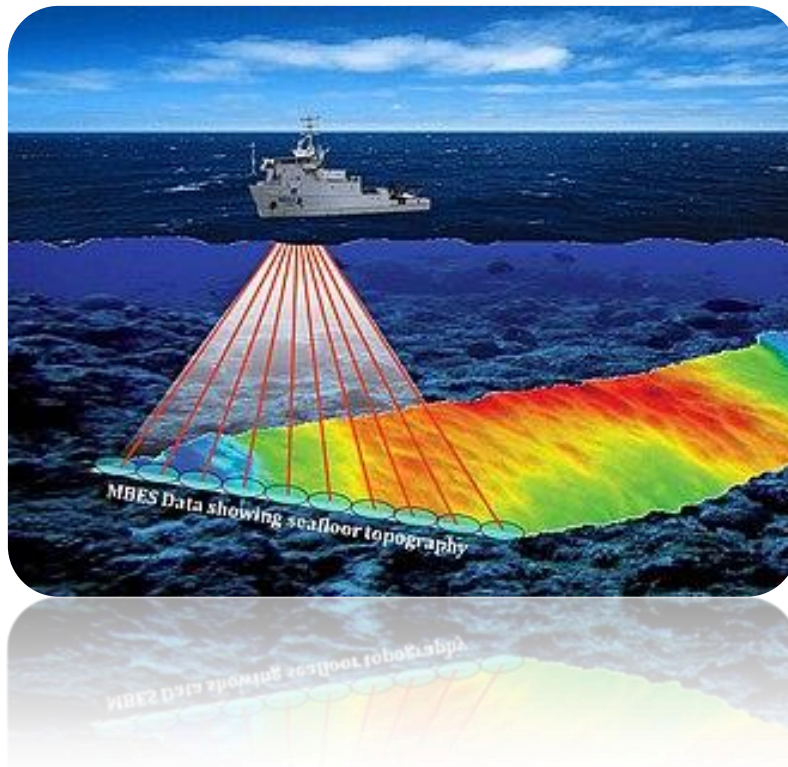




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

Χαρτογράφηση Πυθμένα με Προηγμένες Τεχνικές Ταξινόμησης από Πολυφασματικά Πολυδεσμικά Ακουστικά Δεδομένα



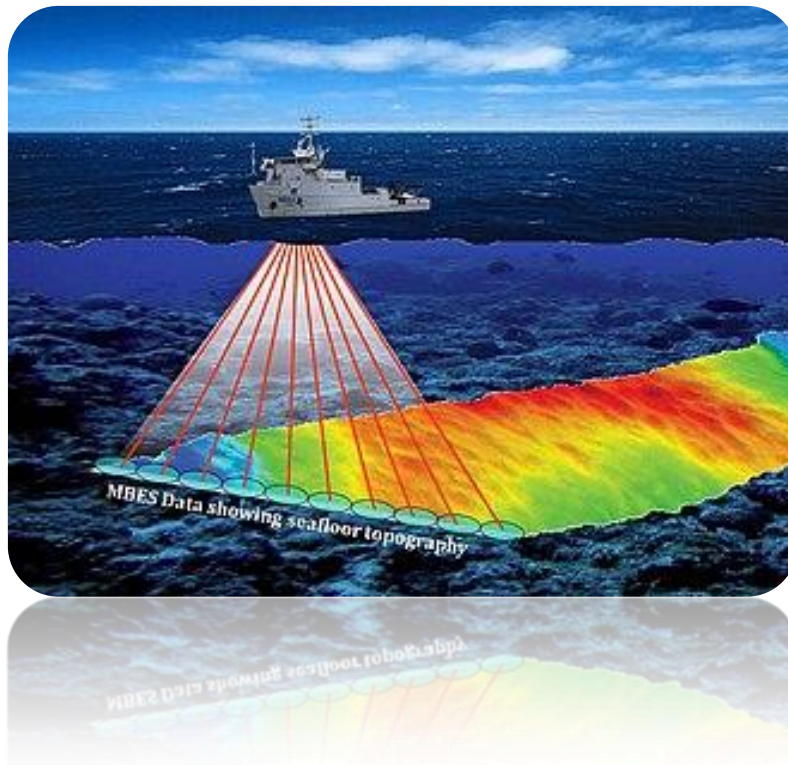
Διπλωματική Εργασία
Παναγιώτης Μερτίκας

Οκτώβριος 2018



National Technical University of Athens
School of Rural and Surveying Engineering
Remote Sensing Laboratory

Sea Floor Mapping with Advanced Classification Techniques from Multispectral Multibeam Acoustic Data



Diploma Thesis
Panagiotis Mertikas

October 2018



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

Χαρτογράφηση Πυθμένα με Προηγμένες Τεχνικές Ταξινόμησης από Πολυφασματικά Πολυδесμικά Ακουστικά Δεδομένα

Διπλωματική Εργασία
Παναγιώτης Μερτίκας

Επιβλέπων : Καράντζαλος Κωνσταντίνος
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή στις 18 Οκτωβρίου 2018.

(Υπογραφή)

.....

Καράντζαλος Κωνσταντίνος
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

(Υπογραφή)

.....

Αργιαλάς Δημήτριος
Καθ. Ε.Μ.Π.

(Υπογραφή)

.....

Δουλάμης Αναστάσιος
Επ. Καθ. Ε.Μ.Π.

Copyright © All rights reserved Παναγιώτης Σ. Μερτίκας, 2018

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος

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

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Έχω την τιμή να εκφράσω τις πιο θερμές μου ευχαριστίες στον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Καράντζαλο, μέλος του εργαστηρίου Τηλεπισκόπησης του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, για την επίβλεψη και την πολύτιμη καθοδήγησή του καθώς και για την άψογη και εποικοδομητική συνεργασία που είχαμε κατά την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας. Η αφοσίωση και η αγάπη για τη δουλειά του αποτέλεσαν υπόδειγμα για συνεχή βελτίωση και σκληρή δουλειά, με σκοπό την τελειοποίηση της παρούσας εργασίας.

Επίσης, ευχαριστώ θερμά όλο το επιστημονικό και ερευνητικό προσωπικό του εργαστηρίου Τηλεπισκόπησης, ιδιαίτερα τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Ζαχαρία Κανδυλάκη ο οποίος, με τις εύστοχες παρατηρήσεις του και τη διαρκή υποστήριξή του, με καθοδήγησε στην επίλυση των προβλημάτων που προέκυπταν κατά τη διάρκεια της παρούσας μελέτης. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω την υποψήφια διδάκτορα κ. Χριστίνα Καρακίζη για την υποστήριξη που μου παρείχε σε γνωστικό αλλά και φιλικό επίπεδο.

