεξεργασίας δεδομένων	31
3.2 Κανονικοποίηση Ιστογράμματος	33
3.3 Αποτελέσματα Ταξινομήσεων.....	35
3.4 Αποτελέσματα Ακρίβειας Ταξινομήσεων	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	45
4.1 Υπόθεση ηλιακής ανάκλασης.....	45
4.2 Πληροφορία Εμπιστοσύνης	46
4.3 Δυνατότητες ΒΑΡ	46
4.4 Προτερήματα Cloud	48
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	49
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	50
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	54
Ευρετήριο εικόνων	54
Χάρτες για την περιοχή Λευκάδας	55
Χάρτες για τη νήσο Λέσβο.....	56

ΚΕΦΑΛΑΙΟ:1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Χρησιμότητα και εφαρμογές της τηλεπισκόπησης στη θαλάσσια παράκτια ζώνη

Ο όρος τηλεπισκόπηση, δηλώνει την παρατήρηση και περισυλλογή πληροφοριών ενός στόχου από μία συσκευή διαχωρισμένη από αυτόν από μια χ απόσταση. Η αγγλική ερμηνεία της λέξης, “remote sensing” επινοήθηκε από ερευνητές του γραφείου έρευνας του πολεμικού ναυτικού των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής την δεκαετία του 1960, εν μέσω μιας χρονικής συγκυρίας όπου η διαχείριση των δορυφόρων πέρασε από το στρατιωτικό φάσμα στο πολιτικό (Campbell and Wynne., 2011). Οι φωτογραφίες από αέρος, οι δορυφορικές εικόνες και οι εικόνες από ραντάρ είναι διάφορες μορφές καταγραφής δεδομένων από απόσταση, με πιο χαρακτηριστικά και διαδεδομένα αυτά που προέρχονται από ανιχνευτές οι οποίοι φέρονται από δορυφόρους (δορυφορική τηλεπισκόπηση). Η δορυφορική τηλεπισκόπηση και πιο ειδικά η δορυφορική ωκεανογραφία, παρέχει στον ερευνητή μια τεράστια ποικιλία δορυφορικών δεδομένων με απώτερο στόχο τη μελέτη του θαλάσσιου περιβάλλοντος στο σύνολο του μέσα από τη μελέτη και παρακολούθηση κρίσιμων παραμέτρων του όπως το χρώμα, η θερμοκρασία, η κυκλοφορία των ωκεανών, οι άνεμοι στην επιφάνεια της θάλασσας και η ρύπανση των θαλάσσιων υδάτων (Καρτάλης και Φείδας, 2013). Οι δορυφορικές απεικονίσεις σε γενικά πλαίσια συνδυάζουν μεσαία με υψηλή χωρική διακριτική ικανότητα με μεγάλη χωρική κάλυψη και τακτικές επαναλαμβανόμενες μετρήσεις. Έτσι, είναι σε θέση να ανιχνεύσουν αλλαγές στην επιφάνεια της Γης σε απόμακρες περιοχές με λιγοστές πληροφορίες πεδίου (Fragkoroulios, 2016). Επιπλέον, η τηλεπισκόπηση έχει εξελιχθεί ως ιδανικό μέσο για ποσοτικές μετρήσεις και μοντελοποίηση της αλλαγής χερσαίας κάλυψης λόγω πρακτικής απόκτησης δεδομένων, εφικτό κόστος και εφαρμογές με χωροχρονικά δεδομένα (Bozkaya et al., 2015).

Όσον αφορά το θαλάσσιο οικοσύστημα, τα τελευταία χρόνια έχει γίνει σημαντική πρόοδος στην επιστήμη της θαλάσσιας τηλεπισκόπησης και ειδικά στον τομέα της καταγραφής θαλάσσιων ενδιαιτημάτων και θαλάσσιας ρύπανσης. Σαφώς, η εξέλιξη των δορυφορικών αισθητήρων συντέλεσε σημαντικό ρόλο στη σχετική πρόοδο αφενός λόγω υψηλότερης διακριτικής ικανότητας και αφετέρου λόγω μικρότερης χρονικής ικανότητας έναντι συμβατικών δορυφορικών συστημάτων. Για παράδειγμα, η διακριτική και χρονική ικανότητα των μικρό-δορυφόρων “Planet” και του δυαδικού συστήματος δορυφόρων Sentinel-2, έχουν ευνοήσει την καταγραφή θαλάσσιων οικοσυστημάτων όπως κοραλλιογενείς υφάλους σε παγκόσμια κλίμακα αλλά και επιμέρους περιοχές (B. Lyons et al., 2020; Li et al., 2019; Wahidin et al., 2015). Παράλληλα, η ανίχνευση θαλάσσιας βλάστησης έχει επίσης σημειώσει σημαντική βελτίωση τόσο σε εθνικό επίπεδο (Torouzelis et al., 2018) όσο και σε μεσογειακό

(Traganos and Reinartz, 2017). Σχετικά με τη ρύπανση των υδάτων, οι Biermann et al., 2020 στα πλαίσια μιας συνεργασίας μεταξύ του Πανεπιστημίου του Πλύμουθ και του Πανεπιστημίου Αιγαίου ήταν σε θέση να ανιχνεύσουν μακροσκοπικά πλαστικά υλικά σε ποσοστό επιτυχίας 86% στη θαλάσσια επιφάνεια. Η σχετική έρευνα βασίστηκε σε αλγόριθμο ταξινόμησης τεχνητής νοημοσύνης όπου εκπαιδεύτηκε βάση δεδομένων που λήφθηκαν από αισθητήρα φερόμενο σε μη επανδρωμένο αεροσκάφος (Martínez-Vicente et al., 2019; Torouzelis et al., 2019). Αναφορικά με τις φυσικές παραμέτρους τώρα όπως αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο, το χρώμα των θαλασσών δύναται να χρησιμοποιηθεί ως οικολογικός βιοδείκτης της εκάστοτε περιοχής καθώς βάση αυτού υπολογίζεται η συγκέντρωση φυτοπλαγκτόν όπου σε μεγάλη έξαρση δημιουργούνται συνθήκες ευτροφισμού (Hu, 2009; Peppas et al., 2020). Επιπλέον, με ανάλυση και επεξεργασία των ηλεκτρομαγνητικών υπογραφών του οπτικού φάσματος οι ερευνητές είναι σε θέση να μοντελοποιήσουν τη βαθυμετρία και θολερότητα μιας περιοχής (Ouillon et al., 2008; Stumpf et al., 2003). Η θερμοκρασία των υδάτων έχει αξιοποιηθεί κατά κόρον για τη μοντελοποίηση και χαρτογράφηση της λεύκανσης των κοραλλιών (D. Elvidge et al., 2004; Hedley et al., 2016).

1.2 Εξέλιξη των μεθόδων ανάλυσης

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ωστόσο και ειδικά στην παράκτια ζώνη υφίσταται αλλοιώσεις όπως σκέδαση, απορρόφηση και ανάκλαση του φωτός που οφείλεται στην ατμόσφαιρα, στην επιφάνεια της θάλασσας και στη στήλη του (Dekker et al., 2007). Χαρακτηριστικό παράδειγμα της εκ στήλης της ατμόσφαιρας αλλοίωσης είναι η σκέδαση ενός μέρους της ακτινοβολίας του ήλιου πίσω στο δέκτη, λόγω της ατμόσφαιρας. Αυτό το φαινόμενο δίνει μια ομιχλώδη αίσθηση στην εικόνα, η οποία γίνεται περισσότερο αισθητή όσο πιο μικρό είναι το μήκος κύματος που καταγράφεται. Η διόρθωση της εν λόγω αλλοίωσης ονομάζεται ατμοσφαιρική διόρθωση και γίνεται πλέον με αυτοματοποιημένες διαδικασίες από τους παρόχους δορυφορικών δεδομένων. Ωστόσο, υπάρχουν και άλλες μορφές αλλοιώσεων που λόγω μεγέθους και διαφορετικών συνθηκών δημιουργίας δεν είναι εύκολο να διορθωθούν με αυτόματες διαδικασίες. Χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων αλλοιώσεων είναι η ηλιακή ανάκλαση και η νεφοκάλυψη.

Πρόκειται για φυσικές αλλοιώσεις που προξενούν διακυμάνσεις στην καταγεγραμμένη από το δέκτη ανακλαστικότητα εμπεριέχοντας έτσι το θετικό ή αρνητικό σφάλμα στο στάδιο επεξεργασίας και ανάλυσης της εικόνας. Δορυφορικά συστήματα όπως Landsat 5,7,8 και Sentinel-2 έχουν διευθετήσει το πρόβλημα της νεφοκάλυψης με την πρόσθεση ειδικών μπαντών όπου έναντι φασματικής υπογραφής, δίνουν την πληροφορία παρουσίας νέφους. Οι ερευνητές μπορούν να χρησιμοποιήσουν τη συγκεκριμένη πληροφορία και να

αφαιρέσουν φατνία με νέφη κατά τη διεξαγωγή μελετών με το τίμημα όμως απουσίας της πραγματικής γεωχωρικής πληροφορίας. Για αυτό το λόγο, η επιλογή της κατάλληλης δορυφορικής εικόνας για λήψη και ανάλυση βασίζεται στη οπτική παρατήρηση της εικόνας προτού ληφθεί και στις πληροφορίες των μεταδεδομένων της, όπου αυτό είναι δυνατό, που παρέχουν πληροφορία νεφοκάλυψης σε μορφή ποσοστού στο σύνολο της εικόνας. Αντίστοιχα και με στόχο της διατήρηση της γεωχωρικής πληροφορίας, η ηλιακή ανάκλαση διευθετείται από το μέρος των ερευνητών με την οριοθέτηση της σχετικής περιοχής και τη γραμμική παλινδρόμηση της διαφοράς των λόγων του υπέρυθρου με το οπτικό φάσμα (Hedley et al., 2007). Η εν λόγω διαδικασία ονομάζεται διόρθωση ηλιακής ανάκλασης. Το πόσο εφικτές και λειτουργικές όμως είναι οι προαναφερθείς διορθώσεις είναι ανάλογο του μέγεθος και του όγκου της κάθε εικόνας. Όπως είναι κατανοητό όμως, σε μελέτες μεγάλης κλίμακας δεν είναι εφικτή η μεμονωμένη διόρθωση δορυφορικών σκηνών στο σύνολο της περιοχής μελέτης καθώς απαιτεί χρόνο, ανθρώπινο δυναμικό και ανάλογα τη μορφή της μελέτης, μεγάλη υπολογιστική ισχύ. Δεδομένου λοιπόν του περιορισμένου αριθμού δορυφορικών δεδομένων δίχως νεφοκάλυψη, οι Rotarou et al., 2011 δημιούργησαν σύνθετα εικόνας βάση της μέσης τιμής των διαθέσιμων εικόνων αφού πρώτα αφαιρέσαν τα νέφη με τη χρήση μάσκας. Οι Traganos et al., 2018 δημιούργησαν σύνθετα εικόνας βάση της τιμής του πρώτου τεταρτημορίου με στόχο τη ταυτόχρονη διευθέτηση της ηλιακής ανάκλασης και νεφών, ωστόσο, αν και το ποσοστό επιτυχημένης επιβλεπόμενης ταξινόμησης για θαλάσσια βλάστηση στο σύνολο της ελληνικής επικράτειας ήταν 72%, η διόρθωση της ηλιακής ανάκλασης ήταν επιτακτική. Με γνώμονα τον όγκο δεδομένων 40 ετών του προγράμματος Landsat και την αποφυγή στατιστικής ανάλυσης, οι White et al., 2014 δημιούργησαν μια νέα μέθοδο σύνθεσης εικόνας βασισμένη σε ποιοτικές παραμέτρους. Πιο συγκεκριμένα, θέσανε μια βαθμολογία σε κάθε εικονοστοιχείο, κάθε εικόνας βάση τύπου δεδομένων (ατμοσφαιρικά διορθωμένα ή μη), ημερομηνίας καταγραφής δεδομένων, απόσταση από νέφη και ατμοσφαιρική θολεροτότητα. Η παραχθείσα εικόνα της εν λόγω μελέτης δημιουργήθηκε βάση των εικονοστοιχείων με την καλύτερη βαθμολογία

1.3 Ακρίβεια και εγκυρότητα προϊόντων ταξινόμησης

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας, τεχνογνωσίας και των δορυφορικών συστημάτων (Sentinel-2, Planet) σε συνδυασμό με νέες τεχνικές αυτοματοποιημένων ταξινομήσεων τεχνητής νοημοσύνης (machine learning) σε κοραλλιογενής υφάλους, είναι σε θέση να παράγει προϊόντα υψηλής ακρίβειας τα οποία όμως είναι περιορισμένα χωρικά καθώς είναι βασισμένα σε σημειακά δεδομένα επαλήθευσης (Goodman et al., 2020). Η εκτίμηση ακρίβειας της διαδικασίας της ταξινόμησης δηλαδή, έχει προέλθει από σημειακή και όχι

επιφανειακή πληροφορία. Αποτέλεσμα αυτού, είναι μια εικονική εκτίμηση ακρίβειας ταξινόμησης που περιορίζεται τόσο τοπικά όσο και χρονικά. Τοπικά επειδή είναι βασισμένη εξ ολοκλήρου σε σημειακή έναντι επιφανειακής πληροφορίας και χρονικά διότι ανάλογα της προέλευσης και δυναμικότητας του στόχου, είναι πιθανό η καταγεγραμμένη τιμή να αλλάξει. Επομένως, τα δεδομένα επαλήθευσης σε μελέτες θαλάσσιας τηλεπισκόπησης ανάλογα της παραμέτρου που καταγράφουν, επηρεάζονται από καιρικές και υδροδυναμικές συνθήκες (βάθος, θαλ.ρεύμα, θολερότητα κλπ.) σε μεγαλύτερο βαθμό από ότι μελέτες σε χερσαία οικοσυστήματα. Στα χερσαία οικοσυστήματα η κατάσταση είναι διαφορετική επειδή πρόκειται για ένα λιγότερο δυναμικό περιβάλλον συγκριτικά με το θαλάσσιο. Οι Lyons et al., 2018, έπειτα ανάλυσης διαφορετικών σχηματισμών και συνθηκών δημιουργίας σημειακών δεδομένων επαλήθευσης και εκπαίδευσης από την ίδια συλλογή δεδομένων, κατέληξαν πως παρόλο το σχεδιασμό των σημείων, η διακύμανση μεταξύ χαρτογραφημένων και πραγματικών τιμών είναι μεγάλη. Οι Goodman et al., 2020 με τη δημιουργία δεδομένων επαλήθευσης με τη μορφή επιφανειακής πληροφορίας έκαναν εκτίμηση ακρίβειας βαθυμετρίας βάση οπτικών-ποιοτικών παραμέτρων και εισήγαγαν τον όρο «πληροφορία εμπιστοσύνης(confidence layer)». Αντίστοιχα, οι Poursanidis et al., 2019 ήταν σε θέση να δημιουργήσουν επιφανειακά δεδομένα επαλήθευσης ώστε να φαίνεται οπτικά το επίπεδο αβεβαιότητας ταξινόμησης θαλάσσιων ενδιαιτημάτων βάση των τεσσάρων πρώτων μπαντών του Sentinel-2 (coastal aerosol, blue, green, red).

1.4 Σκοπός Μελέτης

Ο στόχος της παρούσας εργασίας είναι σε πρωταρχικό ρόλο η παραγωγή μιας νέας προσέγγισης σύνθεσης εικόνας από πολύ-χρονικά δεδομένα, λαμβάνοντας υπ όψη θαλάσσιες ποιοτικές παραμέτρους που επηρεάζουν την καταγεγραμμένη από το δέκτη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Σε δεύτερο ρόλο, στοχεύει στη διερεύνηση των δυνατοτήτων του υπολογιστικού περιβάλλοντος νέφους “Google Earth Engine” (GEE). Η μεθοδολογία σύνθεσης της εικόνας θα γίνει με την αξιοποίηση φασματικών και ποιοτικών υπογραφών με τις δεύτερες να είναι ποιοτικές παράμετροι εκφρασμένες σε ποσοτική μορφή. Παράλληλα, ο έλεγχος της εγκυρότητας της μεθόδου και των υπολογιστικών δυνατοτήτων της GEE θα γίνει με την εκτίμηση ακρίβειας κλασσικής επιβλεπόμενης ταξινόμησης, αντικειμενοστραφούς ανάλυσης βασικής παραμετροποίησης και τη δημιουργία σύνθετου εμπιστοσύνης. Το σύνθετο εμπιστοσύνης θα γίνει με την αξιοποίηση αποτελεσμάτων της ταξινόμησης που θα είναι εκφρασμένη σε μορφή πιθανότητας των σημείων επαλήθευσης.

Η GEE είναι μια διαδικτυακή πλατφόρμα που δίνει στον χρήστη πρόσβαση στο υπολογιστικό νέφος της Google και επακόλουθα στα αποθηκευμένα δεδομένα και

υπολογιστική ισχύ του (Gorelick, 2012). Η πρόσβαση εφόσον πρόκειται για ερευνητικό λόγο είναι δωρεάν και έπειτα προγραμματισμού σε προγραμματιστική γλώσσα Javascript ή Python, τα δεδομένα και οι δυνατότητες που παρέχονται είναι : δεδομένα τηλεπισκόπησης, διανυσματικά αρχεία, ειδικοί αλγόριθμοι και η υπολογιστική ισχύ του περιβάλλοντος νέφους (Gorelick, 2012; Gorelick et al., 2017; Mutanga and Kumar, 2019). Αναφορικά, περιέχει και ανανεώνει δεδομένα τηλεπισκόπησης από το πρόγραμμα Landsat στο σύνολο του, Sentinel 1,2,3, και 5, σκηνές από MODIS, AVHRR, NOAA ενώ περιέχει επίσης σκηνές από ενεργά δορυφορικά συστήματα όπως PALSAR/PALSAR-2, μοντέλα ψηφιακών επιφανειών (DEMs) και άλλες μορφές δεδομένων που έχουν ανέβει στο νέφος από διάφορους οργανισμούς¹. Για την ακρίβεια, η GEE σχεδιάστηκε και δημιουργήθηκε έτσι ώστε να είναι σε θέση να αναλύσει και χαρτογραφήσει περιβαλλοντικά γεω-χωρικά δεδομένα μεγέθους petabyte (10^{15} bytes) σε παγκόσμια κλίμακα². Σύμφωνα με το εγχειρίδιο χρήστη², ο συνδυασμός επιστήμης, μεγάλων δεδομένων και τεχνολογικών πόρων της GEE παρέχει μεγάλη ταχύτητα επεξεργασίας και χαμηλό κόστος καθώς ο μόνος περιορισμός από τη πλευρά του χρήστη είναι μόνο η ταχύτητα του διαδικτύου. Η πλατφόρμα έχει τέτοια απήχηση όπου μετέπειτα της πρώτης σχετικής με τη GEE επιστημονική δημοσίευση το 2011, μέχρι το 2017 δημοσιεύτηκαν 300 εργασίες εκ των οποίων το 17% είχε περιοχή μελέτης όλο τον πλανήτη ενώ το 46,3% αφορούσε αναλύσεις σε περιφερειακή κλίμακα (Kumar and Mutanga, 2018).