Δεν παραλείπω να ευχαριστήσω ακόμη τον υποψήφιο μεταπτυχιακό φοιτητή κ. Αλέξανδρο Φαλάγγα για την σημαντική βοήθεια που τόσο γενναιόδωρα μου πρόσφερε.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ απευθύνω στην οικογένειά μου, η οποία με στήριξε σε όλες τις επιλογές μου και ήταν και παραμένει πάντα δίπλα μου με αγάπη, κατανόηση και διαρκή ενθάρρυνση .

*Μερτίκας Παναγιώτης
Αθήνα, Οκτώβριος 2018*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η σημαντική τεχνολογική πρόοδος την τελευταία δεκαετία, στην εξέλιξη και ανάπτυξη προηγμένων ενεργητικών και παθητικών αισθητήρων για υποθαλάσσια έρευνα, δίνει τη δυνατότητα για συστηματική και με ακρίβεια χαρτογράφηση του πυθμένα των θαλασσών. Προς τη κατεύθυνση αυτή, στην παρούσα εργασία, αξιολογήθηκαν, αναπτύχθηκαν και διευρύνθηκαν σύγχρονες τεχνικές για την προεπεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων. Συγκεκριμένα, αξιοποιήθηκαν πολυφασματικά-πολυδεσμικά ακουστικά δεδομένα, υψηλής χωρικής ανάλυσης σε τρεις περιοχές μελέτης, που ήταν διαθέσιμα στο πλαίσιο διεθνούς διαγωνισμού. Μετά τις βασικές προεπεξεργασίες και την παραγωγή βυθομετρικών χαρτών, πραγματοποιήθηκαν εκτενή πειράματα με αλγόριθμους ταξινόμησης για την χαρτογράφηση του πυθμένα (sea floor mapping) σε βασικές κατηγορίες όπως άμμος, λασπώδης άμμος, άμμος με άλγη, βράχια, κοκ. Η αξιολόγηση των αρχικών πειραμάτων ανά περιοχή μελέτης έδειξε ότι για τις δυο πρώτες περιοχές του Καναδά (Bedford Basin & Patricia Bay), τα υψηλότερα ποσοστά ακρίβειας επιτεύχθηκαν με τη χρήση μηχανών διανυσμάτων υποστήριξης (SVM-Linear) για την ταξινόμησή τους. Στην περιοχή NewBex-Portsmouth, ύστερα από αρκετούς πειραματισμούς ο ταξινομητής Random Forest αξιολογήθηκε ως ο πιο αποτελεσματικός. Σε γενικές γραμμές τα ποσοστά ακρίβειας στους πειραματισμούς ανά περιοχή κυμάνθηκαν από 65% έως 96%. Τέλος, με απώτερο σκοπό τη συστηματοποίηση των διαδικασιών χαρτογράφησης, κατασκευάστηκε ένα ενιαίο γενικευμένο μοντέλο μηχανικής μάθησης το οποίο εκπαιδεύτηκε για τη χαρτογράφηση και των τριών περιοχών μελέτης. Τα ποσοστά ακρίβειας του γενικευμένου μοντέλου κυμάνθηκαν στα ίδια περίπου επίπεδα με τα προηγούμενα πειράματα ανά περιοχή. Το γεγονός αυτό είναι ιδιαίτερα ελπιδοφόρο μιας και υποδεικνύει ότι ένας γενικευμένος ταξινομητής με την κατάλληλη εκπαίδευση μπορεί να πετύχει παρόμοια ποσοστά ακρίβειας στη χαρτογράφηση του πυθμένα από πολυφασματικά, πολυδεσμικά ακουστικά δεδομένα.

ABSTRACT

Recent technological advances in the development and upgrading of cutting-edge active and passive sensors for underwater research provide currently capabilities for systematic and accurate mapping of the seabed. To this end, in this diploma thesis, advanced processing and classification techniques were studied, developed and evaluated for the analysis of multispectral multibeam acoustic data. In particular, high resolution acoustic data covering three geographic regions were employed, which were available in the framework of an international data processing contest. Following the standard preprocessing and bathymetry estimation steps, extensive experiments were carried out towards sea floor mapping. Different machine learning classification algorithms were employed for discriminating seabed classes like Fine Sand, Mud Sand, Sand with algae, Rocky, etc. The quantitative evaluation indicated that for the first two Canadian regions (Bedford Basin & Patricia Bay), the highest accuracy rates were achieved using a Support Vector Machine (SVM) classifier. In the NewBex (Portsmouth, USA) region, several experiments indicated that the Random Forest Classifier (RF) resulted into higher accuracy rates. Overall, the classification accuracy rates in all, per-scene, experiments varied from 65% to 96%. Towards the systematic and operational seabed classification, a generic machine learning model was constructed which was trained with data from all three regions of interest. The resulting overall accuracy rates from the generic model was similar with the per-scene ones. This is a rather promising fact, which indicates that a generic classifier can under an adequate training procedure to achieve similar accuracy rates for sea floor mapping from multispectral multibeam acoustic data.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο 1 : Εισαγωγή	9
1.1 Μέθοδοι και συστήματα που χρησιμοποιούνται για τη χαρτογράφηση των πυθμένων	9
1.2 Αντικείμενο και Στόχοι της Εργασίας	9
1.3 Κίνητρο και Συνεισφορά της Εργασίας	10
1.4 Δομή Εργασίας	10
Κεφάλαιο 2: Θεωρητικό Υπόβαθρο και Ανάλυση Βιβλιογραφίας	11
2.1 Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας για τη Δημιουργία Μωσαϊκού	11
2.2 Αρχικά δεδομένα και Βιβλιοθήκη G.S.F. (Στάδιο 1 ^ο).....	12
2.3 Στάδιο 2 ^ο : Γεωαναφορά	15
2.3 Στάδιο 3 ^ο : Ραδιομετρικές διορθώσεις	15
2.4 Στάδιο 4ο : Επιπλέον αναγκαίες διορθώσεις.....	16
2.5 Στάδιο 5ο : Αφαίρεση της εξαρτώμενης γωνίας	21
2.6 Στάδιο 6ο : Τελικές διορθώσεις	23
2.7 Στάδιο 7 ^ο : Παραγωγή μωσαϊκού	25
2.8 Σύνοψη.....	27
Κεφάλαιο 3 : Μεθοδολογία.....	29
3.1 Παρουσίαση Περιοχών Μελέτης	29
3.1.1 Bedford Basin.....	29
3.1.2 Patricia Bay	30
3.1.3 Porstmouth / NewBex	30
3.2 Δεδομένα Multispectral Multibeam	31
3.2.1 Bedford Basin 2016.....	32
3.2.2 Bedford Basin 2017.....	33
3.2.3 Patricia Bay	34
3.3 Προεπεξεργασία & Βυθομετρία.....	36
3.3.1 Αλγόριθμος εξομάλυνσης μέσου όρου	36
3.3.2 Αλγόριθμος εξομάλυνσης με δείγμα.....	37
3.3.3 Αλγόριθμος εξομάλυνσης απότομων μεταβολών.....	37
3.3.4 Σύνοψη και επιλογή κατάλληλου αλγορίθμου για την προκειμένη περίπτωση	37
3.3.5 Αλγόριθμος παραγωγής βυθομετρικής εικόνας	37
3.4 Μέθοδοι Ταξινόμησης	38
3.4.1: Support Vector Machines (S.V.M.)	38
3.4.2 : LINEAR - Support Vector Machines (S.V.M.).....	38
3.4.3: Random Forest Algorithm (RF)	39

3.5 Δεδομένα Αναφοράς.....	41
3.5.1 : Bedford Basin (2016 -17)	41
3.5.2 Patricia Bay	47
3.5.3 NewBex – Portsmouth Harbor.....	49
3.5.3 Κατηγορίες Γενικευμένου Μοντέλου	51
Κεφάλαιο 4 : Πειραματικά Αποτελέσματα & Αξιολόγηση	54
4.1 : Βυθομετρικοί Χάρτες	54
4.1.1 Bedford Basin 2016.....	54
4.1.2 Bedford Basin 2017.....	58
4.1.4: Παρατήρηση μεταβολών σε βυθομετρικούς χάρτες διαφορετικών χρονολογιών (2016 – 17).....	67
4.2 Αποτελέσματα Μοντέλων Ταξινόμησης Ανά Περιοχή.....	69
4.2.1 Bedford Basin 2016.....	69
4.2.2 Bedford Basin 2017.....	71
4.2.2 Patricia Bay	75
4.2.3 NewBex – Portsmouth Harbor.....	76
4.3 Αποτελέσματα από το Γενικευμένο Μοντέλο.....	79
4.3.1 Bedford Basin.....	79
4.3.3 NewBex / Portsmouth	80
4.3.4 Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων	81
Κεφάλαιο 5: Συζήτηση, Συμπεράσματα & Προτάσεις.....	85
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	88
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α - Στοιχεία και Πεδία της Βιβλιοθήκης GSF	92

Κεφάλαιο 1 : Εισαγωγή

Στο παρόν εισαγωγικό κεφάλαιο, παρατίθενται γενικά στοιχεία από το πεδίο της αποτύπωσης πυθμένων αλλά και σύγχρονων μεθόδων που χρησιμοποιούνται σήμερα για τη χαρτογράφηση τους. Στη συνέχεια περιγράφονται οι στόχοι, το κίνητρο και η συνεισφορά της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Τέλος πραγματοποιείται συνοπτική περιγραφή της διάρθρωσης και δομής των κεφαλαίων της εργασίας.

1.1 Μέθοδοι και συστήματα που χρησιμοποιούνται για τη χαρτογράφηση των πυθμένων

Τη σημερινή εποχή αναπτύσσονται και δημιουργούνται με ταχύτατο ρυθμό, καινούργιες μέθοδοι που εφαρμόζονται στην υποθαλάσσια έρευνα και χαρτογράφηση. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται υπερσύγχρονα συστήματα για την υλοποίηση του παραπάνω σκοπού αλλά και περαιτέρω ανάπτυξη των σημερινών συστημάτων. Για παράδειγμα, τα συστήματα σόναρ με πολλαπλές δέσμες (multibeam sonar), είναι προσαρμοσμένα για καταγραφές βυθών με χρήση υψηλών τιμών στο μέγεθος της συχνότητας. Τέτοια συστήματα χρησιμοποιούνται συστηματικά για τη χαρτογράφηση του θαλάσσιου βυθού (όπως προαναφέρθηκε), όπου ο πρωταρχικός στόχος είναι να εντοπιστούν χαρακτηριστικά και αντικείμενα σε αυτόν. Η επιτυχία της μεθόδου, οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στο γεγονός ότι παρέχει ταχεία κάλυψη στο έδαφος χρησιμοποιώντας μέσα, που είναι ευρέως διαθέσιμα, οικονομικά και σχετικά εύκολα στη λειτουργία και χρήση τους. Σε αυτές τις μελέτες, τα δεδομένα παρουσιάζονται ως ασπρόμαυρες εικόνες, οι οποίες μπορούν να ερμηνευτούν και με το μάτι. Η επεξεργασία των πηγαιών δεδομένων περιορίζεται γενικά στις γεωμετρικές διορθώσεις που απαιτούνται για τη γεωγραφική τοποθέτηση των εικονοστοιχείων αλλά και για τη βελτίωση αυτών. Να επισημανθεί στο σημείο αυτό, πως η μέθοδος λειτουργεί καλύτερα για τις έρευνες όπου τα διακριτά χαρακτηριστικά του θαλάσσιου βυθού εμφανίζουν χαρακτηριστικές φασματικές αποκρίσεις στην εικόνα. Η οπτική ερμηνεία των παραγόμενων εικόνων συνήθως υλοποιείται από την παρατήρηση των διαφορετικών υφών που διακρίνονται σε αυτές. Πολλές φορές όμως, λόγω των σταδιακών αλλαγών του τύπου του θαλάσσιου βυθού (ανάλογα και την περιοχή), δύσκολα διακρίνονται οριοθετήσεις μεταξύ των διαφόρων ειδών. Έτσι εκτός από την ποσοτική ερμηνεία των δεδομένων (πολλαπλών δεσμών) χρειάζεται να πραγματοποιηθεί περαιτέρω ανάλυση, χρησιμοποιώντας ιδιότητες του θαλάσσιου χώρου/περιοχής μελέτης. Συγκεκριμένα, μερικά παραδείγματα είναι το μέσο μέγεθος κόκκων, τα είδη των ιζημάτων, η λιθολογία και το σχήμα των κόκκων. Αυτά τα στοιχεία αποτελούν σημαντικές παραμέτρους για την περιγραφή της θαλάσσιας μορφολογίας αλλά και πυλώνα για την υλοποίηση περιβαλλοντικών μελετών.