¹ Κατάλογος δεδομένων : <https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/>

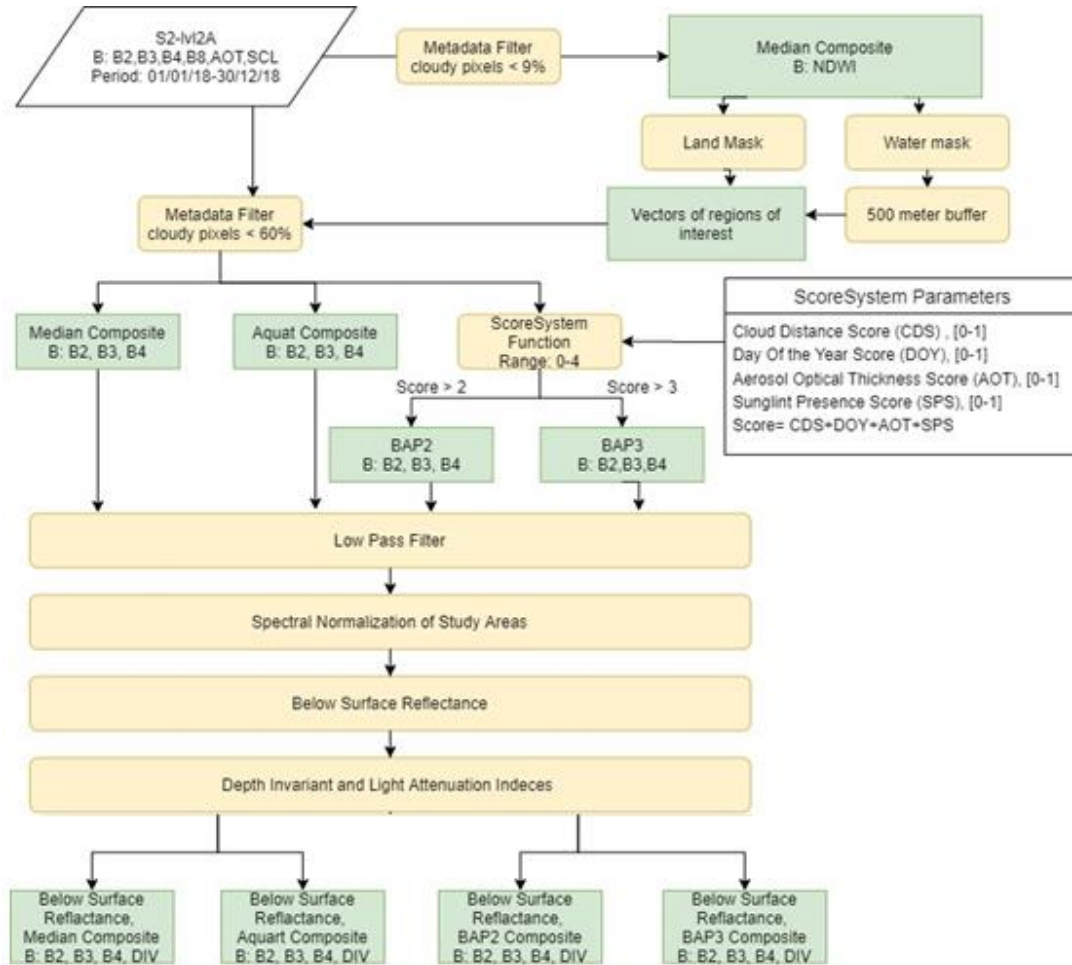
² Εγχειρίδιο χρήστη GEE: <https://developers/google/com/earth-engine/>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Για την εκπόνηση και εξακρίβωση της ορθότητας της παρούσας μεθοδολογίας, η επεξεργασία των δεδομένων διαχωρίζεται σε τρεις πυλώνες ανάλυσης :

1) Προεπεξεργασία δεδομένων.

Δημιουργεί τα προς ανάλυση σύνθετα εικόνες



Εικόνα 1, Διαγραμμα ροής διαδικασιών δημιουργίας των προς ανάλυση σύνθετων

2) Ταξινόμηση Θαλάσσιων ενδιαιτημάτων βάση φασματικών υπογραφών ανά εικονοστοιχείων και βάση αντικειμενοστραφούς ανάλυσης.

Ταξινομεί τα σύνθετα ανά φαντίο (RF) και ανά αντικείμενο (OBIA). Η αντικειμενοστραφής ανάλυση διεξήχθη μόνο για το σύνθετο εικόνας που πέτυχε την καλύτερη συνολική ακρίβεια και αποσκοπεί στη διερεύνηση των δυνατοτήτων της GEE για τη συγκεκριμένη διαδικασία.

3) Εκτίμηση Ακρίβειας Ταξινόμησης

Υπολογισμός δεικτών ακρίβειας (OA, commission & emission errors)

Δημιουργία καννάβου με τις τιμές των εικονοστοιχείων να αντικατοπτρίζουν το επίπεδο εμπιστοσύνης της ταξινόμησης ανά φατνίο βάση ενός συστήματος βαθμονόμησης.

Η εγκυρότητα της μεθόδου που παρουσιάζεται, εκτός των δεικτών ακρίβειας της ταξινόμησης, θα εξαρτηθεί και από την σύγκριση των δεικτών ακρίβειας ταξινόμησης που θα γίνει σε σύνθετα εικόνες παραγόμενα από καθιερωμένες, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, μεθόδων. Στα πλαίσια αυτού, δημιουργήθηκαν σύνθετα εικόνες βάση της διαμέσου και του πρώτου τεταρτημορίου επί του συνόλου των καταγεγραμμένων τιμών ανά εικονοστοιχείο.

2.1 Περιοχή μελέτης

Η περιοχή μελέτης διαχωρίζεται σε 3 παράκτιες ζώνες των νήσων Λέσβου (Αιγαίο πέλαγος) και Ζακύνθου (Ιόνιο πέλαγος), όπως επίσης και στην παράκτια ζώνη του εσωτερικού αρχιπελάγους του Ιονίου νοτιοανατολικά της Λευκάδας (εικόνα 2). Πιο συγκεκριμένα, η παράκτια ζώνη αφορά την θαλάσσια απόσταση 500 μέτρων από την ακτογραμμή. Το όριο των πεντακοσίων μέτρων αποφασίστηκε με γνώμονα την υπολογιστική ισχύ που απαιτείται για την ανάλυση που αφορά τη συγκεκριμένη εργασία και την προσπάθεια ελαχιστοποίησης της. Άλλωστε, κρίσιμη παράμετρο για την οριοθέτηση της ζώνης, αποτελεί η βυθομετρία των εν λόγω περιοχών όπου έπειτα έρευνας δεν βρέθηκαν δεδομένα με χωρική ανάλυση 10 μέτρων που διακρίνει το δορυφορικό αισθητήρα που χρησιμοποιήθηκε.

Η επιλογή των περιοχών έγινε κυρίως λόγω της περιβαλλοντικής τους αξίας και δευτερευόντως της δυνατότητας εύρεσης in-situ δεδομένων για την εκτίμηση ακρίβειας ταξινόμησης όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Είτε στο σύνολο, είτε μέρος των επιλεχθέντων περιοχών αποτελούν μέρος του ευρωπαϊκού προγράμματος δικτύου προστατευόμενων περιοχών Natura 2000, όπως αποδίδεται από την επίσημη ιστοσελίδα του δικτύου (<https://natura2000.eea.europa.eu/>) και χρήζουν προστασίας από την πολιτεία σύμφωνα με το άρθρο 9 (Ρυθμίσεις για την προστασία και διαχείριση των περιοχών του Δικτύου Natura 2000) του Ν.3937/2011 (ΝΟΜΟΣ ΥΠ'ΑΡΙΘ.3937 ΦΕΚ Α 60/31.3.2011, Διατήρηση της βιοποικιλότητας και άλλες διατάξεις).

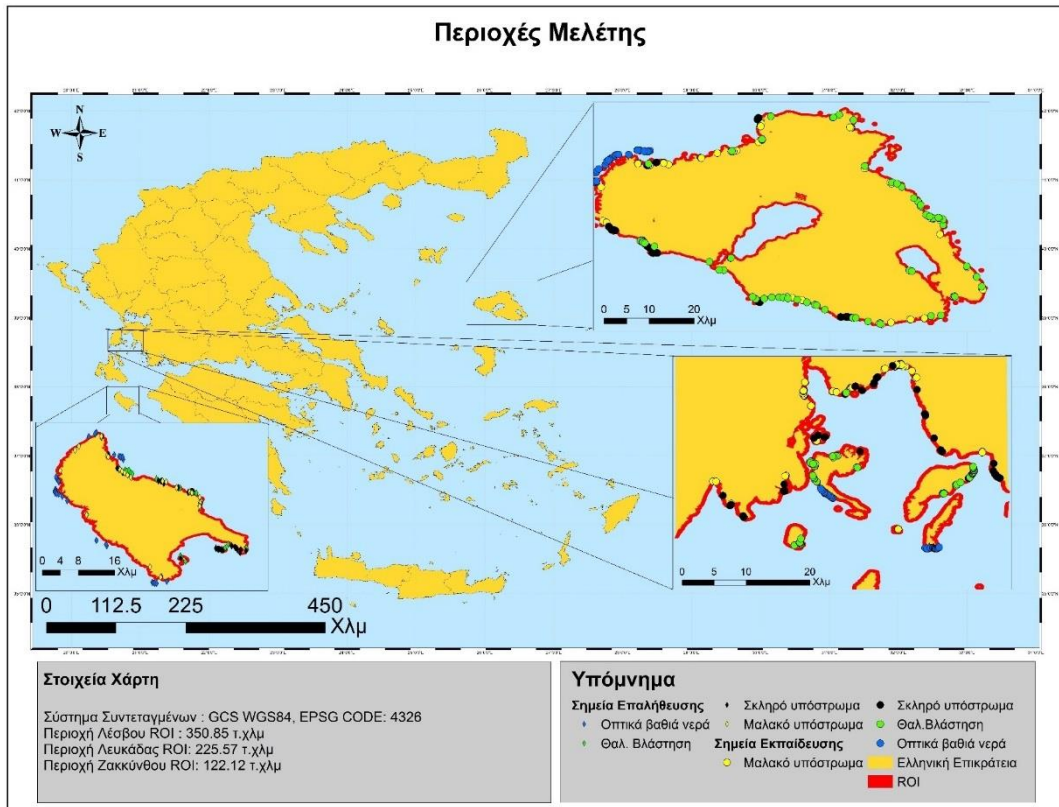
Τμήμα του εσωτερικού αρχιπελάγους Ιονίου που θα αποτελέσει την 1η περιοχή μελέτης είναι η περιοχή GR22220003³ που περιλαμβάνει το θαλάσσιο τμήμα, τις ακτογραμμές, καθώς και νησίδες που βρίσκονται μεταξύ Κεφαλονιάς, Ιθάκης, Λευκάδας και ηπειρωτικής Ελλάδας. Για

³ <http://natura2000.eea.europa.eu/Natura2000/SDF.aspx?site=GR2220003>

λόγους συντομίας η εν λόγω περιοχή θα αναφέρεται ως Λευκάδα. Σύμφωνα με την επίσημη περιγραφή της περιοχής, πρόκειται για μια θαλάσσια έκταση που φιλοξενεί πληθυσμούς απειλούμενων ειδών όπως κοινά δελφίνια (*Delphinus delphis*), πίνες (*Pinna nobilis*) και λιβάδια ποσειδωνίας (*Posidonia oceanica*) μεταξύ άλλων. Η δεύτερη περιοχή μελέτης αφορά ολόκληρο το νησί της Ζακύνθου όπου στο νότιο μέρος του βρίσκεται ο κόλπος Λαγανά που αποτελεί περιοχή Natura2000 με την ονομασία GR2210002⁴. Πρόκειται για έναν κόλπο καίριας σημασίας καθώς μεταξύ άλλων, αποτελεί τόπο αποθέσης αυγών της θαλάσσιας χελώνας καρέτα-καρέτα (*Caretta caretta*) και έγκειται στην προστασία του Εθνικού Θαλάσσιου πάρκου Ζακύνθου (<http://nmp-zak.org/>). Η προστασία του ενδιαιτήματος και των χαρακτηριστικών του όπως ύφαλοι, αμμοθίνες και λιβάδια ποσειδωνίας είναι σημαντικοί παράγοντες πίεσης στο απειλούμενο είδος και τον κύκλο αναπαραγωγής του. Για αυτό το λόγο, με στόχο τη διατήρηση της βιοποικιλότητας και την άρρηκτη σχέση μεταξύ ανθρώπου και περιβάλλοντος, τα εν λόγω χαρακτηριστικά οφείλουν να διατηρηθούν. Τρίτη και τελευταία περιοχή μελέτης αποτελεί το νησί της Λέσβου, το τρίτο σε έκταση μεγαλύτερο νησί στην Ελλάδα και η μοναδική περιοχή μελέτης που βρίσκεται στο Αιγαίο πέλαγος. Με αυτή τη προσθήκη, ο ταξινομητής που θα εκτιμήσει την ακρίβεια της προσέγγιση ΒΑΡ, θα έχει δεδομένα εκπαίδευσης των κλάσεων ταξινόμησης και από τα δύο πελάγη, με διαφορετικά υδροδυναμικά χαρακτηριστικά (αλατότητα, θερμοκρασία, αναβλύσεις κλπ). Ο μεγαλύτερος κόλπος του νησιού, ο κόλπος Καλλονής, αποτελεί επίσης προστατευόμενη περιοχή Natura 2000 με κωδική ονομασία GR411004⁵. Αν και ο κόλπος Καλλονής είναι ενδιαίτημα αρκετών απειλούμενων θαλάσσιων ειδών όπως της πίνας, φυκιάδων του είδους *Cymodocea nodosa* ή της πράσινης χελώνας (*Chelonia mydas*), είναι γνωστός διότι αποτελεί υδροβιότοπο απειλούμενων πτηνών κατά την περίοδο μετανάστευσης τους. Ο κόλπος Καλλονής αποτελεί το σταυροδρόμι αρκετών πτηνών που μεταναστεύουν από Ασία, Αφρική και Ευρώπη με πιο γνωστά το φλαμίνγκο(φοινικόπτερο) του γένους *Phoenicoragrus*.

⁴ <http://natura2000.eea.europa.eu/Natura2000/SDF.aspx?site=GR2210002>

⁵ <http://natura2000.eea.europa.eu/Natura2000/SDF.aspx?site=GR4110004>



Εικόνα 2, Περιοχές μελέτης της ελληνικής επικράτειας και τα σημεία εκπαίδευσης και επαλήθευσης που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση και εκτίμηση ακριβείας της ταξινόμησης θαλάσσιων ενδιαιτημάτων, ROI: Region Of Interest

2.2 Δορυφορικά δεδομένα και δεδομένα ταξινόμησης

Για την παρούσα μελέτη, το δορυφορικό σύστημα Sentinel-2 (S2) αποτελεί την κύρια πηγή δεδομένων τηλεπισκόπησης. Το εν λόγω δορυφορικό σύστημα είναι μέρος του προγράμματος Copernicus της Ευρωπαϊκής Ένωσης και παρόλο που είχε σχεδιαστεί αρχικά για χερσαία τηλεπισκόπηση, έχει αναδειχθεί ως ένα έγκυρο και υποσχόμενο εργαλείο για μελέτες θαλάσσιας τηλεπισκόπησης (Ansper and Alikas, 2019; Biermann et al., 2020; Poursanidis et al., 2019b; Topouzelis et al., 2019; Traganos et al., 2018a; Traganos and Reinartz, 2017). Για την εκπόνηση της εργασίας επεξεργάστηκαν 315 εικόνες εκ των οποίων, οι 100 αφορούν τη Λέσβο, 109 τη Ζάκυνθο και 106 το εσωτερικό αρχιπέλαγος της Λευκάδας, ενώ δόθηκε ιδιαίτερη σημασία ώστε οι εικόνες για την κάθε περιοχή μελέτης να προέρχονται από την ίδια σκηνή(tile) δορυφορικής λήψης. Σχετικά με το επίπεδο επεξεργασίας, όλες οι εικόνες είναι ατμοσφαιρικά διορθωμένες σύμφωνα με τον αλγόριθμο $sen2cor^6$, όπου καθιστά το επίπεδο ως 2A. Το χρονικό εύρος από το οποίο εξήχθησαν τα δεδομένα αφορά

⁶ <https://step.esa.int/main/third-party-plugins-2/sen2cor/>

όλο το έτος 2018 με τη χρονική διακριτική ικανότητα του S2 να είναι 5 ημέρες. Η ανάλυση και η επεξεργασία των δεδομένων στο σύνολο τους έγινε μέσα από τη πλατφόρμα GEE με αποτέλεσμα το σύστημα συντεταγμένων των προϊόντων να είναι το παγκόσμιο γεωδαιτικό σύστημα 1984 (WGS84) με κωδικό EPSG:3857. Επιπλέον, με στόχο την μείωση του όγκου των δεδομένων, από τις 24 μπάντες του S2, λήφθηκαν για επεξεργασία και ανάλυση οι μπλε (492.1-496.6 νμ), πράσινη (559 - 560 νμ), κόκκινη (664.5 - 655 νμ), εγγύς υπέρυθρο (833 - 835.1 νμ), μικρού μήκους υπέρυθρο 1 (1610.4 - 1913.7 νμ) και η SCL με την τελευταία να είναι προϊόν της ατμοσφαιρικής διόρθωσης και χαρτογραφεί τις περιοχές με νέφη, χιόνι, υδάτινο σώμα κλπ. Οι μπάντες SCL και μικρού μήκους υπέρυθρο 1 (SWIR 1) έχουν χωρική ανάλυση 20 μέτρων ενώ όλες οι υπόλοιπες 10 μέτρα.

Τα δεδομένα εκπαίδευσης που χρησιμοποιήθηκαν για την ταξινόμηση των θαλάσσιων ενδιαιτημάτων αποτελούνται από 420 σημεία που επιλέχθηκαν έπειτα φωτοερμηνείας με τη διασταύρωση πληροφορίας μεταξύ των δορυφορικών δεδομένων και του υψηλής διακριτικής ικανότητας χάρτη του GEE. Τα εν λόγω δεδομένα προέρχονται από τις περιοχές ενδιαφέροντος Λευκάδας (210 σημεία) και Λέσβου (210 σημεία). Επιλέχθηκαν 60 σημεία για τις κλάσεις φυκιών, μαλακού και σκληρού βένθους ενώ για την κλάση των οπτικά βαθιών υδάτων, 30. Η απόκλιση του αριθμού των σημείων μεταξύ της κλάσης οπτικά βαθιών νερών και των υπόλοιπων οφείλεται στη μεγάλη φασματική διαφοροποίηση που εμφανίζει η πρώτη ομάδα έναντι των εναπομεινάντων λόγω της απορρόφησης και σκέδασης του φωτός, ειδικά στο κόκκινο και πράσινο κανάλι, λόγω της στήλης του νερού. Επιπροσθέτως, το νησί της Λέσβου βρίσκεται σε μικρή εγγύτητα με την Τουρκία, με αποτέλεσμα η παράκτια θαλάσσια ζώνη της να εμφανίζεται για στρατιωτικούς λόγους με αλλοιωμένη ανάλυση στον χάρτη του GEE. Λόγω αυτού, έγινε λήψη ατμοσφαιρικά διορθωμένων δεδομένων του συστήματος μικρο-δορυφόρων PlanetScope, χωρικής ανάλυσης 3 μέτρων, ώστε να επιλεχθούν τα σχετικά σημεία εκπαίδευσης για κάθε κλάση (Planet Team, 2017). Το σύνολο των προαναφερθέν μικρο-δορυφόρων αποτελείται από ένα σμήνος ~120 συστημάτων με χρονική διακριτική ικανότητα μίας ημέρας. Επιπλέον, η συγκεκριμένη ικανότητα σε συνδυασμό με τη χωρική ανάλυση έχει αναδείξει την καταλληλότητα των εν λόγω σκηνών για χαρτογράφηση θαλάσσιων ενδιαιτημάτων του Μεγάλου Κοραλλιογενούς (B. Lyons et al., 2020; Li et al., 2019b) και γενικά για μελέτες θαλάσσια τηλεπισκόπησης (Poursanidis et al., 2019a; Tragano et al., 2018b; Wicaksono and Lazuardi, 2018).

Τα δεδομένα επαλήθευσης που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση ακρίβειας των ταξινομήσεων αποτελούνται από 122 σημεία, ~30 σημεία για την κάθε ομάδα. Για την ακεραιότητα και αντικειμενικότητα της ανάλυσης, τα εν λόγω δεδομένα θα πρέπει να είναι

υψηλότερης διακριτικής ικανότητας από τα δεδομένα εκπαίδευσης αλλά και από ανεξάρτητη πηγή δημιουργίας. Για αυτό το λόγο, τα δεδομένα επαλήθευσης της παρούσας εργασίας προέρχονται από τη terraSolutions marine environment research (<https://www.terrasolutions.eu/>) όπου έχουν συλλεχθεί κατά τη διάρκεια ερευνητικών έργων της. Πρόκειται για δεδομένα που έχουν προκύψει από υδροακουστικές μελέτες, φωτοερμηνεία αεροφωτογραφιών και δορυφορικών σκηνών υψηλής διακριτικής ικανότητας καθώς επίσης και επιστημονικές καταδύσεις. Επιπλέον, στο τελικό στάδιο της δημιουργίας τους, επικυρώθηκαν βάση φωτοερμηνείας με την αρωγή σκηνών ESRI και BING μέσα από το γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών QGIS.