1.2 Αντικείμενο και Στόχοι της Εργασίας

Βασικό αντικείμενο της παρούσας εργασίας αποτέλεσε η διερεύνηση, ανάπτυξη και αξιολόγηση σύγχρονων τεχνολογικών μεθόδων για τη χαρτογράφηση πυθμένων. Ειδικότερα, συλλέγονται και αναλύονται πολυδεσμικά πολυφασματικά ακουστικά δεδομένα. Μελετώνται και αναπτύσσονται τεχνικές για την επεξεργασία τους και γίνεται εντοπισμός των διάφορων χαρακτηριστικών τους, στα διάφορα είδη πυθμένων. Τέλος αξιολογούνται τα αποτελέσματα των πειραμάτων που υλοποιήθηκαν.

Στόχος της εργασίας ήταν η μελέτη, ανάπτυξη και αξιολόγηση μεθοδολογίας για: (α) τη δημιουργία βυθομετρικών χαρτών αλλά και την παρατήρηση μεταβολών τους, (β) την ταξινόμηση των επιφανειακών υλικών του πυθμένα, συνδυάζοντας πολυφασματικά πολυδεσμικά ακουστικά δεδομένα και (γ) την υλοποίηση ενός ενιαίου γενικευμένου μοντέλου μηχανικής μάθησης, το οποίο εκπαιδεύτηκε ενιαία για την χαρτογράφηση τριών διαφορετικών περιοχών μελέτης.

Η μελέτη υλοποιήθηκε σε τρεις διαφορετικές περιοχές (2 στον Καναδά και 1 στην Αμερική). Συγκεκριμένα στις περιοχές: Bedford Basin (Canada), Patricia Bay (Canada) και NewBex / Portsmouth (USA).

1.3 Κίνητρο και Συνεισφορά της Εργασίας

Κίνητρο για τη διερεύνηση τηλεπισκοπικών μεθόδων και τεχνικών σε θέματα υποθαλάσσιας χαρτογραφίας και έρευνας, αποτέλεσε τόσο η ανάπτυξη σύγχρονων πολυφασματικών αισθητήρων (multispectral multibeam) που παρέχουν πλέον δεδομένα υψηλής χωρικής ανάλυσης, αλλά και η διαφαινόμενη ανάγκη από την πλευρά των ερευνητών για περαιτέρω μελέτη και χαρτογράφηση του υποθαλάσσιου περιβάλλοντος.

Η παρούσα εργασία συνεισφέρει στη διεθνή βιβλιογραφία στα εξής επίπεδα:

- Μελέτη και αξιολόγηση μεθόδων στην εξομάλυνση νεφών σημείων από ακουστικά δεδομένα
- Ανάπτυξη και αξιολόγηση μεθοδολογίας για τη δημιουργία βυθομετρικών χαρτών, χρησιμοποιώντας πολυφασματικά πολυδεσμικά ακουστικά δεδομένα
- Μελέτη και αξιολόγηση βυθομετρικών μεταβολών

1.4 Δομή Εργασίας

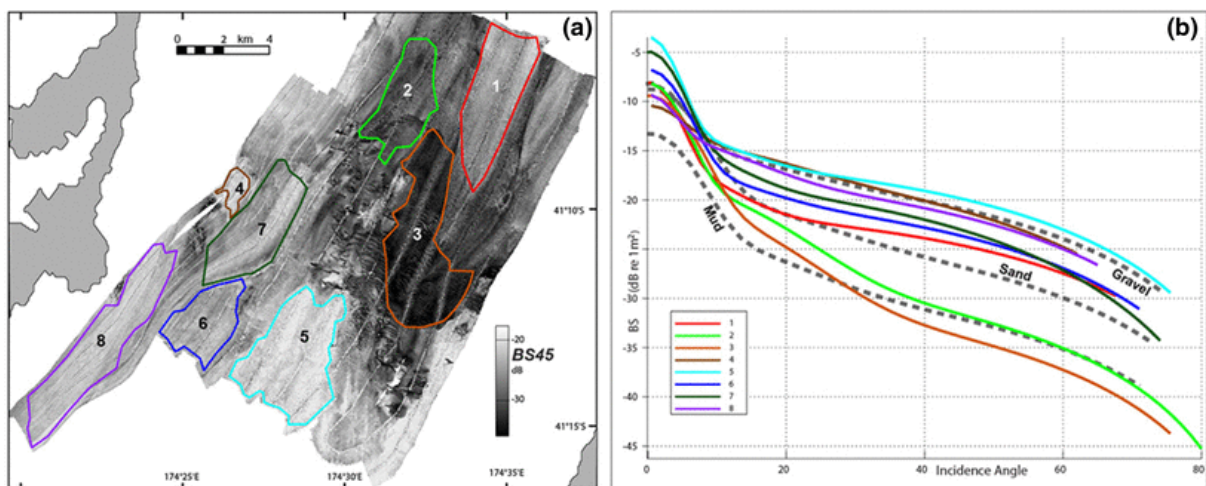
Μετά το Κεφάλαιο 1, που αποτελεί εισαγωγή στο αντικείμενο, κίνητρο και συνεισφορά της διπλωματικής εργασίας το τεύχος αναπτύσσεται σε τέσσερα ακόμη κεφάλαια. Στο Κεφάλαιο 2 υλοποιείται ανασκόπηση της βιβλιογραφίας. Αρχικά, περιγράφονται οι σημαντικότερες εξελίξεις της ερευνητικής δραστηριότητας στο τομέα της θαλάσσιας χαρτογραφίας και σε δεύτερο στάδιο η ανασκόπηση επικεντρώνεται στη διαδικασία υλοποίησης ενός μωσαϊκού, χρησιμοποιώντας πολυδεσμικά ακουστικά δεδομένα. Στο Κεφάλαιο 3 αναλύονται τα διαθέσιμα δεδομένα και ο τρόπος απόκτησής τους. Επίσης περιγράφονται οι προεργασίες που προετοίμασαν τα δεδομένα για την εφαρμογή των κυρίων σταδίων της μεθοδολογίας (Βυθομετρικοί Χάρτες & Ταξινομήσεις). Επίσης, αναπτύσσονται τα στάδια για την υλοποίηση των κεντρικών παραγώγων της εργασίας (Παρατήρηση βυθομετρικών Μεταβολών & Ταξινόμηση γεωλογικών στοιχείων του πυθμένα). Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται όλα τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις παραπάνω διαδικασίες καθώς και υλοποιείται εκτενής αξιολόγησή τους. Τέλος, το Κεφάλαιο 5 περιλαμβάνει τα τελικά συμπεράσματα που εξήχθησαν από την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας και των επιμέρους τεχνικών καθώς και την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, ενώ ακολούθως δίνονται προτάσεις για μελλοντική εργασία βελτίωσης και επέκτασης πάνω στο αντικείμενο. Το τεύχος ολοκληρώνεται με την παράθεση της βιβλιογραφίας που αξιοποιήθηκε για την πραγματοποίηση της παρούσας εργασίας.