2.3 Προεπεξεργασία δεδομένων

Η προεπεξεργασία του συνόλου των γεωχωρικών δεδομένων γίνεται εξ ολοκλήρου στην πλατφόρμα του GEE (Gorelick et al., 2017). Το υπολογιστικό νέφος της Google έχει αναδειχθεί ως ένα χρήσιμο εργαλείο για μελέτες τηλεπισκόπησης με ικανότητα διαχείρισης και ανάλυσης όγκου γεωχωρικών δεδομένων, αρκετά μεγαλύτερο σε σχέση με τον όγκο που δύναται να διαχειριστούν τα βασικά τοπικά συστήματα (Kumar et al., 2018; Mutanga et al., 2019; Traganos et al., 2018b; Xiong et al., 2017). Ο χρόνος ανάλυσης των δεδομένων έχει χρονικό όριο πέντε λεπτών αλλά λόγω της υπολογιστικής ισχύος του νέφους, ο χρονικός περιορισμός δεν παραβιάστηκε. Επίσης, τα αποτελέσματα των αναλύσεων (σύνθετα εικόνες, διανυσματικά δεδομένα κ.α.) αποθηκεύονταν στους εξυπηρετητές της Google για περαιτέρω ανάλυση όπου ήταν επιθυμητό.

Τα βήματα που ακολουθούν, εκτός της εκτίμησης βέλτιστου εικονοστοιχείου, αφορούν και τα σύνθετα εικόνες βάση διαμέσου (Median) και πρώτου τεταρτημορίου (Aquart).

2.3.1 Μάσκα Στεριάς

Τη μάσκα στεριάς και επακόλουθα μία ζώνη 500 μέτρων από την ακτογραμμή αποτελεί ένα διανυσματικό αρχείο που δημιουργήθηκε με τις ίδιες διαδικασίες και για τις 3 περιοχές μελέτης. Αφού τέθηκε η χρονική περίοδος ενός έτους όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 2.2, διατηρήθηκαν για ανάλυση μόνο οι εικόνες όπου σύμφωνα με τα μεταδεδομένα με την ονομασία "CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE", είχαν ποσοστό νέφους κάτω του 10% στο σύνολο των επιφανειών τους. Έπειτα, δημιουργήθηκε ένα σύνθετο εικόνας όπου στις τιμές των εικονοστοιχείων του εκφράζεται η διάμεσος όλων των τιμών των εικόνων που διατηρήθηκαν. Με τη χρήση της διαμέσου και το χρονικό παράθυρο ενός έτους, το σύνθετο αποτελεί ένα αντιπροσωπευτικό μέσο παρατήρησης της μορφολογίας των περιοχών καθώς οι ακραίες τιμές των νεφών θα έχουν εξαλειφθεί σε ένα βαθμό και η παραγωγή του σύνθετου

αποσκοπεί μονάχα στην αναγνώριση υδάτινου σώματος. Έτσι, έγινε οπτικός έλεγχος στα σύνθετα εικόνα, στο σύνολο των περιοχών μελέτης, για να εξεταστεί η παρουσία νεφών στην ακτογραμμή και γενικότερα στη θαλάσσια επιφάνεια. Στα πλαίσια του ελέγχου δεν βρέθηκε κάποιο νέφος σημαντικής μάζας. Για το διαχωρισμό χέρσου και θάλασσας εφαρμόστηκε ο δείκτης νερού κανονικοποιημένης διαφοράς (normalized difference water index, ndwi)(Gao, 1996) ενώ η θέσπιση του ορίου τιμών για την εξαγωγή του υδάτινου στοιχείου τέθηκε έπειτα πειραματισμών για βέλτιστη οπτική απόδοση. Τέλος, και αφού η μασκαρισμένη θαλάσσια περιοχή οριοθετήθηκε στα 500 μέτρα από την ακτογραμμή, δημιουργήθηκε ένα αρχείο μάσκας της κάθε περιοχής μελέτης. Με αυτό το τρόπο, στα επόμενα βήματα της ανάλυσης θα έχουν ήδη χωροθετηθεί και αποκοπεί οι πραγματικές περιοχές μελέτης, μειώνοντας έτσι το συνολικό όγκο δεδομένων προς ανάλυση.

2.3.2 Εκτίμηση Βέλτιστου Εικονοστοιχείου

Η εκτίμηση του βέλτιστου εικονοστοιχείου (Best Available Pixel, BAP) που παρουσιάζεται σε αυτή την εργασία βασίζεται σε ένα σύστημα βαθμονόμησης τεσσάρων παραμέτρων του κάθε εικονοστοιχείου, στην κάθε εικόνα. Οι παράμετροι έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να ποσοτικοποιούν σε ένα εύρος τιμών [0,1] ποιοτικές παραμέτρους που αλλοιώνουν την ανακλώμενη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία του στόχου τόσο στο χώρο όσο και στο χρόνο. Το άθροισμα των παραμέτρων καθορίζει την τελική βαθμολογία του κάθε φατνίου, όπου με τη χρήση ενός ορίου επ αυτού θα καθοριστεί πόσα και ποια εικονοστοιχεία θα συνθέσουν την τελική εικόνα συνυπολογίζοντας και τη διάσταση του χρόνου. Το τελικό σύνθετο εικόνας παρήχθη βάση της διαμέσου των εικονοστοιχείων που καθορίστηκαν ως βέλτιστα όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Ο λόγος χρήσης της διαμέσου και όχι της μέσης τιμής οφείλεται στην μικρότερη ευαισθησία σε ακραίες τιμές που διακρίνει την πρώτη. Για να επιτευχθεί το εν λόγω εγχείρημα, δημιουργήθηκαν 5 νέες μπάντες στην κάθε εικόνα με τις 4 να αφορούν τις ποιοτικές παραμέτρους ενώ η 5^η, αφορά τη τελική βαθμολογία. Οι παράμετροι στις οποίες βασίστηκε η παρούσα εργασία είναι: i) Απόσταση από νέφος, ii) Ημερομηνία ενδιαφέροντος, iii) Πάχος οπτικού αεροζόλ και iv) Υπόθεση ηλιακής ανάκλασης

i) Απόσταση από νέφος (Dist-score)

Για τον υπολογισμό της βαθμολογίας για τη συγκεκριμένη παράμετρο λήφθηκε υπ όψιν η απόσταση των εικονοστοιχείων από εικονοστοιχεία που έχουν χαρτογραφηθεί με νεφοκάλυψη. Με την αξιοποίηση του διαύλου 'SCL' και την ταξινόμηση των εικονοστοιχείων σε θυσάνους (Cirrus) ή σε χαμηλή, μέτρια και υψηλή πιθανότητα νεφοκάλυψης, ο αλγόριθμος υπολογίζει, στην κάθε εικόνα, την κοντινότερη απόσταση μεταξύ των ταξινομημένα ως νέφη

εικονοστοιχείων με τα εναπομείναντα, αλλάζοντας την τιμή των δευτέρων με την πραγματική απόσταση που υπολογίστηκε. Έπειτα, με στόχο τον περιορισμό εμφάνισης σκιάς νεφών και αλλοίωσης της φασματικής υπογραφής πάνω από στόχους, τέθηκε μια βαθμολογία στο σύνολο των δεδομένων βάση της πραγματικής απόστασης όπως αναφέρθηκε προηγουμένως. Η μετατροπή της χωρικής ανάλυσης των 20 μέτρων της 'SCL' σε 10 μέτρα, όπως και των υπόλοιπων προϊόντων του συγκεκριμένου βήματος, έγινε αυτόματα από την πλατφόρμα του GEE με resampling(επαναδειγματοληψία) και τη μέθοδο του κοντινότερου γείτονα. Δεδομένου ότι θα αξιοποιηθούν εικονοστοιχεία με μέγιστη απόσταση από το νέφος το οικολογικό σφάλμα που θα προκύψει θεωρείται αμελητέο. Η μεγαλύτερη βαθμολογία (1) δόθηκε σε φατνία που βρίσκονται σε απόσταση μεγαλύτερη των 1500 μέτρων από εκείνα που έχουν ταξινομηθεί ως νέφη σύμφωνα με τη 'SCL'. Αντίστοιχα, όσα εικονοστοιχεία έχουν απόσταση μικρότερη των 300 μέτρων συμπεριλαμβανομένης και των ταξινομημένων ως νέφη εικονοστοιχείων, πήραν τη τιμή 0. Ακολουθεί ο πίνακας με τις υπόλοιπες βαθμολογίες σύμφωνα με τις ζώνες απόστασης :

Πίνακας 1, Επαναταξινόμηση τιμών εικονοστοιχείων και θέσπιση βαθμολογίας «Dist-score», ανάλογα της απόστασης από φατνία που αντιπροσωπεύουν νέφη.

Απόσταση από νέφος (μέτρα)	Βαθμολογία εικονοστοιχείου
<300	0
300-600	0.2
600-900	0.4
900-1200	0.6
1200-1500	0.8
>1500	1

ii) Ημερομηνία ενδιαφέροντος (DOYscore)

Η δεύτερη μάλιστα αφορά τη βαθμολογία που παίρνει η εκάστοτε εικόνα σύμφωνα με τη χρονική απόσταση από την ημέρα ενδιαφέροντος. Στην εργασία τους, οι White et al., 2014 όρισαν ως ημέρα ενδιαφέροντος την 1η Αυγούστου καθώς οι φασματικές υπογραφές της χλωρίδας πετυχαίνουν τις μέγιστες ανακλάσεις δεδομένου της ευεξίας τους. Ιδανικά, για την παρούσα εργασία θα έπρεπε να οριστεί μια αντίστοιχη ημερομηνία, αλλά λόγω απουσίας in-situ δεδομένων κατά την έναρξη της εργασίας, ως ημέρα ενδιαφέροντος (DOY) ορίστηκε η 18/10/18. Κατά αυτή την ημερομηνία, έγινε πτήση μη επανδρωμένου αεροσκάφους, σε ένα μικρό μέρος της ανατολικής Λέσβου, όπου βάση του αρχικού σχεδιασμού της εργασίας θα χρησιμοποιούνταν για την εκτίμηση ακρίβειας της μεθόδου. Ωστόσο, καθώς η περιοχή

μελέτης αφορά 3 νησιά και τα δεδομένα επαλήθευσης προέρχονται περιμετρικά της Ζακύνθου, δεν χρησιμοποιήθηκαν τα αποκτηθέντα από την μη επανδρωμένη πλατφόρμα δεδομένα. Παρόλα αυτά, η ημερομηνία ενδιαφέροντος διατηρήθηκε καθώς κατά τους καλοκαιρινούς μήνες παρατηρήθηκαν περισσότερα σύννεφα στις περιοχές μελέτης και λόγω του ότι είναι η μοναδική βαθμολογία της παρούσα προσέγγισης που δίνει την ίδια τιμή στο σύνολο των εικονοστοιχείων της κάθε εικόνας. Επίσης, βάση φωτοερμηνείας, η φθινοπωρινή ημερομηνία που επιλέχθηκε, φαίνεται να φέρει καλύτερα αποτελέσματα συγκριτικά με καλοκαιρινή (01/08/18) και ανοιξιάτικη (01/05/18) ημερομηνία που επιλέχθηκαν στα πλαίσια πειραματισμού και επιλογής της τελικής DOY. Για τον καθορισμό της βαθμολογίας, αξιοποιήθηκαν τα μεταδεδομένα της εκάστοτε εικόνας και πιο συγκεκριμένα, ο χρόνος λήψης των δεδομένων με τη μορφή δευτερολέπτων από την 01-01-1970. Με χρήση ειδικής προγραμματιστικής εντολής, έγινε μετατροπή του χρόνου σε ιουλιανή ημέρα με εύρος 0-365 (πχ η 1/1 είναι η 1η ιουλιανή ημέρα και η 31/12, η ημέρα 365). Η τελική βαθμολογία για την κάθε εικόνα και επακόλουθα για όλα τα εικονοστοιχεία της κάθε εικόνας υπολογίστηκε βάση της ακόλουθης εξίσωσης (1).

$$DOYscore = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} * e^{-\frac{1}{2} * \frac{x-m^2}{\sigma}}, (1)$$

Όπου,

x: Ιουλιανή ημέρα,

m: Ημέρα ενδιαφέροντος,

σ: Η τυπική απόκλιση μεταξύ των ημερομηνιών

π: 3,14

Τέλος, για να τεθεί η βαθμολογία 0-1 στην κάθε εικόνα, διαιρέθηκε το κάθε DOYscore με τη μέγιστη τιμή που υπολογίστηκε βάση της εξίσωσης 1.

iii) Πάχος αεροζόλ στη στήλη της ατμόσφαιρας (AOTscore)

Η παράμετρος της τρίτης μπάντα αξιολόγησης (AOTscore) αφορά το πάχος αεροζόλ της ατμόσφαιρας διότι πρόκειται για έναν σημαντικό παράγοντα επιρροής της ηλιακής ακτινοβολίας. Η απορρόφηση και σκέδαση που υφίσταται το ηλεκτρομαγνητικό κύμα λόγω της ατμόσφαιρας είναι θεμελιώδες και ακόμη και αν χρησιμοποιήθηκαν ατμοσφαιρικά διορθωμένα δεδομένα για την παρούσα εργασία, πρόκειται για ένα ακόμη μέτρο περιορισμού σφαλμάτων οφειλόμενα σε ατμοσφαιρικές και μετεωρολογικές συνθήκες. Η βαθμολογία των εικονοστοιχείων της κάθε εικόνας βασίζεται σε λογικές συνθήκες Boolean, με τη χρήση της μπάντας AOT και διαχωρίζεται σε 5 βαθμίδες όπως αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 2, Επαναταξινόμηση τιμών εικονοστοιχείων και θέσπιση βαθμολογίας «AOTscore», ανάλογα της τιμής AOT.

AOT value	Βαθμολογία εικονοστοιχείου
>0.3	0
0.3-0.25	0.3
0.25-0.2	0.6
0.2-0.1	0.8
<0.1	1

iv) Υπόθεσης παρουσίας ηλιακής ανάκλασης (Sunglint Assumption, SAscore)

Την τελευταία μπάντα αξιολόγησης αποτελεί η υπόθεση παρουσίας ηλιακής ανάκλασης καθώς πρόκειται για ένα παρατηρούμενο φαινόμενο τεχνικού σφάλματος στη θαλάσσια τηλεπισκόπηση. Η ηλιακή ανάκλαση ορίζεται ως η αυξημένη φασματική υπογραφή που λαμβάνει ο δέκτης και οφείλεται στην γωνία μεταξύ δέκτη, επιφάνειας ενδιαφέροντος και ήλιου. Η τραχύτητα της θάλασσας και η σύσταση των επιφανειακών υδάτων συντελούν επίσης στη δημιουργία ηλιακής ανάκλασης. Η καθιερωμένη τεχνική διόρθωσης του συγκεκριμένου φαινομένου, γίνεται βάση της γραμμικής συσχέτισης των αποκλίσεων των λόγων υπέρυθρου και ορατού φάσματος σε περιοχές παρουσίας ηλιακής ανάκλασης (Hedley et al., 2005). Παραδείγματος χάρη, στην ανοιχτή θάλασσα, όταν ο λόγος μεταξύ υπέρυθρου και ορατού φάσματος τείνει στο 0, συνιστά την απουσία ηλιακής ανάκλασης (Hedley et al., 2007, 2005). Δεδομένου όμως της μεγαλύτερης διεισδυτικής ικανότητας και μειωμένης απορρόφησης των B2(μπλε μπάντα), B3(πράσινη μπάντα) στην παράκτια ζώνη συγκριτικά με τη μεγαλύτερη απορρόφηση που υφίστανται σε ανοιχτή θάλασσα, θα αξιοποιηθεί μονάχα ο λόγος μεταξύ των B8(εγγύς υπέρυθρο) και B4 (κόκκινο), όπου χαίρουν μικρότερης διείσδυσης και μεγαλύτερης απορρόφησης. Έτσι, στην παράκτια ζώνη και δη σε βάθη

μεγαλύτερα των 5 μέτρων, εάν ο λόγος NIR/red τείνει στο 1, θα μπορούσε να αποδοθεί, θεωρητικά, σε ηλιακή ανάκλαση. Επιπλέον, η βαθμονόμηση των εικονοστοιχείων έγινε ανάλογα με την κατανομή των τιμών σε κάθε φαντίο στο σύνολο των εικόνων. Συγκεκριμένα, δημιουργήθηκε μια επιπλέον μπάντα όπου εισάγει στο κάθε φαντίο με συντεταγμένες x,y,t, τη τιμή του αντίστοιχου ποσοστημορίου σύμφωνα με την κατανομή που παρουσιάζεται στον άξονα t όπου πρόκειται για το χρονικό άξονα (εικόνες διαφορετικών ημερομηνιών λήψης). Ασφαλώς, έγινε μάσκα στεριάς και νεφών ώστε να απαλειφθούν ακραίες τιμές αλλά και περιοχές χέρσου που θα επηρέαζαν το εύρος τιμών συνεπώς και τα ποσοστημόρια. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι 5 βαθμίδες που δημιουργήθηκαν και οι αντίστοιχες βαθμολογίες τους.

Πίνακας 3, Επαναταξινόμηση τιμών εικονοστοιχείων και θέσπιση βαθμολογίας "SAscore", ανάλογα τη τιμή ποσοστημορίου για το κάθε φαντίο στη διάσταση του χρόνου.

SA percentile	Βαθμολογία εικονοστοιχείων
>80p	0
80-60p	0.25
60-40p	0.5
40-20p	0.75
<20p	1

ν) Τελική βαθμολογία εικονοστοιχείων (Score Band) και σύνθετο εικόνας BAP

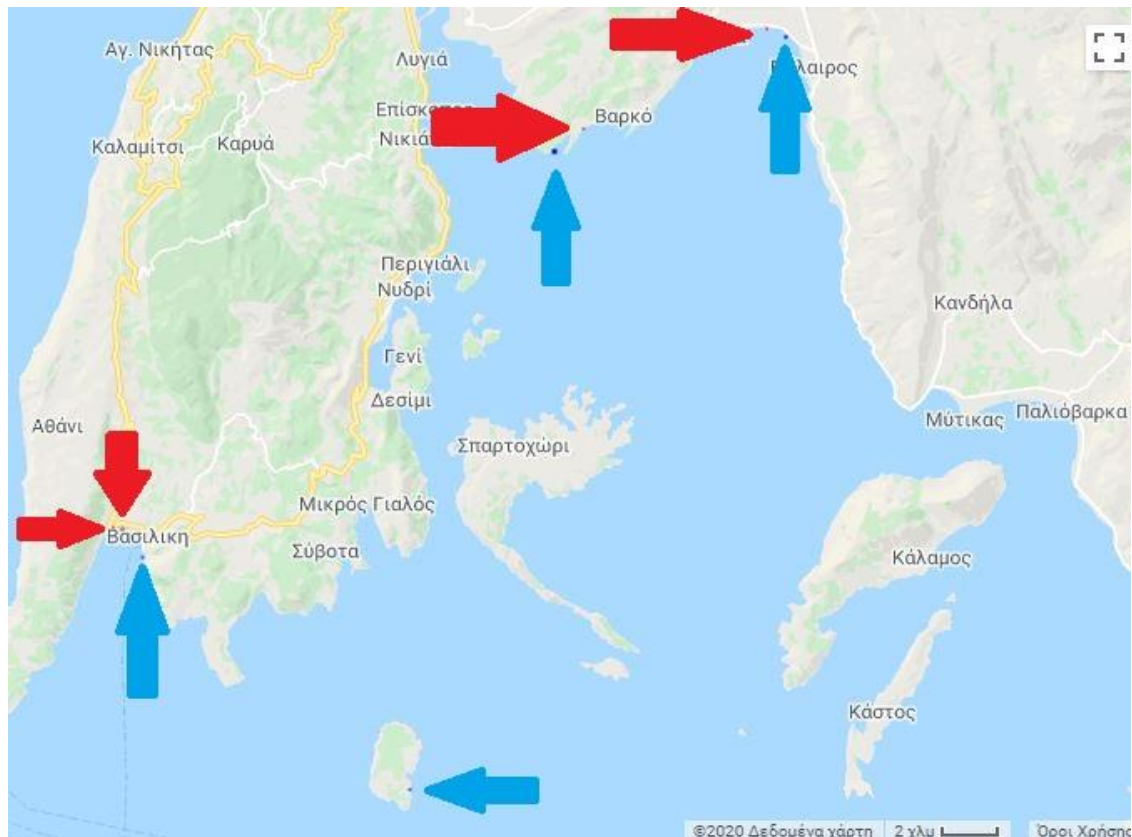
Τελευταίο βήμα της συγκεκριμένης διαδικασίας αποτελεί ο καθορισμός της επιτρεπόμενης βαθμολογίας εκ της οποίας εκταμειύτηκαν τα εικονοστοιχεία που συνέθεσαν την τελική εικόνα. Ο καθορισμός βαθμολογίας, έγινε έπειτα της δημιουργίας της ScoreBand που προκύπτει από το άθροισμα των 4 τεσσαρων μπαντών των προηγούμενων βημάτων. Από τη στιγμή όμως που δεν ήταν δυνατό να εξεταστεί μεμονωμένα η τιμή της ScoreBand στο σύνολο των φαντιών για την κάθε εικόνα, τέθηκαν δύο όρια. Το πρώτο όριο, επέτρεψε την είσοδο εικονοστοιχείων με βαθμολογία μεγαλύτερη του 2 ενώ το δεύτερο όριο αφορούσε βαθμολογία μεγαλύτερη του 3. Τα σύνθετα εικόνας που δημιουργήθηκαν βάση της διαμέσου των επιτρεπόμενων φαντιών πήραν τις ονομασίες BAP2 και BAP3 αντίστοιχα.

2.3.3 Κανονικοποίηση ιστογράμματος

Οι ατμοσφαιρικές συνθήκες κατά τη λήψη των σκηνών ποικίλουν, με αποτέλεσμα οι ακραίες τιμές των εικόνων να διαφοροποιούνται σε ανάλογο βαθμό με την ποικιλομορφία των καιρικών και κλιματικών συνθηκών μεταξύ Αιγαίου και Ιονίου πελάγους. Η κανονικοποίηση

των ιστογραμμάτων των εικόνων προσδίδει στο τελικό προϊόν την εξομάλυνση των διαφοροποιήσεων των ακραίων τιμών με τη θέσπιση ενός εύρους τιμών στο σύνολο των εικόνων με την αρωγή της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης. Η παρούσα διαδικασία έγινε βάση γραμμικής παλινδρόμησης όπως περιγράφεται από Traganos et al., 2018b.

Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 12 πολύγωνα διαστάσεων 30x30 μέτρα. Τα πολύγωνα διαφοροποιούνται σε 3 κατηγορίες σύμφωνα με τις περιοχές μελέτης, 2 ομάδες τιμών ανά κατηγορία και 2 υπο-ομάδες. Οι δύο ομάδες αφορούν την μπάντα που χρησιμοποιήθηκε για το σχεδιασμό των πολυγώνων ενώ οι υπο-ομάδες, τα πολύγωνα σκοτεινών-χαμηλών τιμών και τα πολύγωνα φωτεινών-υψηλών τιμών. Ο διαχωρισμός των ομάδων ανά μπάντα οφείλεται στην ικανότητα διείσδυσης της εκάστοτε μπάντας. Βάση αυτού, η πρώτη ομάδα αφορά τις ηλεκτρομαγνητικές υπογραφές εκ του μπλε και πράσινου διαύλου ενώ η δεύτερη αφορά τον κόκκινο δίαυλο σε περιοχές πιο κοντά στην ακτογραμμή έναντι των περιοχών της πρώτης ομάδας. Σχετικά με τις υπο-ομάδες, τα πολύγωνα που οριοθετήθηκαν για να εκπροσωπούν υψηλές φασματικές υπογραφές προέρχονται από περιοχές με μαλακό υπόστρωμα ενώ τα αντίστοιχα πολύγωνα που αντιπροσωπεύουν χαμηλές φασματικές υπογραφές αφορούν περιοχές με θαλάσσια βλάστηση. Η δημιουργία των πολυγώνων βασίστηκε σε φωτοερμηνεία. Ενδεικτικά παρουσιάζονται τα πολύγωνα για την περιοχή Λευκάδας στην εικόνα 3.



Εικόνα 3, Στιγμιότυπο οθόνης μέσα από το περιβάλλον GEE στα πλαίσια κανονικοποίησης των ιστογραμμάτων. Με μπλε βέλη είναι τα πολύγωνα μικρής ανάκλασης (θαλάσσια βλάστηση) ενώ με κόκκινα είναι τα πολύγωνα υψηλής ανάκλασης (μαλακό υπόστρωμα). Τα εν λόγω πολύγωνα αφορούν τιμές της πράσινης και μπλέ μπάντας για την περιοχή Λευκάδας.

2.3.4 Υπολογισμός ανακλαστικότητας πάνω και κάτω από τη διεπιφάνεια νερού-αέρα

Ένας ακόμα παράγοντας αλλοίωσης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας αποτελεί η αλλαγή μέσου κατά την διέξοδο από το υγρό στο αέριο στοιχείο. Σύμφωνα με τους (Li et al., 2019a), ένας λειτουργικός τρόπος υπολογισμού της ανακλαστικότητας κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας αποτελεί η παρακάτω εμπειρική εξίσωση (2) εφόσον έχει γίνει πρώτα υπολογισμός της φασματικής υπογραφής στο ναδίρ του αισθητήρα ($R_{rs}(\lambda)$):

$$r_{rs}(\lambda) = \frac{R_{rs}(\lambda)}{0.52 + 1.7 * R_{rs}(\lambda)}, \quad (2)$$

Όπου $R_{rs}(\lambda)$ = Reflectance/Pi

2.3.5 Δείκτης αμετάβλητου βάθους

Ο δείκτης αμετάβλητου βάθους (Depth Invariance Index, DIV) αποσκοπεί στη δημιουργία μιας επιπλέον μπάντας όπου κατά προσέγγιση είναι σε θέση να περιορίσει τις αλλοιώσεις των φασματικών υπογραφών του πυθμένα που οφείλονται στη στήλη νερού (σκέδαση,

απορρόφηση). Χαρακτηριστικό παράδειγμα των αναφερόμενων αλλοιώσεων αποτελούν οι παρόμοιες φασματικές υπογραφές της οπτικά ρηχής βλάστησης με το οπτικά βαθιά μαλακό υπόστρωμα. Η διόρθωση του συγκεκριμένου σφάλματος θα γίνει βάση της υπόθεσης του Lyzenga, 1985, όπου αποδεικνύει τη σχέση μεταξύ βάθους και λογαριθμημένων μπαντών. Ελλείψει βυθομετρικών δεδομένων, η διόρθωση βάθους δύναται να εφαρμοστεί βάση των λόγων των λογαριθμημένων μπαντών καθώς φαίνεται πως πετυχαίνει καλύτερα αποτελέσματα σε περιοχές με υψηλή θολότητα (Stumpf et al., 2003; Traganos et al., 2018b). Στη συγκεκριμένη εργασία, χρησιμοποιήθηκε ο λόγος του πράσινου και μπλε καναλιού. Η συγκεκριμένη επιλογή, πέραν της διεισδυτικής ικανότητας των εν λόγω καναλιών έναντι του κόκκινου καναλιού, έγινε βάση της καλύτερης διάκρισης των ορίων μεταξύ βλάστησης και μαλακού υποστρώματος. Η καλύτερη διάκριση οφείλεται στις υψηλότερες φασματικές υπογραφές που καταγράφει το πράσινο κανάλι λόγω της χλωροφύλλης σε σύγκριση με τις χαμηλότερες τιμές που καταγράφει το μπλε κανάλι. Για τον υπολογισμό του δείκτη, επιλεχθήκαν 3 πολύγωνα στην κάθε περιοχή μελέτης όπου καταγράφουν τη διαφοροποίηση των φασματικών υπογραφών επι μαλακού υποστρώματος σε διαφορετικά βάθη (εικόνα 4). Ωστόσο, λόγω των προηγούμενων σταδίων προεπεξεργασίας υπάρχουν εικονοστοιχεία με αρνητικές τιμές όπου δε δύναται να υπολογιστεί ο λόγος των λογαρίθμων των καναλιών. Για αυτό το λόγο εφαρμόστηκε μετασχηματισμός τιμών. Δεδομένου ότι η πλειοψηφία των ελάχιστων αρνητικών τιμών βρίσκονται σε οπτικά βαθιά νερά, έγινε μετατροπή μόνο των αρνητικών τιμών σε 0.0001 ώστε οι θετικές τιμές που βρίσκονται στην παράκτια ζώνη να παραμείνουν ακέραιες. Επιπλέον, εφαρμόστηκε φίλτρο χαμηλών συχνοτήτων, σε όλα τα σύνθετα πριν τον υπολογισμό του DIV, βάση μέσης τιμής κινητού παραθύρου 3x3 ώστε να ομαλοποιηθεί ο θόρυβος που παρατηρήθηκε και οφείλεται στο στάδιο της προ

επεξεργασίας.



Εικόνα 4, Στιγμιότυπο οθόνης GEE από την παραλία Βατερών στη Λέσβο. Τα 3 μπλε πολύγωνα που εμφανίζονται αφορούν τις φασματικές υπογραφές μαλακού υποστρώματος που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του DIV στην περιοχή μελέτης Λέσβου.

2.4 Ταξινόμηση Θαλάσσιας Κάλυψης

2.4.1 Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση ανά φατνίο

Η επιβλεπόμενη ταξινόμηση έγινε βάση του ταξινομητή Random Forest όπου έπειτα πειραματισμών ο αριθμός των δέντρων ήτο 100. Η συγκεκριμένη ενέργεια οφείλεται εν μέρη στην μειωμένη συνολική ακρίβεια με αριθμό δέντρων μικρότερο των 100 και εν μέρη στην αν και σταθερή και καλή ακρίβεια, απαιτητική υπολογιστική ισχύ που χρειάζεται για αριθμούς δέντρων 500, 1000 και 2000.

2.4.2 Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση σε προϊόντα αντικειμενοστραφούς ανάλυσης.

Εφόσον τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το σύνθετο BAP έχει πετύχει τα υψηλότερα ποσοστά ακρίβειας, αποφασίστηκε να γίνει και μια ταξινόμηση για το συγκεκριμένο σύνθετο βάση αντικειμενοστραφούς ανάλυσης (Object Based Identification Analysis, OBIA). Η κατάτμηση εικόνας όπου αποτελεί το πρώτο στάδιο της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης, έγινε βάση ενός κανάβου σημείων (seed) με μεταξύ τους απόσταση 30 μέτρων σε τετράγωνο σχηματισμό. Με τη χρήση ειδικού αλγόριθμου που παρέχεται από τη GEE ("ee.Algorithms.Image.Segmentation.SNIC()"), δημιουργήθηκαν αντικείμενα όπου τα γειτονικά εικονοστοιχεία των seed σε ακτίνα 5 φατνίων έχουν παρόμοιες υπογραφές. Ο κατακερματισμός της εικόνας έγινε βάση του πράσινου καναλιού καθώς φαίνεται να

προσδίδει καλύτερη ακρίβεια ταξινόμησης έναντι του μπλε καναλιού όπως θα σχολιαστεί και στο κεφάλαιο των αποτελεσμάτων. Η ταξινόμηση των αντικειμένων έγινε βάση του ταξινομητή Random Forest με τις ίδιες ρυθμίσεις που έγινε η επιβλεπόμενη ταξινόμηση των εικονοστοιχείων της προηγούμενη παραγράφου. Η ταξινόμηση των αντικειμένων έγινε βάση της διαμέσου και τυπικής απόκλισης των φασματικών υπογραφών των φαντιών που περικλείει το εκάστοτε αντικείμενο. Η χρήση της διαμέσου έγινε με γνώμονα την μικρότερη ευαισθητοποίηση της έναντι της μέσης τιμής, ενώ η τυπική απόκλιση προσδίδει καλύτερη διάκριση μεταξύ περιοχών με παρόμοιες υπογραφές με χαρακτηριστική την ομοιότητα σκληρού υποστρώματος και θαλάσσια βλάστησης.

2.5 Εκτίμηση Ακρίβειας Ταξινόμησης

2.5.1 Δείκτες Ακρίβειας

Οι δείκτες ακρίβειας υπολογίστηκαν στο περιβάλλον του GEE και είναι οι:

Συνολική Ακρίβεια: Παρέχει το ποσοστό επιτυχίας της ταξινόμησης βάση των σημείων επαλήθευσης. Ο υπολογισμός της συνολικής ακρίβειας βασίζεται στο λόγο του αριθμού σωστά ταξινομημένων σημείων επαλήθευσης με το σύνολο των σημείων επαλήθευσης.

Ακρίβεια χρήστη: Παρέχει το ποσοστό σωστά ταξινομημένων σημείων επαλήθευσης ανά τάξη βάση της ταξινόμησης

Ακρίβεια παραγωγού: Παρέχει το ποσοστό σωστά ταξινομημένων σημείων επαλήθευσης ανά τάξη βάση της πραγματικότητας.

Σφάλμα Προσαύξησης: Είναι το ποσοστό υπερεκτίμησης της κάθε τάξης κατά την ταξινόμηση. Υπολογίζεται με τη διαφορά της ακρίβειας χρήστη από το 100.

Σφάλμα Παράλειψης: Είναι το ποσοστό υποεκτίμησης της κάθε τάξης κατά την ταξινόμηση. Υπολογίζεται με τη διαφορά της ακρίβεια παραγωγού από το 100.

Omission/Commission Errors

2.5.2 Γεωχωρική πληροφορία αξιοπιστίας ταξινόμησης (Confidence Layer)

Ο σκοπός του Confidence Layer είναι να υπολογίσει με γεωχωρικό και ποσοτικό τρόπο την ακρίβεια της ταξινόμησης των ενδιατημάτων που έγινε βάση εικονοστοιχείων και αντικειμενοστραφούς ανάλυσης σύμφωνα με το σύνθετο εικόνας BAP. Για την επίτευξη αυτού, αναπτύχθηκε ένας σύστημα αρνητικής βαθμολογίας με εύρος τιμών 0 έως 10 όπου περιοχές μεγάλης αξιοπιστίας, όσον αφορά τη ταξινόμηση, θα έχουν τη τιμή 0 ενώ φαντρία που αναμένεται να έχουν ταξινομηθεί λάθος, τη τιμή 10. Το confidence layer αποτελείται από

2 στοιχεία, τις Δύσκολες για Χαρτογράφηση Περιοχές και τον κάρναβο πιθανοτήτων που προέρχεται από ταξινόμηση πρώτου βαθμού. Τα 2 εν λόγω στοιχεία έχουν εύρος τιμών 0-10 ενώ το confidence layer θα λάβει τη μέση τιμή των προαναφερθέν στοιχείων.

i) Δύσκολες για Χαρτογράφηση Περιοχές (HtMregions)

Οι HtMregions αντιπροσωπεύουν περιοχές όπου σύμφωνα με την εκτίμηση ακρίβειας τείνουν να έχουν ταξινομηθεί λάθος. Πιο συγκεκριμένα, έγιναν 2 χωρικές παρεμβολές (interpolation) ώστε να χαρτογραφηθούν περιοχές που αναμένεται να χαρτογραφηθούν λάθος. Οι παρεμβολές έγιναν βάση Inverse Distance Weighting (IDW) και της μεθόδου Kriggin ενώ τα δεδομένα που βασίστηκαν είναι τα δεδομένα επαλήθευσης με καταγεγραμμένη την επιτυχημένη ή όχι ταξινόμηση για το κάθε σημείο. Το παράθυρο απόστασης από το κάθε σημείο είναι τα 500 μέτρα. Έπειτα, διεξήχθη τομή των κοινών περιοχών που χαρτογραφήθηκαν λάθος, σύμφωνα με τις δύο παρεμβολές, ώστε να επιτευχθεί καλύτερη ακρίβεια των HtMregions. Το επόμενο βήμα του συγκεκριμένου σταδίου είναι η θέσπιση μιας βαθμολογίας στα περιβαλλόμενα εικονοστοιχεία ανάλογα με την απόσταση τους από τις HtMregions. Η μέγιστη τιμή που αντιπροσωπεύει μη αξιόπιστες για χαρτογράφηση περιοχές ορίζεται με τη τιμή 10 ενώ η τιμή 0 έχει τεθεί σε περιοχές έμπιστες για ταξινόμηση. Επιπλέον, βάση του πρώτου Νόμου της Γεωγραφίας, δεν τέθηκαν τιμές για περιοχές σε απόσταση μεγαλύτερη των 1000 μέτρων. Οι τιμές που θεσπίστηκαν βάση απόστασης παρατίθενται στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 4. Βαθμολογία εικονοστοιχείων ανάλογα της απόστασης από τις HtMregions

Απόσταση από τις HtMregions(μέτρα)	Βαθμολογία
(0-1]	10
(1-200]	8
(200-500]	5
(500-1000]	2

ii) Ταξινόμηση Πρώτου Βαθμού (Soft classification)

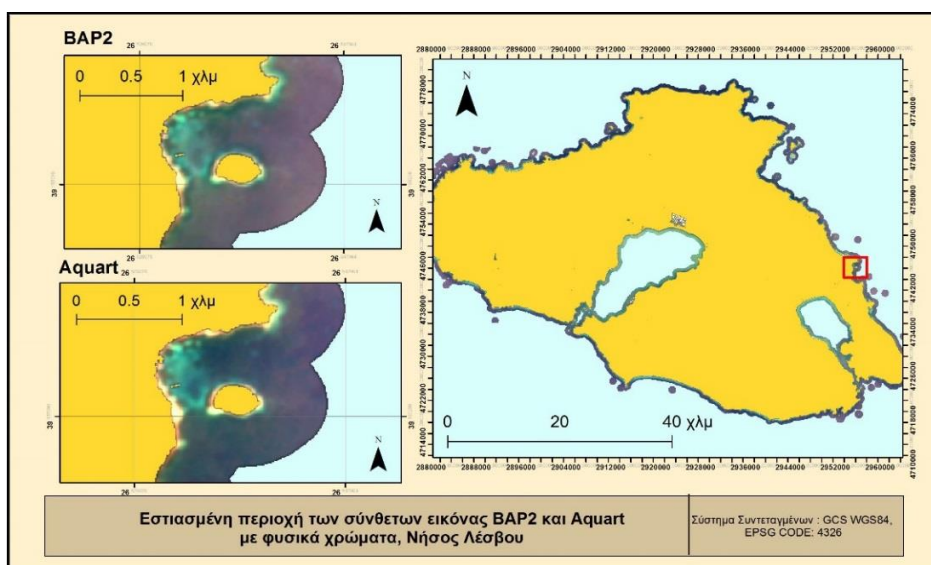
Η ταξινόμηση πρώτου βαθμού ή αλλιώς (βάση του αποτελέσματος) κάρναβος πιθανότητας βασίζεται σε μια επιβλεπόμενη ταξινόμηση δυαδικού τύπου όπου αντί να ταξινομεί το εκάστοτε φαινόμενο σε μια εκ των τάξεων ταξινομήσεις, του προσδίδει την πιθανότητα (0-100) στο να είναι η εκάστοτε τάξη. Για παράδειγμα, ένα εικονοστοιχείο που έχει ταξινομηθεί ως

θαλάσσια βλάστηση αναμένεται να έχει πιθανότητα μεγαλύτερη του 80 % έναντι των υπόλοιπων τάξεων που θα έχουν πιθανότητες μικρότερες του 20%. Για να επιτευχθεί αυτό, δημιουργήθηκε ένας αλγόριθμος όπου επαναλήφθηκε σύμφωνα με τον αριθμό προς των ταξινόμηση κλάσεων. Το πρώτο στάδιο ήταν η ταξινόμηση μεταξύ 2 κλάσεων με την πρώτη κλάση κάθε φορά να είναι διαφορετική ενώ η δεύτερη κλάση να περιέχει όλες τις εναπομείναντες. Η ταξινόμηση έγινε βάση του ταξινομητή RandomForest και λόγω της απλότητας του εγχειρήματος ο αριθμός δέντρων ήταν 10. Το τελικό προϊόν της διαδικασίας είναι μια εικόνα όπου η κάθε μπάντα αντι να περιέχει τις φασματικές υπογραφές σε διαφορετικά μήκη κύματος, περιέχει τις πιθανότητες του κάθε εικονοστοιχείο να ανήκει στην εκάστοτε κλάση-μπάντα. Με στόχο το εύρος τιμών να είναι 0-10 και να αντιπροσωπεύει την εμπιστοσύνη της ταξινόμησης, όπως και στις HtMregions, η τελική τιμή πιθανότητας υπολογίστηκε αφαιρώντας τη τιμή από το 100 και διαιρώντας τη διαφορά με το 10. Έτσι, εάν για παράδειγμα είχε ένα φαντίο είχε πιθανότητα 98% να ανήκει στην ομάδα θαλάσσιας βλάστησης, πήρε τη τιμή 0.2. Στο τελευταίο βήμα της διαδικασίας, ο κάρναβος πιθανότητας διασταυρώθηκε με την ταξινόμηση ενδαιτημάτων (παράγραφος 2.4) που έγινε και κρατήθηκαν οι τιμές πιθανότητας μόνο των κλάσεων-μπαντών σύμφωνα με τις τελικές κατηγορίες που ταξινομήθηκαν.