Κεφάλαιο 2: Θεωρητικό Υπόβαθρο και Ανάλυση Βιβλιογραφίας

2.1 Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας για τη Δημιουργία Μωσαϊκού

Στο παρόν εισαγωγικό κεφάλαιο, αναλύονται τα στάδια για τη δημιουργία ενός μωσαϊκού, από ακουστικά πολυδεσμικά δεδομένα και τη διαδικασία λήψης των πρωτογενών δεδομένων, βασιζόμενη σε δυο σχετικές μελέτες (Alexandre C. G. Schimel et al., (2018) & Leidos Corporation (2016)). Επιπρόσθετα, αναλύονται τα επιμέρους στάδια επεξεργασίας τους, προκειμένου να διευκολυνθεί η μετεπεξεργασία και η ανάλυσή τους με απώτερο στόχο τη δημιουργία ενός μωσαϊκού.

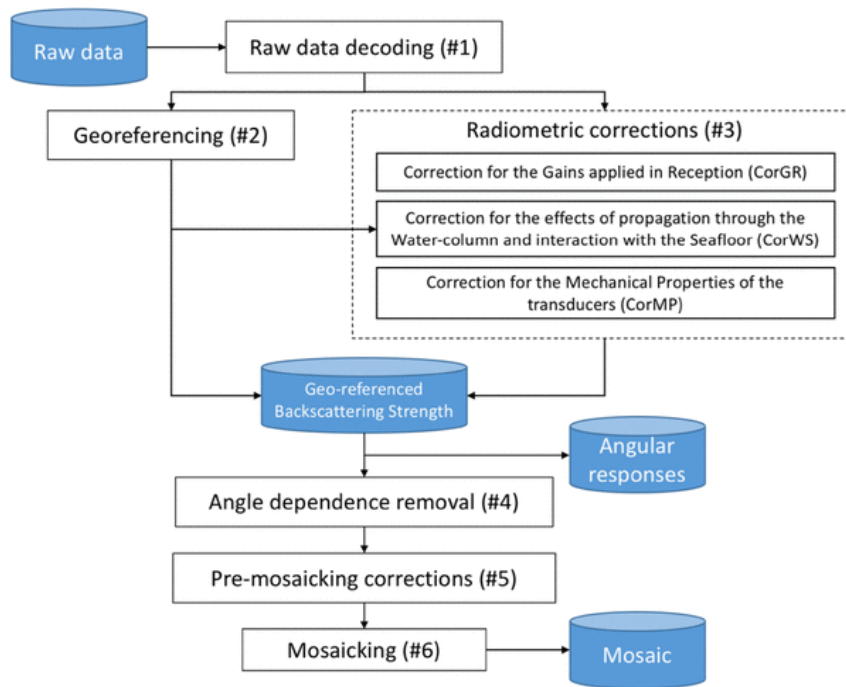
Αρχικά, ένα μωσαϊκό που δημιουργείται με τη μέθοδο της οπισθοσκέδασης, οδηγεί σε μια γεωαναφερμένη εικόνα, η οποία απεικονίζει την ένταση των ακουστικών κυμάτων. Αυτό συντελείται με χρήση των δεδομένων σε σχέση με τη γωνιακή απόκριση, που περιγράφει την μεταβολή της ακουστικής αντοχής με τη γωνία πρόσπτωσης του ακουστικού σήματος (Alexandre C. G. Schimel et al., (2018)). Ένα παράδειγμα μωσαϊκού και γωνιακών αποκρίσεων απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 1-Backscatter Mosaic and acoustic responses

Οι γωνιακές αποκρίσεις που χρησιμοποιούνται, υπολογίζονται για κάθε δόνηση ξεχωριστά και το τελικό αποτέλεσμα προκύπτει συνήθως ως ο μέσος όρος, όλων των δονήσεων. Έτσι, αρχικά αναλύοντας το μωσαϊκό, προκύπτει η μορφολογία του πυθμένα η οποία διαχωρίζει τις διαφορετικές διαβαθμίσεις των βυθομετρικών στοιχείων που παρουσιάζει ο πυθμένας. Μέσω των γωνιακών αποκρίσεων διαχωρίζονται τα διάφορα είδη σχημάτων στις καμπύλες τους (2d histograms).

Τα δεδομένα τα οποία έχουν συμβάλει στη δημιουργία του μωσαϊκού και οι αντίστοιχες γωνιακές αποκρίσεις τους, ονομάζονται πηγαία δεδομένα (οπτικά/πρωτογενή δεδομένα), που έχουν υποστεί μια διαδικασία επεξεργασίας, που διαφέρει κάθε φορά είτε σε τάξη, είτε σε επίπεδο λεπτομέρειας είτε σε μεθοδολογία. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής της εν λόγω διαδικασίας:



Εικόνα 2-The backscatter data processing chain

2.2 Αρχικά δεδομένα και Βιβλιοθήκη G.S.F. (Στάδιο 1^ο)

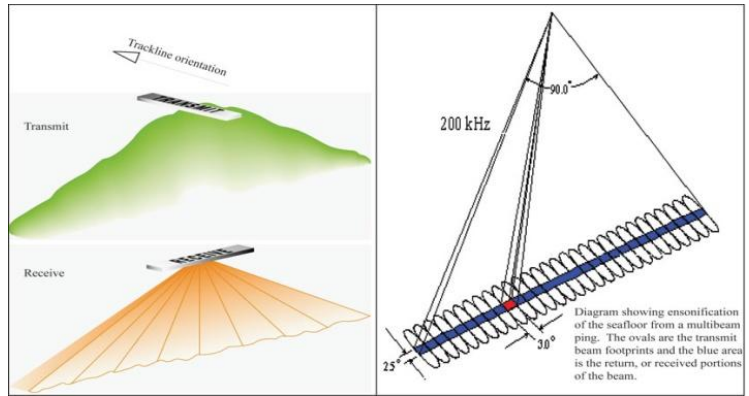
Το δεύτερο απαραίτητο στάδιο επεξεργασίας των αρχικών δεδομένων, αφορά στην «αποκωδικοποίηση» τους, όπως αναφέρει και ο τίτλος της συγκεκριμένης ενότητας.

Τα δεδομένα αυτά λαμβάνονται σε δυαδική μορφή (binary format). Στη συνέχεια, μετά από ειδική επεξεργασία «αποκωδικοποιούνται» σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Για τους περισσότερους κατασκευαστές τα δεδομένα αυτά μπορούν να καταγραφούν σε διάφορες μορφές. Η επικρατέστερη εξ'αυτών, είναι αυτή της καταγραφής μιας συγκεκριμένης τιμής για κάθε δέσμη ανάλογα με το χρόνο λήψης της (Alexandre C. G. Schimel et al., (2018)).