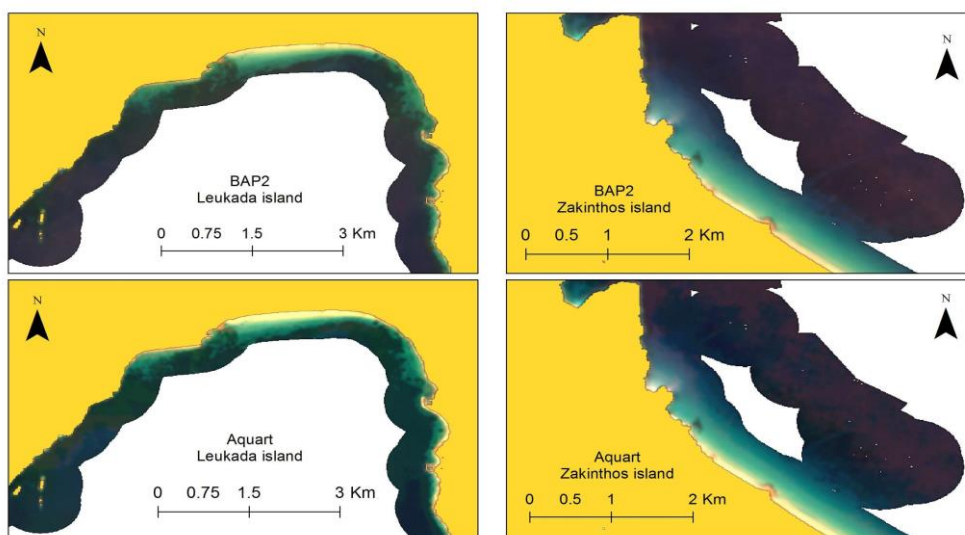
ΚΕΦΑΛΑΙΟ:3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Αποτελέσματα προεπεξεργασίας δεδομένων

Στις εικόνες 5 και 6 παρατίθενται τα αποτελέσματα της προεπεξεργασίας δεδομένων και σύνθετα εικόνας BAP2 και Aquart που δημιουργήθηκαν για τις περιοχές μελέτης Λέσβου και Λευκάδας-Ζακύνθου αντίστοιχα. Τα σύνθετα BAP3 και median παρατίθενται στο παράρτημα. Παρότι τα σύνθετα εικόνας για την κάθε περιοχή μελέτης δημιουργήθηκαν ξεχωριστά, στα αποτελέσματα που παρουσιάζονται έχει ήδη εφαρμοστεί κανονικοποίηση ιστογράμματος.



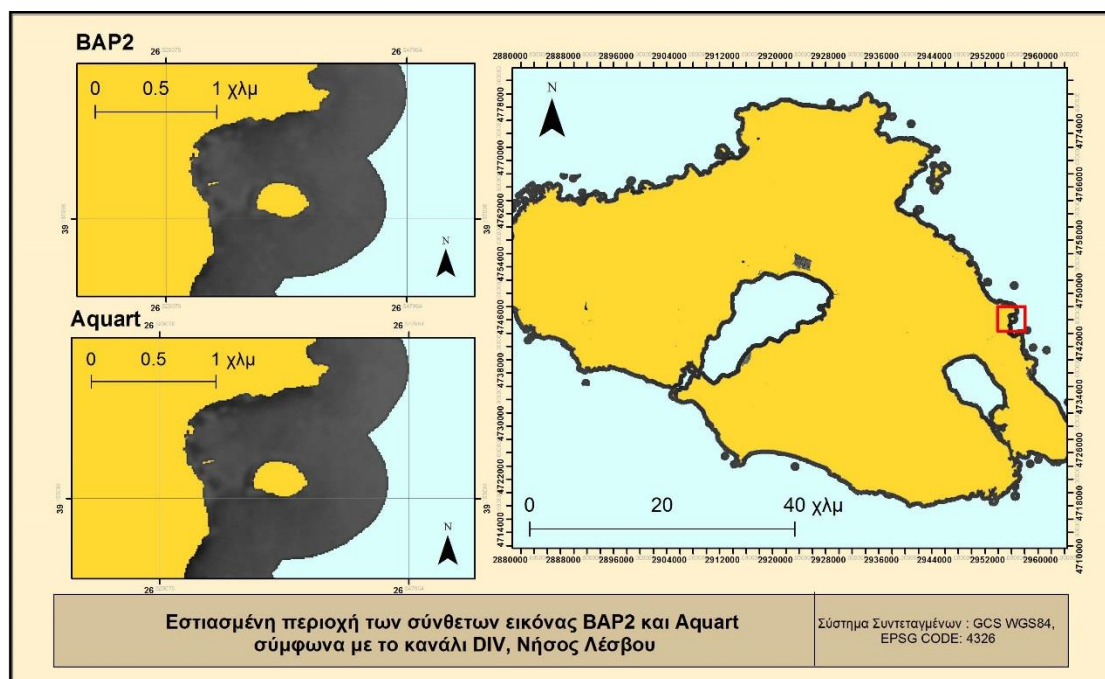
Εικόνα 5, Χάρτες σύνθετων εικόνας BAP2 και Aquart απεικονιζόμενα με φυσικά χρώματα για την περιοχή μελέτης Λέσβου



Εικόνα 6, Χάρτες σύνθετων εικόνας BAP2 και Aquart απεικονιζόμενα με φυσικά χρώματα για τις περιοχές μελέτης Λευκάδας και Ζακύνθου

Όπως φαίνεται στις παραπάνω εικόνες, τα χαρακτηριστικά του πυθμένα σε μικρή εγγύτητα από την ακτογραμμή είναι ευδιάκριτα, οπτικά τουλάχιστον, και με τις δύο προσεγγίσεις.

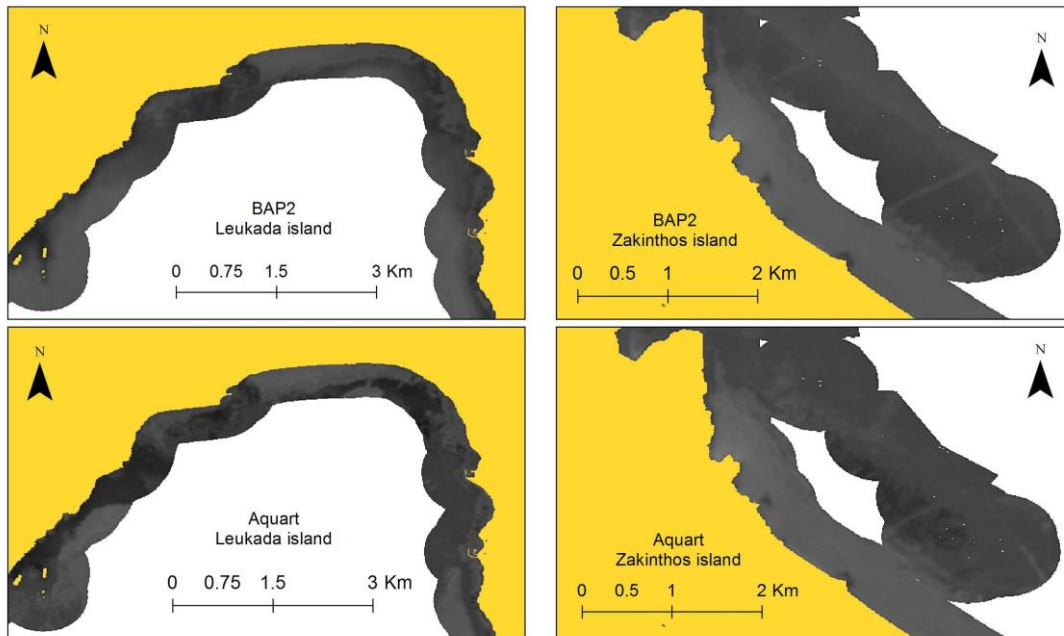
Ωστόσο, η μέθοδος Aquart παρουσιάζει κάποια ιδιαίτερα σημεία ενδιαφέροντος που ενδεχομένως να οφείλονται σε νέφη, ηλιακή ανάκλαση ή κάποια άλλη αιτία που λόγω του μικρού αριθμού δορυφορικών εικόνων δεν απαλείφθηκαν όπως αναμενόταν. Η προσέγγιση BAP από την άλλη μεριά, παρουσιάζει επίσης κάποιες αλλοιώσεις αλλά δεν είναι τόσο έντονες όπως της Aquart με χαρακτηριστικό παράδειγμα ανοιχτά της Ζακύνθου και στη δυτική πλευρά του κολπίσκου της Λευκάδας (εικόνα 6). Οι ταξινομήσεις που έγιναν, πέρα των 3 μπαντών οπτικού φάσματος που χρησιμοποιήθηκαν, αξιοποίησαν επίσης και την μπάντα DIV της οποίας τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στις εικόνες 7 και 8. Η συγκεκριμένη μπάντα, αν και δεν έχει κάποια φυσική ερμηνεία όπως οι φασματικές υπογραφές που καταγράφονται από τις υπόλοιπες μπάντες, είναι σε θέση να διακρίνει τα όρια, συνεπώς και τις επιφάνειες κάλυψης βένθους με λιγότερες λόγω της στήλης νερού αλλοιώσεις. Οι ρυθμίσεις οπτικοποίησης, στο σύνολο των χαρτών, διαφέρουν μεταξύ των περιοχών μελέτης αλλά όχι μεταξύ των διαφορετικών σύνθετων εικόνας για την κάθε περιοχή.



Εικόνα 7, Χάρτης που απεικονίζει την μπάντα DIV βάση BAP2 και Aquart σε κλίμακα του γκρι για την περιοχή της Λέσβου

Όπως και στα σύνθετα εικόνας με φυσικά χρώματα, έτσι και στα σύνθετα εικόνας με τη μπάντα DIV, αναδεικνύονται οι ίδιες παραμορφώσεις στις ίδιες περιοχές. Επιπλέον, καθώς η συγκεκριμένη μπάντα φαίνεται να διακρίνει σε καλύτερο βαθμό από τις υπόλοιπες τον πυθμένα, βεβαιώνει την υπόθεση πως οι παραμορφώσεις οφείλονται στην επιφάνεια και όχι στη στήλη της θάλασσας. Αν και η ακριβής αιτία των διαφοροποιήσεων δε μπορεί να

εξακριβωθεί βάση μόνο των απεικονίσεων που παρατίθενται, ίσως οφείλονται σε εξωγενείς παράγοντες και πιθανόν με δεδομένα μεγαλύτερου χρονικού εύρους η ανάλυση θα επέφερε διαφορετικά αποτελέσματα. Η συγκεκριμένη υπόθεση οφείλεται στον στατιστικό χαρακτήρα επεξεργασίας δεδομένων της προσέγγισης Aquart.



Εικόνα 8, Χάρτης που απεικονίζει την μάντα DIV βάση BAP2 και Aquart σε κλίμακα του γκρι για τις περιοχές Ζακύνθου και Λευκάδας

3.2 Κανονικοποίηση Ιστογράμματος

Η κανονικοποίηση ιστογράμματος έγινε βάση πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης, με χρήση των τιμών συνολικά 12 πολυγώνων. Τα πολύγωνα περιείχαν τις μέγιστες και ελάχιστες φασματικές υπογραφές για την κάθε περιοχή μελέτης. Πρόκειται για ένα σημαντικό στάδιο της μελέτης διότι η εκτίμηση ακρίβειας ταξινόμησης έγινε βάση της περιοχής μελέτης Ζακύνθου ενώ η εκπαίδευση του ταξινομητή έγινε στις υπολειπόμενες περιοχές. Στον πίνακα 1 παρουσιάζονται οι δείκτες R^2 και $RMSE$ μεταξύ της κόκκινης, πράσινης και μπλε μάντας για τις περιοχές Ζακύνθου και Λευκάδας πριν και μετά της κανονικοποίησης.

Πίνακας 1, Δείκτες $RMSE$ και r -squared γραμμικής συσχέτισης σύμφωνα με την περιοχή αναφοράς (Λέσβος) για τις περιοχές Λευκάδας και Ζακύνθου πριν και μετά των κανονικοποιήσεων για τα 4 σύνθετα

εικόνας. Ο χρωματικός κώδικας αποσκοπεί στις μπάντες που κανονικοποιήθηκαν. Μπλε για το μπλε δίαυλο, Πράσινο για τον πράσινο δίαυλο και Κόκκινο για το κόκκινο δίαυλο.

	LEUKADA		LEUKADA after normalization		ZAKYNTHOS		ZAKYNTHOS after normalization	
	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²
median	0.004	0.964	0.003	0.964	0.008	0.874	0.005	0.874
Aquart	0.003	0.985	0.002	0.985	0.007	0.909	0.005	0.909
bap3	0.000	0.958	0.002	0.958	0.004	0.891	0.005	0.891
bap2	0.003	0.981	0.002	0.981	0.007	0.905	0.005	0.905
	LEUKADA		LEUKADA after normalization		ZAKYNTHOS		ZAKYNTHOS after normalization	
	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²
median	0.002	0.995	0.002	0.995	0.008	0.934	0.006	0.934
Aquart	0.003	0.993	0.002	0.993	0.008	0.933	0.007	0.933
bap3	0.008	0.943	0.001	0.943	0.003	0.970	0.004	0.970

bp2	0.002	0.997	0.001	0.997	0.007	0.942	0.006	0.942
	LEUKADA		LEUKADA after normalization		ZAKYNTHOS		ZAKYNTHOS after normalization	
	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²
median	0.004	0.984	0.003	0.984	0.025	0.884	0.007	0.884
Aquart	0.003	0.988	0.005	0.988	0.013	0.859	0.008	0.859
bp3	0.003	0.852	0.000	0.852	0.045	0.126	0.001	0.126
bp2	0.003	0.986	0.002	0.986	0.004	0.987	0.002	0.987

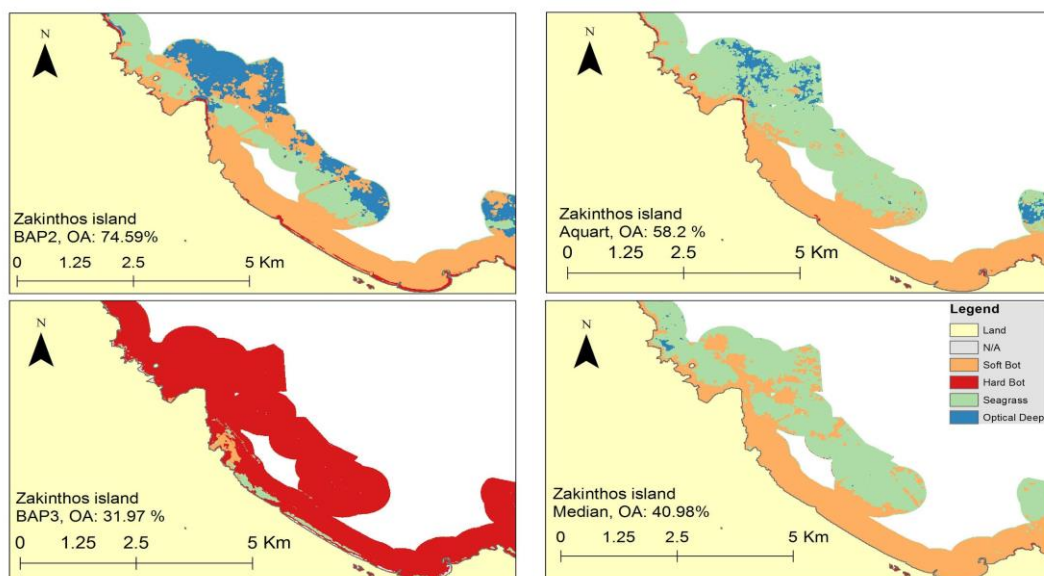
Σύμφωνα με τον πίνακα, ο δείκτης R^2 μένει ίδιος πριν και μετά της κανονικοποίησης ενώ ο RMSE μειώνεται στην πλειοψηφία των σύνθετων και μπαντών που κανονικοποιήθηκαν. Το μοναδικό σύνθετο εικόνας που αποφέρει μεγαλύτερες τιμές στον δείκτη RMSE, έπειτα της κανονικοποίησης, είναι το BAP3. Αυτή η διαφοροποίηση υφίσταται μόνο για την πράσινη και μπλε μπάντα, όπου στην πράσινη μπάντα ισχύει μόνο για την περιοχή της Ζακύνθου. Θα μπορούσε να ειπωθεί επομένως πως η κανονικοποίηση ιστογράμματος ήταν επιτυχημένη για όλα τα σύνθετα εικόνας πλην του BAP3.

3.3 Αποτελέσματα Ταξινομήσεων

Για να αξιολογηθεί η εγκυρότητα της προσέγγισης BAP, έγινε επιβλεπόμενη ταξινόμηση στο σύνολο των σύνθετων εικόνας που δημιουργήθηκαν κατά το στάδιο προεπεξεργασίας δεδομένων. Οι διαφορές των ταξινομήσεων ανέδειξαν το σύνθετο εικόνας BAP2 ως εκείνο που αντιπροσωπεύει καλύτερα τη φυσική κατάσταση των θαλάσσιων ενδιαιτημάτων. Τα αποτελέσματα των ταξινομήσεων για την κάθε εικόνα με χρήση του ταξινομητή

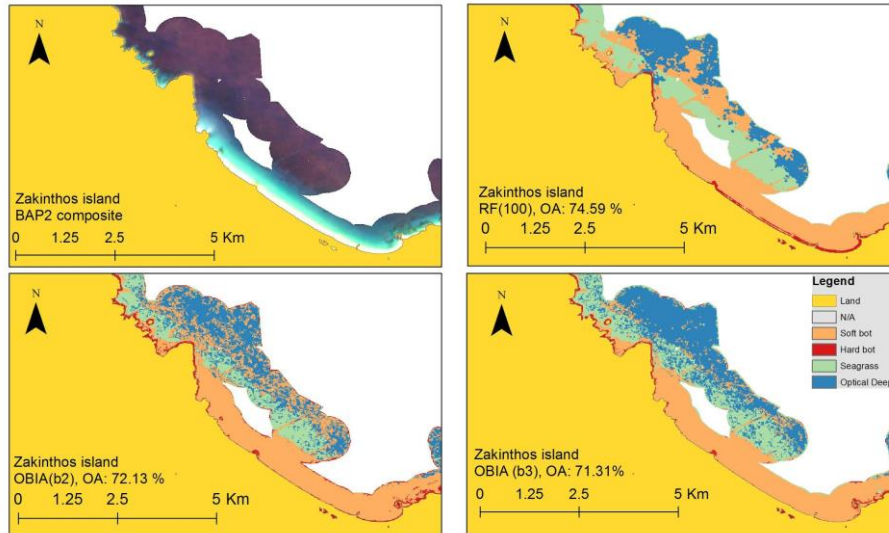
RandomForest παρουσιάζονται στην εικόνα 8. Βάση των αποτελεσμάτων, το σύνθετο εικόνας BAP3 φέρει τα χειρότερα αποτελέσματα, κάτι το οποίο ήταν αναμενόμενο καθώς η κανονικοποίηση ιστογράμματος δεν ήταν επιτυχημένη για το εν λόγω σύνθετο εικόνας. Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο μεθόδων, επιχειρήθηκε ταξινόμηση ενδαιτημάτων βάση αντικειμενοστραφούς ανάλυσης στο σύνθετο εικόνας που έφερε τα καλύτερα αποτελέσματα ακρίβειας ταξινόμησης. Καθώς η συνολική ακρίβεια (Overall Accuracy, OA) της ταξινόμησης με χρήση του BAP2 έχει ποσοστό ακρίβειας 74.59%, η ΟΒΙΑ διεξήχθη βάση αυτού. Τα αποτελέσματα των ταξινομήσεων βάση ΟΒΙΑ και RandomForest, στο σύνολο των περιοχών μελέτης, παρατίθενται στις εικόνες 9, 10 και 11.