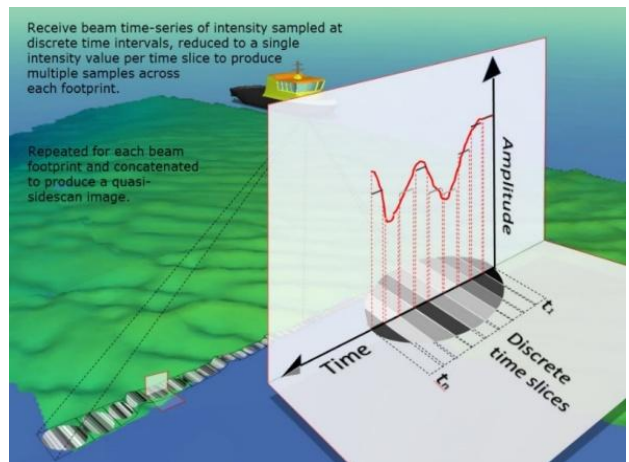
Όσον αφορά την πρώτη μέθοδο, η καταγραφείσα τιμή μπορεί είτε να είναι το πλάτος της οπισθοσκέδασης του δείγματος, που αντιστοιχεί στην ανίχνευση του πυθμένα, είτε υπολογίζεται από κοντινά δείγματα (π.χ. τον μέσο όρο των κοντινών τιμών) (Εικόνα 3).

Ως προς τη δεύτερη μέθοδο, αυτή της καταγραφής ανάλογα με τον χρόνο, η αποθήκευσή στη βάση, γίνεται ανάλογα με το χρόνο διάδοσης του παλμού από τον πυθμένα μέχρι το σημείο μετάδοσης και αυτή η καταγραφή γίνεται **για κάθε δέσμη ξεχωριστά**. (Εικόνα 4).

Παρακάτω παρουσιάζονται οι εικόνες που περιγράφουν τις προαναφερθείσες μεθόδους:



Εικόνα 3-Single Value per Beam

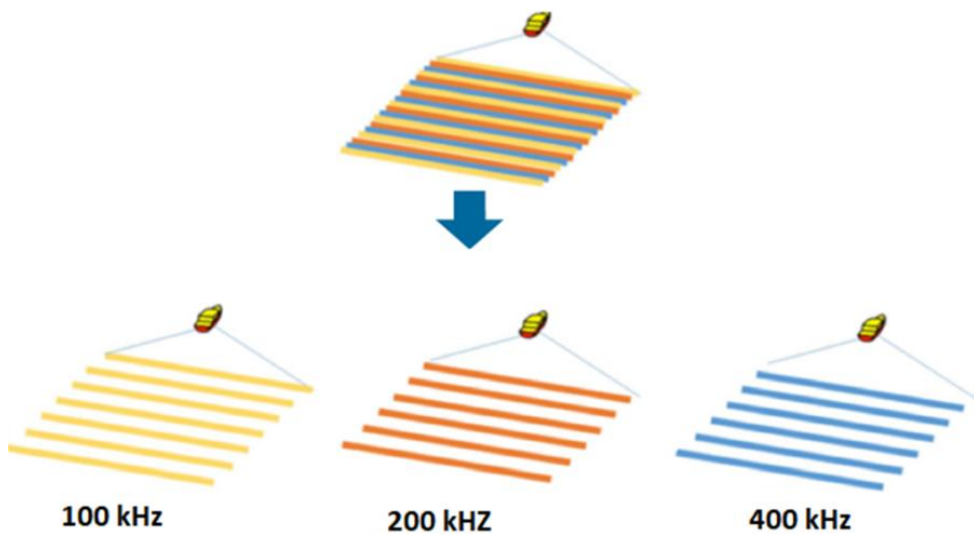


Εικόνα 4-Beam Time Series

Κάθε μέθοδος, χρησιμοποιείται ανάλογα με την έκδοση των sonar συστημάτων που εφαρμόστηκαν στην περιοχή, καθώς επίσης και με το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, τα πηγαία δεδομένα, πάρθηκαν από έναν επιστημονικό διαγωνισμό ονόματι **Multispectral Challenge 2017**, σε μορφή G.S.F. (Generic Sensor Format). Η ανάλυση της προαναφερθείσας μορφής παρουσιάζεται παρακάτω:

Αρχικά, να αναφερθεί πως τα πηγαία δεδομένα για κάθε περιοχή μελέτης ξεχωριστά δόθηκαν διαχωρισμένα σε τρεις συχνότητες καταγραφής (100, 200 & 400 kHz). Μια χαρακτηριστική εικόνα παρουσιάζεται παρακάτω:



Εικόνα 5: Διαχωρισμός πηγαίων δεδομένων σε ξεχωριστές συχνότητες καταγραφής

Συγκεκριμένα, λόγω της χρήσης συστημάτων σόναρ πολλαπλών δεσμών η αποτύπωση των δεδομένων έγινε με ταυτόχρονη καταγραφή και στις τρεις συχνότητες (άνω τμήμα Εικόνας 5). Στη συνέχεια το ενιαίο αυτό σήμα διαχωρίστηκε από τους κατασκευαστές (100, 200 & 400 kHz, κάτω τμήμα εικόνας 5) και δόθηκε στους χρήστες στην προαναφερθείσα μορφή (GSF), με σκοπό την επεξεργασία τους.

Αναλυτικά, ως προς τη παραπάνω μορφή αρχείων, αποτελεί μια παραλλαγή μιας άλλης, που έχει προέλθει από το τμήμα D.o.D.B.L. (Department of Defense Bathymetric Library) της Αμερικής, το οποίο ειδικεύεται στη καταγραφή βαθυμετρικών και υδρογραφικών στοιχείων/δεδομένων (Leidos Corporation (2016)). (Generic Sensor Format Specification). Υπάρχουν και άλλες βιβλιοθήκες, όπως για παράδειγμα η Defense Hydrographic Initiative (D.H.I.), Defense Mapping Agency (D.M.A), NAVOCEANO.

Οι λόγοι για τους οποίους προτιμήθηκε η βιβλιοθήκη (GSF) είναι οι εξής:

Αρχικά, η βιβλιοθήκη αυτή έχει τη δυνατότητα να επεξεργάζεται την πληροφορία που παράγεται από σύστημα γεωφυσικών μετρήσεων, είτε σε κανονικοποιημένη μορφή (raster) είτε σε διανυσματική (vector). Επίσης ο δέκτης χρησιμοποιεί όλη την πληροφορία που του είναι απαραίτητη, ώστε να υπολογίσει το βάθος, χωρίς να τεθεί απαραίτητο το στάδιο υπολογισμού της θέσης του σκάφους.

Η δομή αυτή δημιουργείται συνήθως από μια μορφή πολλαπλών δεσμών (multi-beam echo saunters), που καταγράφουν πολλαπλά δεδομένα από μια ορισμένη θέση, με αποτέλεσμα να είναι δυνατός ο υπολογισμός της γεωγραφικής θέσης.

Κάποια πλεονεκτήματα της G.S.F. βιβλιοθήκης, εκτός από τις προαναφερθείσες δυνατότητες, παρουσιάζονται παρακάτω:

Η GSF βιβλιοθήκη έχει τα πλεονεκτήματα να :

- Εξοικονομεί χώρο αποθήκευσης μέσω της δυαδικής μορφής που αποθηκεύει τα δεδομένα της
- Μειώνει τον όγκο κατά τη μεταφορά των δεδομένων
- Έχει τη δυνατότητα να ανακτά την πληροφορία, που ενδεχομένως να είχε χαθεί κατά την διαδικασία της μεταφοράς
- Το κύριο πλεονέκτημα της βιβλιοθήκης είναι ότι μπορεί να καταγράψει βαθυμετρικά δεδομένα και να τα αποθηκεύσει και σε μορφή εικόνας εκτός από νέφος σημείων (point cloud)
- Επίσης η συγκεκριμένη μορφή αρχείων είναι εύκολα επεξεργάσιμη και προσαρμόσιμη σε διάφορα προβλήματα. Έτσι μπορούν να ικανοποιηθούν οι ανάγκες μελλοντικών δεκτών σύγχρονης τεχνολογίας.

Όσον αφορά στα πλεονεκτήματα των δεδομένων που είναι μετασηματισμένα στη μορφή αυτή:

- Έχουν τη δυνατότητα μεταφοράς (φορητά) από το ένα σύστημα στο άλλο
- Είναι αποδοτικά σε μεγάλο όγκο αρχείων, αλλά επίσης υπάρχει δυνατότητα εύκολης και άμεσης πρόσβασης σε αυτά.
- Η μορφή στην οποία είναι αποθηκευμένα τα στοιχεία είναι εύκολα επεκτάσιμη, με σκοπό τα δεδομένα να μπορούν να προσαρμοστούν εύκολα σε νέους τύπους δεδομένων.

Πιο αναλυτικά, το πρώτο πλεονέκτημα (φορητότητα), είναι ένα σημαντικό θετικό στοιχείο καθώς οι χρήστες πολλές φορές έχουν την ανάγκη μεταφοράς μεγάλων σε όγκο αρχείων από μια πλατφόρμα σε μια άλλη. Η παραπάνω διαδικασία εξασφαλίζεται μέσω της μορφής αυτής (G.S.F.), η οποία υλοποιείται και σε μειωμένο χρόνο. Επιπροσθέτως, ως προς το δεύτερο θετικό στοιχείο που αναφέρθηκε, δηλαδή τη δυνατότητα επέκτασης των δεδομένων, αποτελεί ένα αρκετά ωφέλιμο στοιχείο, διότι λόγω της εποχής που βιώνει η κοινωνία σήμερα (ιλιγγιώδη ανάπτυξη της τεχνολογίας), υπάρχει η ανάγκη δημιουργίας μορφών δεδομένων που να έχουν τη δυνατότητα εύκολης μεταχείρισης και ευελιξίας σε νέα συστήματα (πολύπλοκα) και σε νέες τεχνολογίες (νέους αισθητήρες). Η δυνατότητα αυτή εξασφαλίζεται μέσω της μορφής G.S.F. Πρακτικό αποτέλεσμα του στοιχείου αυτού, είναι πως κατά την καταγραφή/ενημέρωση νέων δεδομένων που εισάγονται σε μια σειρά από προηγούμενων, δεν είναι απαραίτητη η συνεχής τροποποίησή τους.

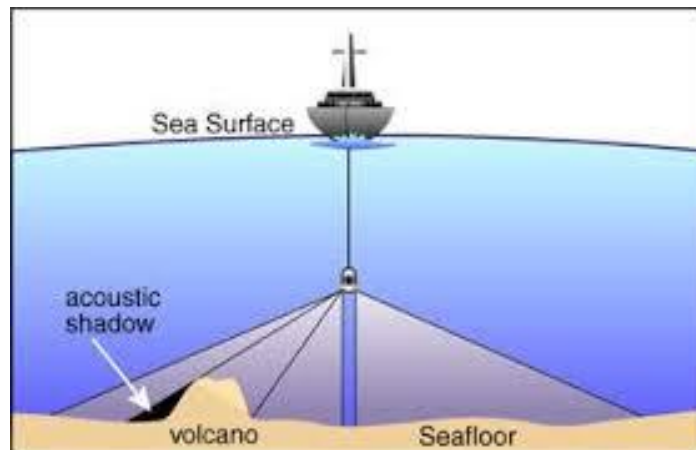
Στη συνέχεια, ως προς την αποδοτικότητα της μορφής (GSF), καθώς χρησιμοποιείται δυαδική κωδικοποίηση (binary format) μπορεί να αποδίδει ικανοποιητικά, σε χρόνο και σε πολυπλοκότητα, διαδικασίες επεξεργασίας μεγάλων δεδομένων (big data). Η μείωση του όγκου που εξασφαλίζει, (γύρω στο 40-50%)

οφείλεται στο γεγονός ότι τα δεδομένα αποθηκεύονται σε αριθμητική/δυναμική μορφή. Τέλος, εξασφαλίζεται η συνεκτικότητα μεταξύ των διαφόρων δεδομένων, διότι γίνεται χρήση μια ιδιότητας ονόματι «header», που εξασφαλίζει τη γρήγορη ταυτοποίηση από το δέκτη/αισθητήρα (Leidos Corporation, 2016).