Σύμφωνα με τις ταξινομήσεις και βάση φωτοερμηνείας, προκύπτει πως η ταξινόμηση του σύνθετου BAP3 δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα ενώ η πιο λεπτομερής ταξινόμηση φαίνεται να ανήκει στο σύνθετο BAP2. Επίσης, η ταξινόμηση που έγινε με το BAP2 ήταν η μοναδική που χαρτογράφησε τις λωρίδες μαλακού υποστρώματος κατά μήκος της θάλασσα βλάστησης όπως αυτές διακρίνονται στην εικόνα 8. Οι λωρίδες, λόγω της μορφολογίας τους αλλά και της θέσης τους εν μέσω των θαλάσσιων λιβαδιών, ενδέχεται να οφείλονται σε



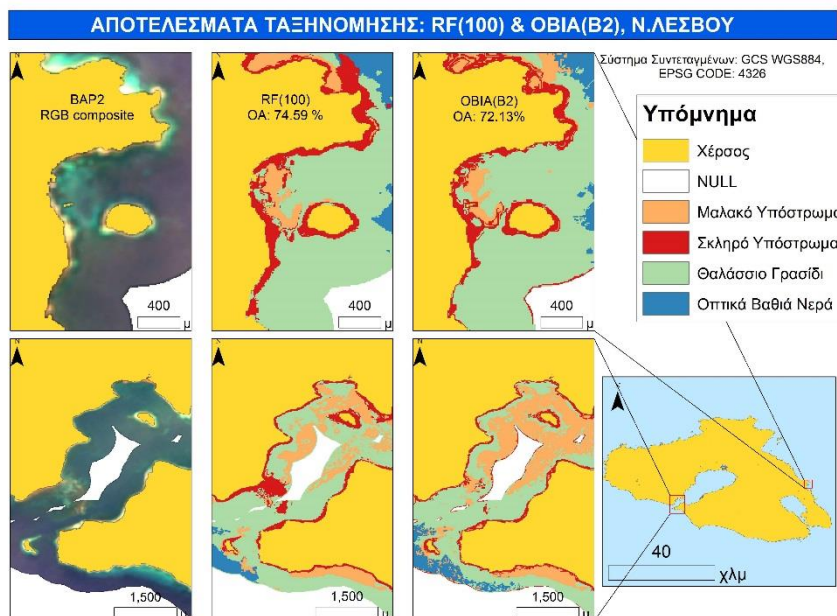
Εικόνα 8, Προϊόντα επιβλεπόμενης ταξινόμησης με τον ταξινομητή Random Forest για την περιοχή Ζακύνθου σύμφωνα με τα σύνθετα BAP2, Aquart, BAP3 & Aquart. Η ταξινόμηση έγινε σε όλη τη νήσο αλλά στον χάρτη έχει γίνει εστίαση στη ΒΑ ακτογραμμή για καλύτερη παρατήρηση των αποτελεσμάτων. OA: Overall Accuracy

μηχανότρατες όπου είναι γνωστές για την οικολογική καταστροφή που προσδίδουν στα



Εικόνα 9, Προϊόντα ταξινόμησης βάση του σύνθετου BAP2 σύμφωνα με τον Random Forest (RF(100)) και αντικειμενοστραφούς ανάλυσης για την περιοχή Ζακύνθου. Ο κατακερματισμός εικόνων που αποτελεί το πρωταρχικό στάδιο της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης, έγινε σύμφωνα με την μπλε (OBIA(b2)) και την πράσινη μπάντα (OBIA(b3)).

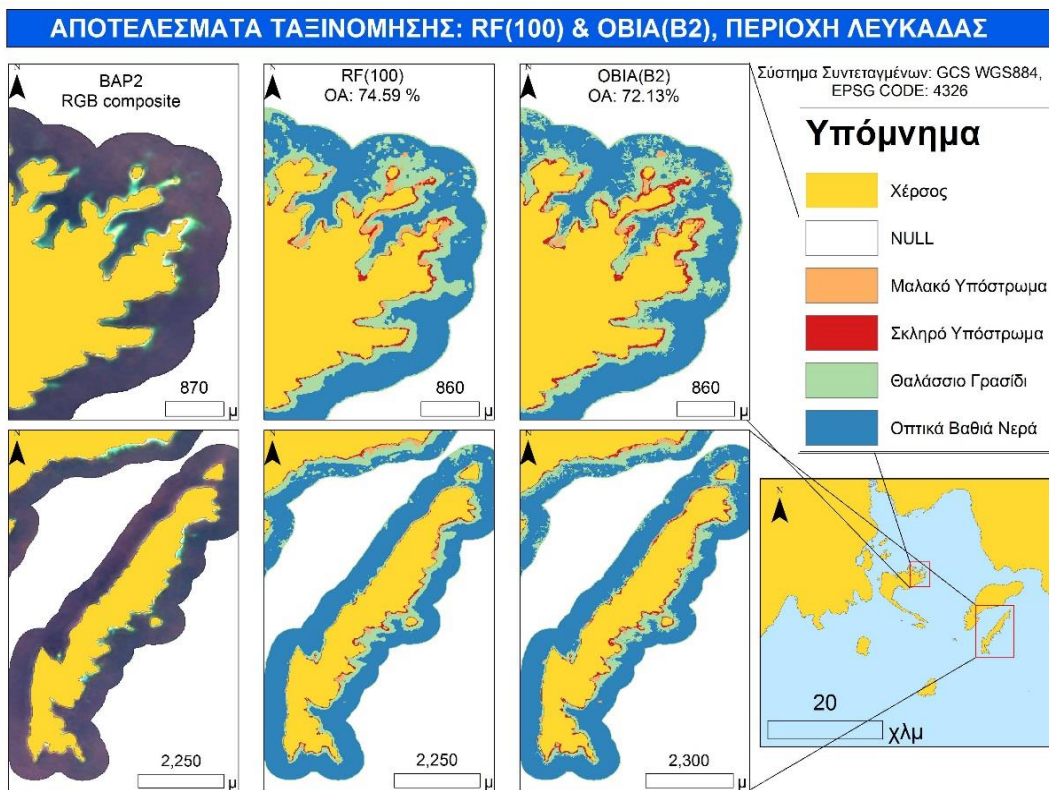
θαλάσσια ενδιαιτήματα κατά τη χρήση τους. Όσον αφορά την OBIA, τα αποτελέσματα της έρχονται σε συμφωνία με την ταξινόμηση ανά εικονοστοιχείο καθώς είναι αρκετά όμοια τόσο οπτικά όσο και βάση της συνολική ακρίβειας. Ωστόσο, οι οπτικές ομοιότητες που αναφέρθηκαν, υφίστανται κατά κύριο λόγο σε ύδατα κοντά στην ακτογραμμή. Στην



Εικόνα 10, Προϊόντα ταξινόμησης βάση του σύνθετου BAP2 σύμφωνα με τον Random Forest και αντικειμενοστραφή ανάλυση για την περιοχή της Λέσβου. Αν και η ταξινόμηση έγινε στο σύνολο της περιοχής μελέτης, για ευκολία παρατήρησης έχει γίνει εστίαση σε συγκεκριμένες περιοχές.

περίπτωση της Ζακύνθου, σε μεγάλη απόσταση από την ακτογραμμή παρατηρείται ένα είδος

θορύβου ως προς τη χαρτογράφηση που πιθανόν να οφείλεται στο πάχος της υδατινής στήλης καθώς στα ρηχά νερά παρατηρείται μια πιο λογική συνοχή ως προς την κάλυψη



Εικόνα 11, Προϊόντα ταξινόμησης βάση του σύνθετου BAP2c σύμφωνα με τον RandomForest και αντικειμενοστραφή ανάλυση για την περιοχή Λευκάδας. Αν και η ταξινόμηση έγινε στο σύνολο της περιοχής μελέτης, για ευκολία παρατήρησης έχει γίνει εστίαση σε συγκεκριμένες περιοχές.

βένθους. Στις περιπτώσεις της Λευκάδας και Λέσβου, οι ταξινομήσεις RandomForest και OBIA, που έγιναν βάση του σύνθετου BAP2, τείνουν να έχουν καλύτερη ομοιογένεια συγκριτικά με τη Ζάκυνθο. Πρόκειται για ένα αναμενόμενο αποτέλεσμα διότι τα δεδομένα εκπαίδευσης προέρχονται από τις δύο αυτές περιοχές.

3.4 Αποτελέσματα Ακρίβειας Ταξινόμησηων

Πίνακας 2, Δείκτες ακρίβειας ταξινόμησης για τα 4 σύνθετα εικόνας που δημιουργήθηκαν κατά το στάδιο προεπεξεργασίας. Οι δείκτες αφορούν την επιβλεπόμενη ταξινόμηση ανά φασματική υπογραφή φατνίου σύμφωνα με τον ταξινομητή RandomForest. . Στις στήλες βρίσκονται οι δείκτες ενώ στις γραμμές οι ομάδες ταξινόμησης

BAP2	User's accuracy	Producer's accuracy	Omission Error	Commission Error	Overall Accuracy
soft_bot	52,63%	96,77%	3,23%	47,37%	74,59%

hard_bot	92,31%	40,00%	60,00%	7,69%	
seagrass	88,89%	77,42%	22,58%	11,11%	
optical_deep	100,00%	83,33%	16,67%	0,00%	
BAP3	User's accuracy	Producer's accuracy	Omission Error	Commision Error	Overall Accuracy
soft_bot	62,50%	32,26%	67,74%	37,50%	31,97%
hard_bot	27,36%	96,67%	3,33%	72,64%	
seagrass	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%	
optical_deep	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%	
Aquart	User's accuracy	Producer's accuracy	Omission Error	Commision Error	Overall Accuracy
soft_bot	46,97%	100,00%	0,00%	53,03%	58,20%
hard_bot	100,00%	43,33%	56,67%	0,00%	
seagrass	57,89%	70,97%	29,03%	42,11%	
optical_deep	100,00%	16,66%	83,34%	0,00%	
Median	User's accuracy	Producer's accuracy	Omission Error	Commision Error	Overall Accuracy
soft_bot	40,63%	83,87%	16,13%	59,38%	40,98%
hard_bot	71,43%	16,67%	83,33%	28,57%	
seagrass	37,25%	61,29%	38,71%	62,75%	

optical_deep	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%
--------------	-------	-------	---------	---------

Στον πίνακα 2 παρουσιάζονται οι δείκτες ακρίβειας ανά κλάση ταξινόμησης (User's accuracy, Producer's accuracy, Omission Error και Commission Error) και η συνολική ακρίβεια ταξινόμησης, εκφρασμένοι σε ποσοστιαία μορφή για το κάθε σύνθετο εικόνας. Σε γενική εικόνα και κατά την εκτίμηση ακρίβειας ταξινόμησης, το σύνθετο εικόνας BAP2 αναδεικνύεται ως η πιο αντιπροσωπευτική απεικόνιση των θαλάσσιων ενδιαιτημάτων στην περιοχή αναφοράς, τη Ζάκυνθο. Ειδικότερα, η συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης υπολογίστηκε σε 74,59% επιτυχημένη, περίπου 15% υψηλότερη της συνολικής ακρίβειας σύμφωνα με το σύνθετο εικόνας Aquart. Ακολουθούν τα σύνθετα Median και BAP3 όπου οι ταξινομήσεις που έγιναν βάση αυτών είχαν ποσοστό επιτυχία 40,98% και 31,97% αντίστοιχα. Όσον αφορά τα σφάλματα προσαύξησης και παράλειψης, η θαλάσσια βλάστηση παρουσίασε τα μικρότερα σφάλματα με τη χρήση της εικόνας BAP2 στην ταξινόμηση, με ποσοστά σφάλματος 22,58% και 11,11% αντίστοιχα. Για την ίδια εικόνα, η κλάση οπτικά βαθιών νερών παρουσίασε επίσης τα μικρότερα σφάλματα σε σύγκριση με τα υπόλοιπα σύνθετα και όπως στη κλάση θαλάσσιας βλάστησης, δεν υπήρξε μεγάλη διαφορά μεταξύ των σφαλμάτων. Σχετικά με την κλάση μαλακού βένθους, η εικόνα BAP2 παρουσίασε σφάλμα παράλειψης 3,23%, με την εικόνα Aquart να είναι το μοναδικό σύνθετο που πέτυχε μικρότερο ποσοστό σφάλματος (0%). Ωστόσο, τα σφάλματα προσαύξησης για τη συγκεκριμένη κλάση παρουσιάζουν μια αντίστροφη κατάσταση με την ταξινόμηση βάση BAP2 να έχει ποσοστό σφάλματος 47,37% ενώ βάση Aquart 53,03%. Εφόσον λοιπόν τα σφάλματα προσαύξησης είναι σημαντικά μεγαλύτερα από τα σφάλματα παράλειψης, θα μπορούσε να ειπωθεί πως η εν λόγω κλάση υπερεκτιμάται κατά τη διαδικασία της ταξινόμησης ανεξαρτήτως του σύνθετου εικόνας που ταξινομήθηκε. Η κλάση σκληρού υποστρώματος από την άλλη μεριά, υποεκτιμήθηκε κατά την ταξινόμηση που έγινε με την εικόνα BAP2 κατά 60%, ενώ με την εικόνα Aquart κατά 56,67%. Τα ποσοστά σφάλματος προσαύξησης εκτιμήθηκαν σε 7,69% και 0% αντίστοιχα, καθιστώντας την κλάση σκληρού υποστρώματος ως τη μοναδική κλάση που ταξινομήθηκε ορθότερα με τη χρήση του σύνθετου εικόνας Aquart έναντι της BAP2.

Στον πίνακα 3 αναγράφονται τα αποτελέσματα και οι δείκτες ακρίβειας ταξινόμησης που έγινε βάση αντικειμενοστραφούς ανάλυσης. Για λόγους ευκολίας, η ταξινόμηση που έγινε

από τα αντικείμενα που δημιουργήθηκαν κατά τον κατακερματισμό εικόνας με την μπλε μπάντα ονομάστηκε B2_obia, ενώ με την πράσινη μπάντα, B3_obia.

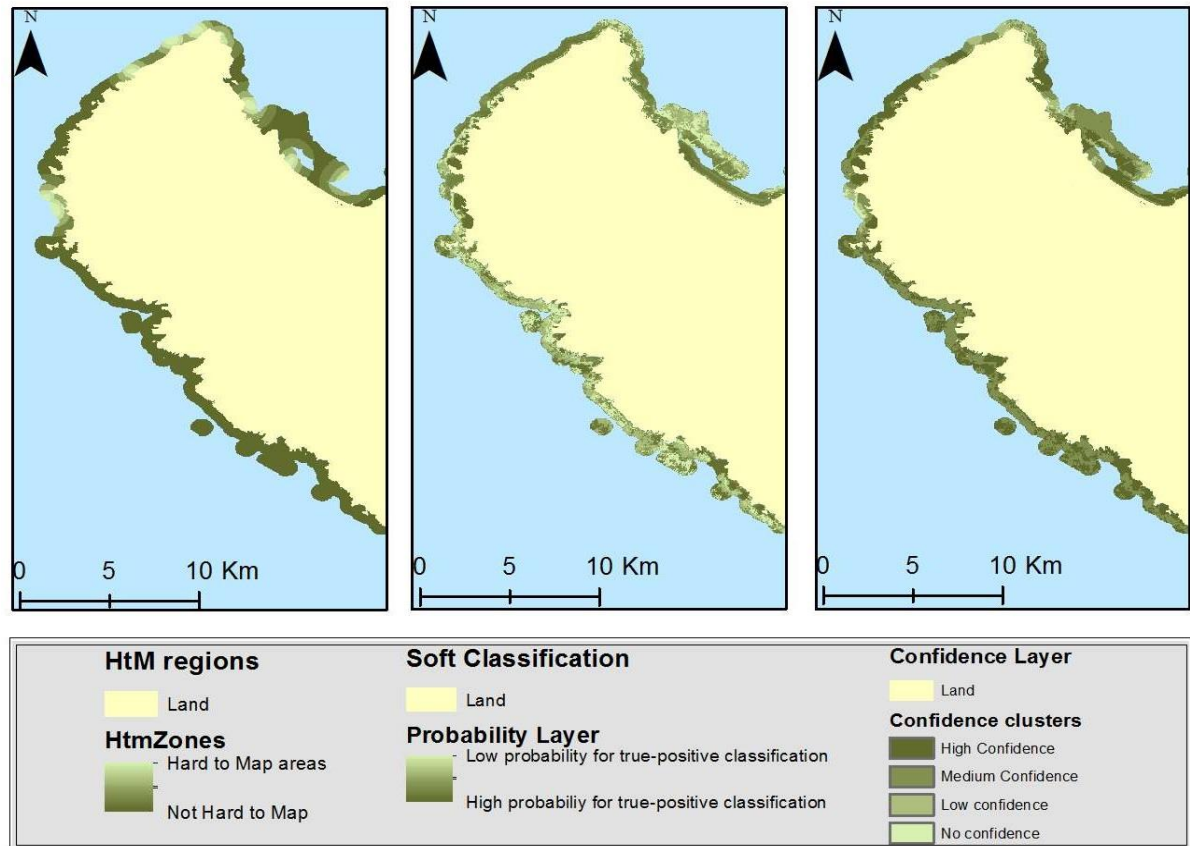
Πίνακας 3, Δείκτες ακρίβειας ταξινόμησης που έγινε βάση αντικειμενοστραφούς ανάλυσης. Στις στήλες βρίσκονται οι δείκτες ενώ στις γραμμές οι ομάδες ταξινόμησης

B2_obia	User's accuracy	Producer's	Omission Error	Commision	Overall
soft_bot	48.21%	87.10%	12.90%	51.79%	72.13%
hard_bot	71.43%	33.33%	66.67%	28.57%	
seagrass	96.00%	77.42%	22.58%	4.00%	
optical_deep	100.00%	90.00%	10.00%	0.00%	
B3_obia	User's accuracy	Producer's	Omission Error	Commision	Overall
soft_bot	52.94%	87.10%	12.90%	47.06%	71.31%
hard_bot	78.95%	50.00%	50.00%	21.05%	
seagrass	79.31%	74.19%	25.81%	20.69%	
optical_deep	95.65%	73.33%	26.67%	4.35%	

Αν και οι συνολικές ακρίβειες των ταξινομήσεων βάση αντικειμενοστραφούς (72,13% για B2_obia και 71.31% για B3_obia) τις καθιστούν ως έγκυρες ταξινομήσεις, παραμένουν

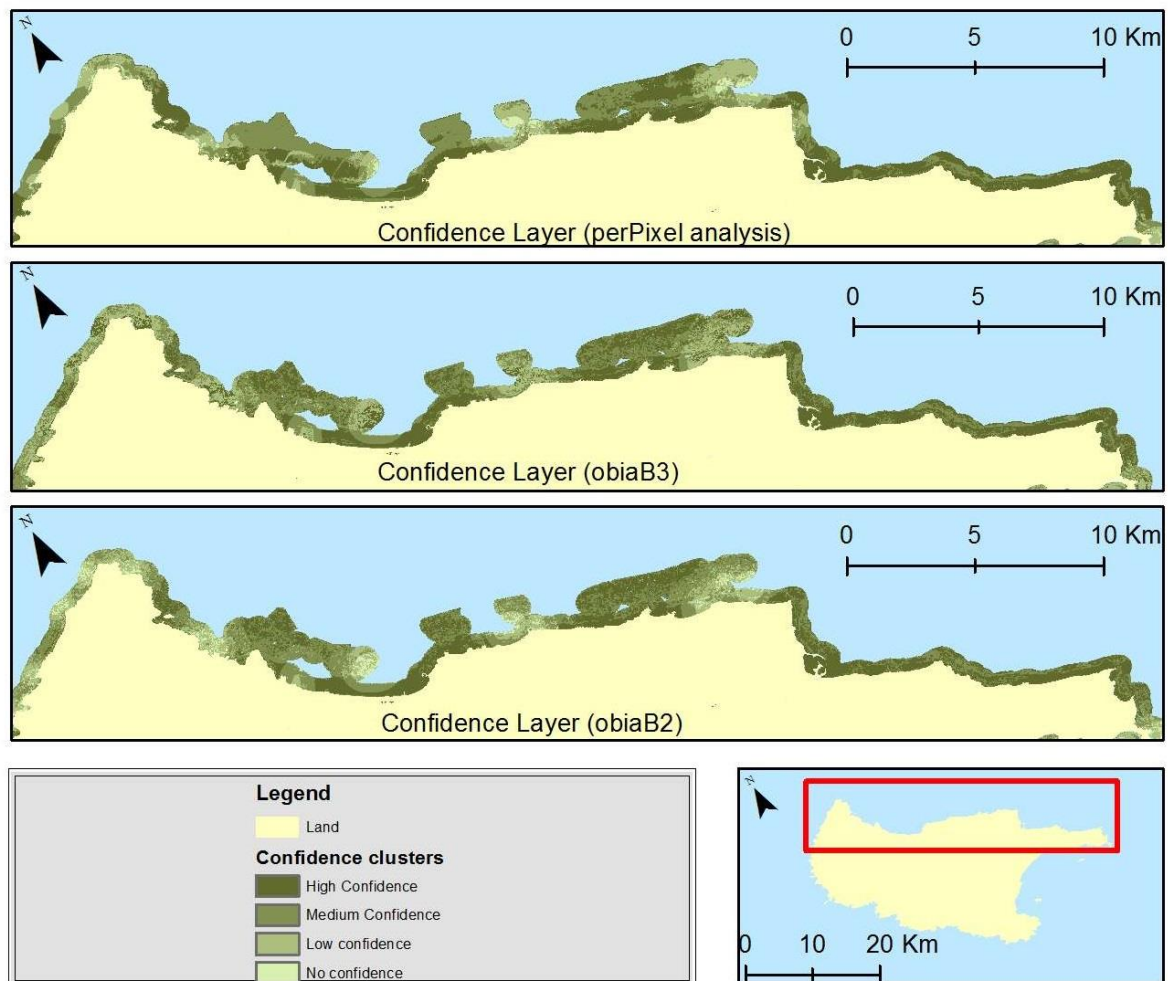
χαμηλότερες από το ποσοστό επιτυχημένης ταξινόμησης ανά φασματική υπογραφή φατνίων. Αναφορικά με τα σφάλματα παράλειψης και προσαύξησης, οι B2_obia και B3_obia παρουσίασαν υποεκτίμηση της κλάσης μαλακού υποστρώματος περίπου 10% μεγαλύτερο έναντι της ταξινόμησης εικονοστοιχείων και υπερεκτίμησαν σε μεγαλύτερο βαθμό (>10%) την κλάση σκληρού υποστρώματος. Σχετικά με την κλάση θαλάσσια βλάστησης, αν και τα σφάλματα παράλειψης κυμάνθηκαν μεταξύ 22.58% και 25.81%, η B2_obia παρουσίασε το μικρότερο σφάλμα προσαύξησης, μεταξύ των 3 ταξινομήσεων, το οποίο ήταν 4%. Στην εικόνα που ακολουθεί, εμπεριέχεται ο θεματικός χάρτης εμπιστοσύνης (Confidence Layer) της ταξινόμησης και οι θεματικοί χάρτες (HtMregions, Soft Classification) που αξιοποιήθηκαν για τη δημιουργία του. Για λόγους ευανάγνωσης και λειτουργικότητας, οι θεματικοί χάρτες είναι εστιασμένοι στο νότιο μέρος της Ζακύνθου. Στο GEE ωστόσο, έγινε εκπόνηση εικόνας με γεωχωρική πληροφορία σχετικά με το επίπεδο εμπιστοσύνης ταξινόμησης, για το κάθε εικονοστοιχείο, σε όλη τη νήσο της Ζακύνθου.

A Geospatial Way of Classification Accuracy in Marine Habitats



Εικόνα 12, Θεματικός χάρτης με γεωχωρική απεικόνιση ακρίβειας ταξινόμησης (Confidence Layer). Παρατίθενται και οι θεματικοί χάρτες HtMregions και Soft Classification που αποτελούν τα δευτερογενή δεδομένα που βασίστηκε το Confidence Layer

Σύμφωνα με το χάρτη εμπιστοσύνης, η πλειονότητα της απεικονιζόμενης περιοχής φαίνεται να έχει ταξινομηθεί με μέτριο έως και υψηλό βαθμό εμπιστοσύνης. Ο χάρτης πιθανότητας (SoftClassification) υποδεικνύει πως οι περιοχές με πιθανότητα μεγαλύτερη του 80% να ταξινομηθούν στην εκάστοτε ομάδα, ανήκουν κυρίως στις κλάσεις θαλάσσια βλάστησης ή μαλακού υποστρώματος. Αντίστοιχα, η πιθανότητα συνεπώς και το ποσοστό επιτυχίας της ταξινόμησης μειώνεται ανάλογα με το βάθος. Αναφορικά με τις HtMregions, είναι περιορισμένες στο βόρειο μέρος της νήσου. Στα πλαίσια εξερεύνησης των δυνατοτήτων της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης μέσα από τη GEE, δημιουργήθηκαν και χάρτες εμπιστοσύνης για τις ταξινομήσεις obiaB3 και obiaB2 (εικόνα 10).



Εικόνα 13, Θεματικοί χάρτες Confidence Layer βάση επιβλεπόμενης ταξινόμησης ανά φατνίο (perPixel analysis) και αντικειμενοστραφούς ανάλυσης (obiaB2 & obiaB3). Η περιοχή που απεικονίζει ο χάρτης είναι όλη η Βόρειο-Βορειοανατολική ακτογραμμή της Ζακύνθου

Αν και βάση των ταξινομήσεων obia εμφανίζονται περισσότερες τιμές υψηλής εμπιστοσύνης σε οπτικά βαθιά νερά, στο σύνολο της εικονιζόμενης περιοχής παρουσιάζεται μεγάλη διακύμανση μεταξύ των τιμών και αντίθετα με την ταξινόμηση ανά εικονοστοιχείο, δεν παρατηρείται συνάφεια ως προς τις τιμές εμπιστοσύνης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1 Υπόθεση ηλιακής ανάκλασης

Οι (Goodman et al., 2020), έπειτα εμπειριστατωμένης και ορθολογικής ανάλυσης υπερφασματικών δεδομένων, κατέληξαν μεταξύ άλλων πως οι δορυφορικές λήψεις μεγάλης ηλιακής γωνίας ,πέρα της καλύτερης ποιότητας που προσδίδουν στην εικόνα λόγω της ισχύς του σήματος, συμβάλλουν σημαντικά στο φαινόμενο της ηλιακής ανάκλασης. Η υπόθεση της ηλιακής ανάκλασης επομένως, θα μπορούσε να σχεδιαστεί και να εκτελεστεί σύμφωνα με τις μοίρες της ηλιακής γωνίας κατά τη δορυφορική λήψη. Με αυτό το τρόπο η τιμή των εικονοστοιχείων θα ήταν εκφρασμένη σε μορφή πιθανότητας παρουσίας ηλιακής ανάκλασης έναντι του τρόπου που παρουσιάζει η παρούσα μελέτη. Ωστόσο, η δυναμικότητα του θαλάσσιου οικοσυστήματος επηρεάζει συνεχώς και σημαντικά κάθε είδους θαλάσσιο φαινόμενο, συμπεριλαμβανομένου και της ηλιακής ανάκλασης. Το συγκεκριμένο φαινόμενο προκαλεί καταγραφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με υψηλό θετικό σφάλμα. Πέραν όμως της γωνίας μεταξύ ήλιου, στόχου και δορυφόρου, το εν λόγω φαινόμενο εξαρτάται επίσης από τη σύσταση και τη τραχύτητα της θαλάσσιας επιφάνειας.

Η υπόθεση ηλιακής ανάκλασης που παρουσιάστηκε βασίστηκε σε γεωπληροφορικές μεθόδους ανάλυσης φασματικών υπογραφών με την αξιοποίηση τεχνικών διόρθωσης της. Με την αξιοποίηση των τεχνικών, η ανίχνευση ηλιακής ανάκλασης βασίστηκε σε τρόπους διόρθωσης πραγματικής ηλιακής ανάκλασης και όχι ανίχνευσης βάση των παραμέτρων που συμβάλουν στη δημιουργία της. Εκτός αυτού, η πληροφορία τραχύτητας και ηλιακής γωνίας ανά εικονοστοιχείο δεν ήτο διαθέσιμη για τα δορυφορικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν. Ο υπολογισμός τους όμως θα μπορούσε να γίνει μέσα από την υπολογιστική ισχύ της GEE επιφέροντας έτσι μεγαλύτερη εγκυρότητα στην υπόθεση ηλιακής ανάκλασης που παρουσιάστηκε σε αυτή τη μελέτη. Επιπροσθέτως, η ανίχνευση ηλιακής ανάκλασης είναι η μοναδική εκ των τεσσάρων ποιοτικών παραμέτρων που υπολογίστηκε και βαθμολογήθηκε σε συνάρτηση του χρόνου. Αυτό επιτευχθεί με τον υπολογισμό των ποσοστιμορίων της υπόθεσης ηλιακής ανάκλασης (NIR/Red band) σε κάθε εικονοστοιχείο στον άξονα του χρόνου.

Άξιο λόγου και ανάλυσης αποτελεί η τάση του σύνθετου BAP2 (σε υπέρθεση φυσικών χρωμάτων) να απεικονίζει , με ομοιόμορφη και συνεχή κατανομή, με ιώδες απόχρωση τα οπτικά βαθιά νερά. Εφόσον η υπόθεση ηλιακής ανάκλασης βασίστηκε στο λόγο του υπέρυθρου και κόκκινου δίαυλου, αυτή η τάση οφείλεται στις μεγαλύτερες τιμές του

κόκκινου καναλιού συγκριτικά με το υπέρυθρο. Καθώς όμως το κόκκινο φάσμα δύναται να χρησιμοποιηθεί για ανίχνευση θολερότητας (Caballero et al., 2019; Dogliotti et al., 2015) και η εν λόγω τάση εμφανίζεται σε συγκεκριμένες περιοχές, θα μπορούσε να ερμηνευθεί ως θολερότητα των επιφανειακών υδάτων. Αυτός ο συλλογισμός βέβαια είναι πλήρως θεωρητικός και χρήζει περαιτέρω έρευνας.

4.2 Πληροφορία Εμπιστοσύνης

Με τη δημιουργία επιφανειακής πληροφορίας εμπιστοσύνης-εγκυρότητας διαφαίνονται νέοι τρόποι εκτίμησης της ακρίβειας θαλάσσιων γεωχωρικών αναλύσεων σε μεγάλη κλίμακα με ποιοτικό τρόπο (Goodman et al., 2020; Poursanidis et al., 2019). Στην παρούσα εργασία, αυτοματοποιημένες διαδικασίες για την ποιοτική εκτίμηση ακρίβειας των ταξινομήσεων που έγιναν στα προϊόντα της προ-επεξεργασίας δεδομένων, σε συνδυασμό με την εκτίμηση ακρίβειας ταξινόμησης βάση σημειακής πληροφορίας, συνθέτουν την πληροφορία εμπιστοσύνης της ταξινόμησης. Η οποία παρέχει στον ερευνητή τη δυνατότητα οπτικού ελέγχου ποιότητας των γεωχωρικών δεδομένων που παράγονται κατά τη διάρκεια μιας θαλάσσιας μελέτης και προσδίδει καλύτερη χωρική ακρίβεια των αποτελεσμάτων συνάρτηση της πληροφορίας εμπιστοσύνης. Αυτό γίνεται με την αξιοποίηση της επιφανειακής πληροφορίας ταξινόμησης με τη μορφή πιθανότητας σε συνδυασμό με χωρικές παρεμβολές εκ των σημειακών δεδομένων επαλήθευσης. Επακόλουθα, η ακρίβεια της ταξινόμησης μπορεί να απεικονίζεται σε θεματικό χάρτη αποτυπώνοντας το επίπεδο εμπιστοσύνης της διαδικασίας της χαρτογράφησης θαλάσσιων ενδιαιτημάτων

4.3 Δυνατότητες BAP

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης, η προσέγγιση BAP αξιολογείται ως μια έγκυρη μέθοδος δημιουργίας και επεξεργασίας ενός αντιπροσωπευτικού για το φυσικό κόσμο, σύνθετο εικόνας με χρονικό παράθυρο δεδομένων τουλάχιστον ενός χρόνου. Η εκτίμηση ακρίβειας της χαρτογράφησης για το εν λόγω σύνθετο παρουσίασε σχετικά καλή βαθμολογία ολικής ακρίβειας ενώ τα σφάλματα προσαύξησης και παράλειψης είναι σημαντικά χαμηλά στην πλειοψηφία των κλάσεων ταξινόμησης. Επιπλέον, η πληροφορία εμπιστοσύνης που παρήχθη και αποτελεί μια επιφανειακή πληροφορία εκτίμησης ακρίβειας της ταξινόμησης, προσδίδει καλή εμπιστοσύνη στη χαρτογράφηση της θαλάσσιας βλάστησης σε βαθιά νερά (>10 μέτρα βάθος). Για του λόγου το αληθές, πρόκειται για το κύριο σημείο που καθιστά την σύνθεση εικόνας βάση ποιοτικών κριτηρίων, καλύτερη, έναντι σύνθεσης εικόνας με στατιστική προσέγγιση. Η αξιοποίηση μόνο ποσοτικών και δη στατιστικών μεθόδων διαχείρισης φυσικών σφαλμάτων του δέκτη (σύννεφα, ηλιακή ανάκλαση), κατά μια θαλάσσια μελέτη τηλεπισκόπησης, είναι σε θέση να απαλείφει σε σημαντικό βαθμό

ηλεκτρομαγνητικές αλλοιώσεις οφειλόμενες σε νέφη και ηλιακή ανάκλαση. Οι σκιές νεφών ωστόσο προξενούν αρνητικά σφάλματα στις φασματικές υπογραφές, με αποτέλεσμα να έχουν παρόμοιες καταγραφές με περιοχές οπτικά βαθιών νερών. Λόγω της ομοιότητας των υπογραφών και της μικρής τυπικής απόκλισης των εν λόγω φασματικών ομάδων (σκιές νεφών και οπτικά βαθιά νερά) η στατιστική προσέγγιση του πρώτου τεταρτημρίου έρχεται δεύτερη μετά την προσέγγιση BAP στην ακρίβεια της ταξινόμησης βάση ποσοτικών (εκτίμηση ακρίβειας βάση σημειακής πληροφορίας και δεικτών ακρίβειας) και ποιοτικών (εκτίμηση ακρίβειας βάση επιφανειακής πληροφορίας και πληροφορίας εμπιστοσύνης της ταξινόμησης) κριτηρίων. Μια ακόμα δυνατότητα της προσέγγισης BAP που χρήζει περαιτέρω έρευνας, είναι η παραμετροποίηση της παραμέτρου DOY και του χρονικού παραθύρου των δεδομένων ώστε να δημιουργηθούν λόγου χάρη εποχικά σύνθετα εικόνας. Με αυτό το τρόπο, οι ερευνητές θα είναι σε θέση να εκτιμούν διαφορές κάλυψης ,φαινομένων(παλίρροια, έξαρση πλαγκτονικών οργανισμών, θαλ. ρύπανση, διάβρωση παραλιών κ.α.) και φυσικοχημικών παραμέτρων (αλατότητα, θερμοκρασία, COD κ.α.) μεταξύ διαφορετικών εποχών του ίδιου έτους ή ακόμα και διαφορετικών ετών με τη δημιουργία χρονοσειρών. Τέλος, η ημιαυτόματη διαδικασία σύνθεσης εικόνας μέσα από πλατφόρμα νέφους γενικά και ειδικά μέσα από τη GEE, προσδίδει τη δυνατότητα εφαρμογής της μεθόδου σε δεδομένα μεγάλης χωρικής και χρονικής κλίμακας μειώνοντας έτσι σημαντικά το χρόνο διεξαγωγής της συγκριτικά με τοπικά συστήματα. Αυτό μπορεί να ερμηνευτεί με 2 τρόπους. Ο πρώτος αφορά της σύνθεση εικόνας με τη χρήση πολυχρονικών δεδομένων μέσω μιας ημιαυτόματης διαδικασίας δίχως να χρειάζεται μεμονωμένη παρατήρηση στην κάθε εικόνα για έλεγχο καιρικών συνθηκών που υπονομεύουν την ποιότητα της εκάστοτε εικόνας. Ο δεύτερος αφορά το σχεδόν μηδαμινό χρόνο λήψης δεδομένων που χαρακτηρίζει τις πλατφόρμες νέφους και την υψηλή υπολογιστική τους ισχύ, οι οποίες σε σύγκριση με τα συμβατά τοπικά συστήματα εκτελούν το σύνολο της ανάλυσης σημαντικά πιο γρήγορα.

Επιπρόσθετα, το νέο σύνθετο εικόνας που δημιουργήθηκε, αν και δεν φέρει κάποια φυσική ερμηνεία όσον αφορά τις τιμές των εικονοστοιχείων, η ταξινόμηση των θαλάσσιων ενδιατημάτων παρουσιάζει μια ισχυρή ταύτιση με την φυσική κατάσταση των περιοχών μελέτης. Δεδομένου της κλιματικής αλλαγής, της εξέλιξης της τεχνολογίας και των απαιτήσεων της κοινωνίας ως προς την επιστημονική κοινότητα σχετικά με την προστασία και παρατήρηση του περιβάλλοντος, αναμένεται μέσα στα επόμενα χρόνια οι μελέτες τηλεπισκόπησης να αφορούν αρκετά μεγαλύτερες εκτάσεις από τις καθιερωμένες με στόχο το σχεδιασμό και εκτέλεση διαχειριστικών δράσεων βάση των αποτελεσμάτων ανάλυσης. Ως εκ τούτου, η εφαρμογή της προσέγγισης BAP σε συνδυασμό με τα προτερήματα που

χαρακτηρίζουν τη GEE, δύναται να μειώσει σημαντικά το χρόνο διεκπεραίωσης του σταδίου προεπεξεργασίας δορυφορικών δεδομένων. Με αυτό το τρόπο και βάση των αποτελεσμάτων, η χαρτογράφηση θαλάσσιων ενδιαιτημάτων και εφαρμογών όπως αλλαγή κάλυψης Γης ή διάβρωση παραλιών θα γίνονται σε μικρό χρονικό διάστημα και συνεπώς οι διαχειριστικές δράσεις ή έργα θα πραγματοποιούνται πιο γρήγορα.

4.4 Προτερήματα Cloud

Σύμφωνα με την μετα-ανάλυση των Tamiminia et al., 2020, σε 349 επιστημονικές δημοσιεύσεις, η GEE με τη δυνατότητα ανάλυσης μεγάλων γεωχωρικών δεδομένων, έχει καταγράψει σημαντικό ρόλο σε μελέτες διαφορετικών πεδίων της τηλεπισκόπησης ανά τον κόσμο τα τελευταία 7 χρόνια. Η μετα-ανάλυση έδειξε πως το 20% των μελετών αφορούσαν θαλάσσια τηλεπισκόπηση ενώ η εκπόνηση μελετών μέσα από την πλατφόρμα αυξήθηκε τα τελευταία χρόνια με το 13% των δημοσιεύσεων που αναλύθηκαν να προέρχονται από το 2017 και το 29% από το 2019. Σε μια ακόμα μετα-ανάλυση μεταξύ 300 επιστημονικών δημοσιεύσεων, οι Kumar και Mutanga, 2018, καταλήγουν πως η GEE αποτελεί το επόμενο βήμα στην παρατήρηση της Γης και γενικά γεωχωρικών εφαρμογών λόγω της ικανότητας ανάλυσης και επεξεργασίας δεδομένων μεγάλου όγκου κάτι το οποίο δεν είναι εφικτό από επιτραπέζιους υπολογιστές. Η παρούσα εργασία επιβεβαιώνει την υψηλή ικανότητα ανάλυσης και επεξεργασίας της GEE με την υπολογιστικά απαιτητική σύνθεση εικόνας μέσω ανάλυσης πολύ-χρονικών δορυφορικών δεδομένων με την επιμέρους βαθμονόμηση των εικονοστοιχείων στο σύνολο των δεδομένων. Παράλληλα, με αξιοποίηση εξιδεικευμένων αλγορίθμων της πλατφόρμας έγινε ταξινόμηση με αντικειμενοστραφή ανάλυση και παραγωγή της πληροφορίας εμπιστοσύνης θέτοντας τις βάσεις για παρόμοιες μελέτες θαλάσσια τηλεπισκόπησης μέσα από υπολογιστικό περιβάλλον νέφους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο στόχος της εργασίας ήταν η δημιουργία και εκτέλεση μιας νέας, ημιαυτόματης προσέγγισης σύνθεσης εικόνας, για θαλάσσια περιοχή, από πολύ-χρονικά δεδομένα έπειτα ανάλυσης και επεξεργασίας των καταγεγραμμένων φασματικών υπογραφών που θα είναι σε θέση να εξομαλύνει φασματικές αλλοιώσεις (νεφών, σκιά νεφών και ηλιακή ανάκλαση) δίχως επιμέρους διορθώσεις τεχνικών σφαλμάτων. Ο έλεγχος ακρίβειας και εγκυρότητας της μεθοδολογίας βασίστηκε στους δείκτες ακρίβειας της ταξινόμησης θαλάσσιων ενδιαιτημάτων που έγινε στο προϊόν της προσέγγισης BAP καθώς και σε καθιερωμένες και αναγνωρισμένες προσεγγίσεις δημιουργίας σύνθεσης εικόνας από πολύ-χρονικά δεδομένα. Πέρα των δεικτών, η εκτίμηση ακρίβειας της ταξινόμησης έγινε και με ποιοτικό τρόπο με τη συνδρομή της πληροφορίας εμπιστοσύνης. Η συγκεκριμένη πληροφορία, ως επιφανειακή πληροφορία δίνει τη δυνατότητα έκφρασης, με ποιοτικό τρόπο, του επίπεδου εμπιστοσύνης της εκάστοτε ταξινόμησης. Έτσι, η εκτίμηση ακρίβειας των ταξινομήσεων συνεπώς και ο έλεγχος ορθότητας της προσέγγισης BAP εξετάστηκε τόσο βάση ποσοτικών όσο και ποιοτικών κριτηρίων.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, η προσέγγιση BAP φέρει τα καλύτερα αποτελέσματα ακρίβειας μεταξύ των λοιπών ποσοτικών προσεγγίσεων (Aquant, median) και παράλληλα ανέδειξε τις δυνατότητες της GEE για τη διεξαγωγή μελετών θαλάσσιας τηλεπισκόπησης. Πιο συγκεκριμένα, η προσέγγιση BAP σημείωσε τα λιγότερα σφάλματα προσάυξης και παράλειψης κατά τη διαδικασία της ταξινόμησης ενώ η ταξινόμηση με το σύνθετο BAP ήταν η μοναδική χαρτογράφηση που έδειξε μέτρια προς υψηλά επίπεδα εμπιστοσύνης χαρτογράφησης θαλάσσιας βλάστησης σε βαθιά νερά >10 μέτρων. Επομένως, θα ήταν ασφαλές να ειπωθεί πως η προσέγγιση BAP, ως μια αυτόματη διαδικασία δημιουργίας αντιπροσωπευτικής για τη φυσική κατάσταση εικόνας βάση πολύ-χρονικών δεδομένων είναι εφικτή και λειτουργική. Μέσα από το υπολογιστικό περιβάλλον νέφους της GEE κιόλας οι χωρικοί και χρονικοί περιορισμοί λόγω του όγκου των δεδομένων που χαρακτηρίζουν τα επιτραπέζια υπολογιστικά συστήματα αίρονται. Ο λόγος που σε αυτό το σημείο η προσέγγιση BAP δεν αναφέρεται ως ημιαυτόματη διαδικασία οφείλεται στο ότι η σύνθεση της εικόνας έγινε με αυτόματες τεχνικές. Η μόνη διαδικασία που δεν έγινε αυτόματα είναι η παραγωγή της μπάντας DIV όπου δημιουργήθηκε αξιοκρατικά σε όλα τα προϊόντα εικόνων που παρήχθησαν κατά την προεπεξεργασία των δεδομένων και αποτέλεσε τη τέταρτη μπάντα ταξινόμησης κατά τη χαρτογράφηση των θαλάσσιων ενδιαιτημάτων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- B. Lyons, M., M. Roelfsema, C., V. Kennedy, E., M. Kovacs, E., Borrego-Acevedo, R., Markey, K., Roe, M., M. Yuwono, D., L. Harris, D., R. Phinn, S., Asner, G.P., Li, J., E. Knapp, D., S. Fabina, N., Larsen, K., Traganos, D., J. Murray, N., 2020. Mapping the world's coral reefs using a global multiscale earth observation framework. *Remote Sens. Ecol. Conserv.* 1–12. <https://doi.org/10.1002/rse2.157>
- Biermann, L., Clewley, D., Martinez-Vicente, V., Topouzelis, K., 2020. finding plastic patches in coastal Waters using optical Satellite Data. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62298-z>
- Bozkaya, A.G., Balcik, F.B., Goksel, C., Esbah, H., 2015. Forecasting land-cover growth using remotely sensed data: a case study of the Igneada protection area in Turkey. *Environ. Monit. Assess.* 187. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4322-z>
- Caballero, I., Stumpf, R., Meredith, A., 2019. Preliminary Assessment of Turbidity and Chlorophyll Impact on Bathymetry Derived from Sentinel-2A and Sentinel-3A Satellites in South Florida. *Remote Sens.* 11, 645. <https://doi.org/10.3390/rs11060645>
- Campbell, J.B., Wynne., R.H., 2011. Introduction to Remote Sensing FIFTH EDITION, Uma ética para quantos? <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- D. Elvidge, C., B. Dietz, J., Berkelmans, R., Andréfouët, S., Skirving, W., E. Strong, A., T. Tuttle, B., 2004. Satellite observation of Keppel Islands (Great Barrier Reef) 2002 coral bleaching using IKONOS data. *Coral Reefs* 23, 123–132. <https://doi.org/10.1007/s00338-003-0364-8>
- Dekker, A., Brando, V., Anstee, J., Fyfe, S., Malthus, T., Karpouzli, E., 2007. Remote Sensing of Seagrass Ecosystems: Use of Spaceborne and Airborne Sensors, in: SEAGRASSES: BIOLOGY, ECOLOGY AND CONSERVATION. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 347–359. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2983-7_15
- Dogliotti, A.I., Ruddick, K.G., Nechad, B., Doxaran, D., Knaeps, E., 2015. A single algorithm to retrieve turbidity from remotely-sensed data in all coastal and estuarine waters. *Remote Sens. Environ.* 156, 157–168. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.09.020>
- Fragkopoulou, T., 2016. Deriving a global identification tool of sandy beaches using satellite images. Delft University of Technology.

- Goodman, J.A., Lay, M., Ramirez, L., Ustin, S.L., Haverkamp, P.J., 2020. Confidence Levels, Sensitivity, and the Role of Bathymetry in Coral Reef Remote Sensing. *Remote Sens.* 12, 496. <https://doi.org/10.3390/rs12030496>
- Gorelick, N., 2012. Google Earth Engine. AGU Fall Meet. Abstr. 15, 11997. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.01.007>
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., Moore, R., 2017. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sens. Environ.* <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Hedley, J.D., Harborne, A.R., Mumby, P.J., 2007. International Journal of Remote Sensing Technical note: Simple and robust removal of sun glint for mapping shallow-water benthos TECHNICAL NOTE Simple and robust removal of sun glint for mapping shallow-water benthos. <https://doi.org/10.1080/01431160500034086>
- Hedley, J.D., Roelfsema, C.M., Chollett, I., Harborne, A.R., Heron, S.F., Weeks, S.J., Skirving, W.J., Strong, A.E., Mark Eakin, C., Christensen, T.R.L., Ticzon, V., Bejarano, S., Mumby, P.J., 2016. Remote sensing of coral reefs for monitoring and management: A review. *Remote Sens.* <https://doi.org/10.3390/rs8020118>
- Hu, C., 2009. A novel ocean color index to detect floating algae in the global oceans. *Remote Sens. Environ.* 113, 2118–2129. <https://doi.org/10.1016/J.RSE.2009.05.012>
- Kumar, L., Mutanga, O., 2018. Google Earth Engine Applications Since Inception: Usage, Trends, and Potential. *Remote Sens.* <https://doi.org/10.3390/rs10101509>
- Li, J., Schill, S.R., Knapp, D.E., Asner, G.P., Li, J., Schill, S.R., Knapp, D.E., Asner, G.P., 2019. Object-Based Mapping of Coral Reef Habitats Using Planet Dove Satellites. *Remote Sens.* 11, 1445. <https://doi.org/10.3390/rs11121445>
- Lyons, M.B., Keith, D.A., Phinn, S.R., Mason, T.J., Elith, J., 2018. A comparison of resampling methods for remote sensing classification and accuracy assessment. *Remote Sens. Environ.* 208, 145–153. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.02.026>
- Martínez-Vicente, V., Clark, J.R., Corradi, P., Aliani, S., Arias, M., Bochow, M., Bonnery, G., Cole, M., Cózar, A., Donnelly, R., Echevarría, F., Galgani, F., Garaba, S.P., Goddijn-Murphy, L., Lebreton, L., Leslie, H.A., Lindeque, P.K., Maximenko, N., Martin-Lauzer, F.-R., Moller, D., Murphy, P., Palombi, L., Raimondi, V., Reisser, J., Romero, L., Simis, S.G.H., Sterckx, S., Thompson, R.C., Topouzelis, K.N., van Sebille, E. van, Veiga, J.M., Vethaak, A.D., 2019.

- Measuring Marine Plastic Debris from Space: Initial Assessment of Observation Requirements. *Remote Sens.* 11, 2443. <https://doi.org/10.3390/rs11202443>
- Mutanga, O., Kumar, L., 2019. Google earth engine applications. *Remote Sens.* <https://doi.org/10.3390/rs11050591>
- Ouillon, S., Douillet, P., Petrenko, A., Neveux, J., Dupouy, C., Froidefond, J.M., Andréfouët, S., Muñoz-Caravaca, A., 2008. Optical algorithms at satellite wavelengths for total suspended matter in tropical coastal waters. *Sensors* 8, 4165–4185. <https://doi.org/10.3390/s8074165>
- Peppas, M., Vasilakos, C., Kavroudakis, D., 2020. Eutrophication monitoring for Lake Pamvotis, Greece, using sentinel-2 data. *ISPRS Int. J. Geo-Information* 9. <https://doi.org/10.3390/ijgi9030143>
- Potapov, P., Turubanova, S., Hansen, M.C., 2011. Regional-scale boreal forest cover and change mapping using Landsat data composites for European Russia. *Remote Sens. Environ.* 115, 548–561. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.10.001>
- Poursanidis, D., Traganos, D., Reinartz, P., Chrysoulakis, N., 2019. On the use of Sentinel-2 for coastal habitat mapping and satellite-derived bathymetry estimation using downscaled coastal aerosol band. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 80, 58–70. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.03.012>
- Stumpf, R.P., Holderied, K., Sinclair, M., 2003. Determination of water depth with high-resolution satellite imagery over variable bottom types. *Limnol. Oceanogr.* 48, 547–556. https://doi.org/10.4319/lo.2003.48.1_part_2.0547
- Tamiminia, H., Salehi, B., Mahdianpari, M., Quackenbush, L., Adeli, S., Brisco, B., 2020. Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and systematic review. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 164, 152–170. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.04.001>
- Topouzelis, K., Makri, D., Stoupas, N., Papakonstantinou, A., Katsanevakis, S., 2018. Seagrass mapping in Greek territorial waters using Landsat-8 satellite images. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 67, 98–113. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.12.013>
- Topouzelis, K., Papakonstantinou, A., Garaba, S.P., 2019. Detection of floating plastics from satellite and unmanned aerial systems (Plastic Litter Project 2018). *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 79, 175–183. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.03.011>

- Traganos, D., Aggarwal, B., Poursanidis, D., Topouzelis, K., Chrysoulakis, N., Reinartz, P., 2018. Towards Global-Scale Seagrass Mapping and Monitoring Using Sentinel-2 on Google Earth Engine: The Case Study of the Aegean and Ionian Seas. *Remote Sens.* 10, 1227. <https://doi.org/10.3390/rs10081227>
- Traganos, D., Reinartz, P., 2017. Mapping Mediterranean seagrasses with Sentinel-2 imagery. *Mar. Pollut. Bull.* <https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2017.06.075>
- Wahidin, N., Siregar, V.P., Nababan, B., Jaya, I., Wouthuyzen, S., 2015. Object-based Image Analysis for Coral Reef Benthic Habitat Mapping with Several Classification Algorithms. *Procedia Environ. Sci.* 24, 222–227. <https://doi.org/10.1016/J.PROENV.2015.03.029>
- White, J.C., Wulder, M.A., Hobart, G.W., Luther, J.E., Hermosilla, T., Griffiths, P., Coops, N.C., Hall, R.J., Hostert, P., Dyk, A., Guindon, & L., 2014. Pixel-Based Image Compositing for Large-Area Dense Time Series Applications and Science. *Can. J. Remote Sens.* 40, 192–212. <https://doi.org/10.1080/07038992.2014.945827>
- Καρτάλης, Κ., Φεΐδας, Χ., 2013. ΑΡΧΕΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ. Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, Αθήνα.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**Ευρετήριο εικόνων**

Εικόνα 1, Διαγραμμα ροής διαδικασιών δημιουργίας των προς ανάλυση σύνθετων.....	12
Εικόνα 2, Περιοχές μελέτης της ελληνικής επικράτειας και τα σημεία εκπαίδευσης και επαλήθευσης που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση και εκτίμηση ακριβείας της ταξινόμησης θαλάσσιων ενδιαιτημάτων, ROI: Region Of Interest.....	15
Εικόνα 3, Στιγμιότυπο οθόνης μέσα από το περιβάλλον GEE στα πλαίσια κανονικοποίησης των ιστογραμμάτων. Με μπλε βέλη είναι τα πολύγωνα μικρής ανάκλασης (θαλάσσια βλάστηση) ενώ με κόκκινα είναι τα πολύγωνα υψηλής ανάκλασης (μαλακό υπόστρωμα).	24
Εικόνα 4, Στιγμιότυπο οθόνης GEE από την παραλία Βατερών στη Λέσβο. Τα 3 μπλε πολύγωνα που εμφανίζονται αφορούν τις φασματικές υπογραφές μαλακού υποστρώματος που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του DIV στην περιοχή μελέτης Λέσβου.....	26
Εικόνα 5, Χάρτες σύνθετων εικόνας BAP2 και Aquart απεικονιζόμενα με φυσικά χρώματα για την περιοχή μελέτης Λέσβου	30
Εικόνα 6, Χάρτες σύνθετων εικόνας BAP2 και Aquart απεικονιζόμενα με φυσικά χρώματα για τις περιοχές μελέτης Λευκάδας και Ζακύνθου	30
Εικόνα 7, Χάρτης που απεικονίζει την μπάντα DIV βάση BAP2 και Aquart σε κλίμακα του γκρι για την περιοχή της Λέσβου.....	31
Εικόνα 8, Χάρτης που απεικονίζει την μπάντα DIV βάση BAP2 και Aquart σε κλίμακα του γκρι για τις περιοχές Ζακύνθου και Λευκάδας.....	32
Εικόνα 8, Προϊόντα επιβλεπόμενης ταξινόμησης με τον ταξινομητή Random Forest για την περιοχή Ζακύνθου σύμφωνα με τα σύνθετα BAP2, Aquart, BAP3 & Aquart. Η ταξινόμηση έγινε σε όλη τη νήσο αλλά στον χάρτη έχει γίνει εστίαση στη ΒΑ ακτογραμμή για καλύτερη παρατήρηση των αποτελεσμάτων. OA: Overall Accuracy	35
Εικόνα 9, Προϊόντα ταξινόμησης βάση του σύνθετου BAP2 σύμφωνα με τον Random Forest (RF(100)) και αντικειμενοστραφούς ανάλυσης για την περιοχή Ζακύνθου. Ο κατακερματισμός εικόνας που αποτελεί το πρωταρχικό στάδιο της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης, έγινε σύμφωνα με την μπλε (OBIA(b2)) και την πράσινη μπάντα (OBIA(b3)).....	36
Εικόνα 10, Προϊόντα ταξινόμησης βάση του σύνθετου BAP2 σύμφωνα με τον RandomForest και αντικειμενοστραφή ανάλυση για την περιοχή της Λέσβου. Αν και η ταξινόμηση έγινε στο	

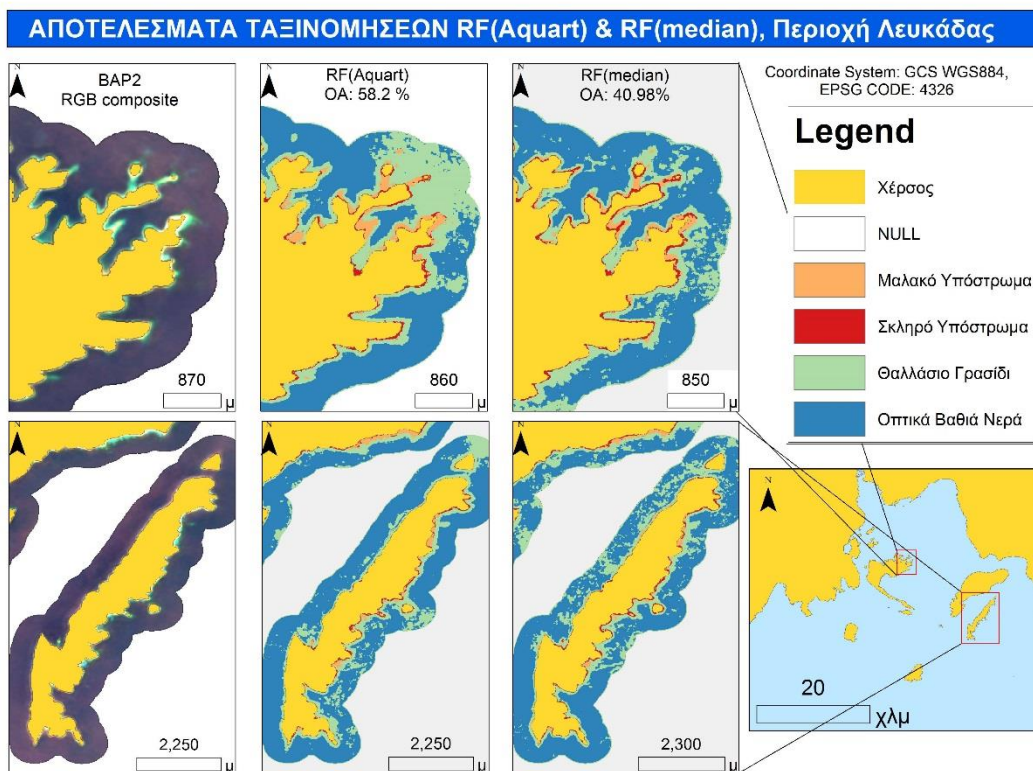
σύνολο της περιοχής μελέτης, για ευκολία παρατήρησης έχει γίνει εστίαση σε συγκεκριμένες περιοχές..... 36

Εικόνα 11, Προϊόντα ταξινόμησης βάση του σύνθετου BAP2c σύμφωνα με τον RandomForest και αντικειμενοστραφή ανάλυση για την περιοχή Λευκάδας. Αν και η ταξινόμηση έγινε στο σύνολο της περιοχής μελέτης, για ευκολία παρατήρησης έχει γίνει εστίαση σε συγκεκριμένες περιοχές..... 37

Εικόνα 12, Θεματικός χάρτης με γεωχωρική απεικόνιση ακρίβειας ταξινόμησης (Confidence Layer). Παρατίθενται και οι θεματικοί χάρτες HtMregions και Soft Classification που αποτελούν τα δευτερογενή δεδομένα που βασίστηκε το Confidence Layer..... 42

Εικόνα 13, Θεματικοί χάρτες Confidence Layer βάση επιβλεπόμενης ταξινόμησης ανά φαντίο (perPixel analysis) και αντικειμενοστραφούς ανάλυσης (obiaB2 & obiaB3). Η περιοχή που απεικονίζει ο χάρτης είναι όλη η Βόρειο-Βορειοανατολική ακτογραμμή της Ζακύνθου 43

Χάρτες για την περιοχή Λευκάδας



Χάρτες για τη νήσο Λέσβο