2.3 Στάδιο 2^ο : Γεωαναφορά

Το δεύτερο στάδιο επεξεργασίας, περιλαμβάνει το σύνολο των διαδικασιών για τον υπολογισμό της γεωγραφικής θέσης για κάθε ληφθέν δείγμα. Κατά την καταγραφή των δεδομένων, οι βοηθητικοί αισθητήρες που διαθέτει το σύστημα, παρέχουν στον χρήστη, όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για τον υπολογισμό της γεωαναφοράς, συμπεριλαμβανομένης της θέσης του σκάφους, της στάσης του στο γεωγραφικό πλαίσιο, τη θέση του πομπού των κυμάτων, την γεωμετρία των δοκών καθώς και την ταχύτητα του ήχου στη στήλη νερού. Επομένως, αν τα δεδομένα που έχουν ληφθεί μέσω της οπισθοσκέδασης μπορούν να συνδυαστούν με την ανίχνευση πυθμένα σε κάθε δέσμη, τότε η επεξεργασία των δεδομένων βαθυμετρίας παρέχει απευθείας γεωαναφορά σε αυτά

Στην περίπτωση όπου παρατηρηθεί συνδυασμός δεδομένων από διαφορετικές πηγές προέλευσης, **απαιτείται συμπληρωματική επεξεργασία**, για την ολοκλήρωση του σταδίου της γεωαναφοράς. Όπως για παράδειγμα γεωμετρικές διορθώσεις (Craig J. Brown, Philippe Blondel (2008)).



Εικόνα 6-Sonar sidescan

2.3 Στάδιο 3^ο: Ραδιομετρικές διορθώσεις

Αφού υλοποιηθεί το στάδιο της γεωαναφοράς των δεδομένων, στη συνέχεια υλοποιείται η διαδικασία προσδιορισμού των ραδιομετρικών διορθώσεων.

Αρχικά, σκοπός της διαδικασίας αυτής, είναι να προκύψουν δεδομένα που θα είναι απαλλαγμένα από πιθανό θόρυβο. Τα πηγαία δεδομένα, κατά τη διαδικασία λήψης τους, δεν περιέχουν το επιθυμητό (επεξεργάσιμο) σήμα, το οποίο είναι απαλλαγμένο από σφάλματα, αλλά ένα σήμα που έχει διαφοροποιηθεί αρκετά από την αλληλεπίδρασή του με τη στήλη νερού (θαλασσινό νερό). Το επιθυμητό επίπεδο οπισθοσκέδασης, είναι αυτό της φυσικής δύναμης της οπισθοσκέδασης (meaningful backscattering strength BSf(β)), το οποίο εξαρτάται μόνο από την συχνότητα του συστήματος f, τη γωνία καταγραφής (β), καθώς και τη μορφολογία και σύσταση του πυθμένα (J.S. Collier et. al (2004)).

Αναλυτικά, το επίπεδο οπισθοσκέδασης που καταγράφεται στα αρχεία περιγράφεται από την σχέση:

$$BL_0 = SL - 2TL + TS + SH + PG$$

- SL: ακουστικό κύμα που προέρχεται από την πηγή

- TS: μέγεθος απώλειας κατά την διαδικασία μετάδοσης
- TL: ισχύς του σήματος κατά την επιστροφή του στο δέκτη
- SH: μέγεθος που περιγράφει την ευαισθησία λήψης
- PG: μέγεθος σήματος που εισάγεται τελικά στα μηχανήματα αποθήκευσης

Το **μέγεθος της οπισθοσκέδασης**, εξαρτάται άμεσα από την αντοχή του στόχου, αλλά όχι μόνο. Η αντοχή εξαρτάται και από την περιοχή, η οποία οπισθοσκεδάζεται (bsf , $BSf = 10\log_{10}bsf$), από την επιφάνεια dA του αντικειμένου που καταγράφεται κάθε φορά καθώς και από την κατεύθυνση της ακτίνας καταγραφής του παλμού (Alexandre C. G. Schimel et al., (2018)).

Επομένως η σχέση που υπολογίζει το μέγεθος της οπισθοσκέδασης παρουσιάζεται παρακάτω:

$$TS = 10 \times \log_{10} \int_A bsf(\beta) \times bP_T(\theta) \times bp_R(\theta) dA$$

Μια προσέγγιση της παραπάνω σχέσης υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$TS = BS_f(\beta) + 10 \log_{10} A$$

Επίσης, όπως προαναφέρθηκε, σημαντικό ρόλο λαμβάνει και η κατευθυντικότητα της ακτίνας καταγραφής, το μέγεθός της οποίας, υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$BL0 = SL + BP_T(\theta) - 2TL + BSf(\beta) + 10\log_{10}A + SH + BP_R(\theta) + PG$$

Όπου

BP_T, BP_R : είναι οι διαμορφωμένες κατευθυντικότητες του κύματος κατά την διαδικασία μετάδοσης και λήψης.

Με βάση την τελευταία εξίσωση, το μέγεθος $BSf(\beta)$ προκύπτει από την καταγεγραμμένη τιμή $BL0$ καθώς και από την διαδικασία επεξεργασίας του, όπου ορίζεται ως ραδιομετρική διόρθωση.

2.4 Στάδιο 4ο : Επιπλέον αναγκαίες διορθώσεις

Διόρθωση στοιχείων κατά την διαδικασία λήψης (CorGR)

Το στάδιο αυτό αφορά όλες τις αναλογικές και ψηφιακές τροποποιήσεις που γίνονται για την αντιστάθμιση του επιπέδου της οπισθοσκέδασης, που εφαρμόζονται από τη στιγμή της λήψης του σήματος μέχρι και το στάδιο καταγραφής των πρωτογενών δεδομένων.

Για παράδειγμα, στην περίπτωση μετατροπής του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι παράμετροι που αφορούν στη μορφοποίηση της δέσμης (beamforming), στη σκίαση συστοιχίας (array shading) καθώς και με στοιχεία που συνδέονται με το ίδιο το σήμα και την επεξεργασία του (signal processing).

Τα αναλογικά σήματα, χρησιμοποιούνται συνήθως στο σχεδιασμό, προκειμένου να ξεπεραστεί η αποσύνθεση της δύναμης του σήματος, σε σχέση με το χρόνο και το εύρος, με απώτερο σκοπό να διατηρηθεί το σήμα στην είσοδο του μετατροπέα (αναλογικού/ψηφιακού) στο δυναμικό του φάσμα. Η αποσύνθεση η οποία προαναφέρθηκε, λαμβάνεται υπόψη στην εξίσωση των συστημάτων SONAR, (κυρίως μέσω της παραμέτρου απώλειας μετάδοσης TL) και μπορεί να εντοπιστεί μέσω της επιθυμητής ραδιομετρικής διόρθωσης.

Ένα επίσης ωφέλιμο στοιχείο, είναι πως η ευελιξία μετατροπής των δεδομένων από ψηφιακή σε αναλογική μορφή και το αντίστροφο, δίνει τη δυνατότητα στους κατασκευαστές να ολοκληρώσουν τη ραδιομετρική διόρθωση που έχει ξεκινήσει από το αναλογικό σήμα (TVG).

Στο ένα άκρο του σήματος, η απλούστερη εφαρμογή προσεγγίζεται μέσω της παρακάτω εξίσωσης:

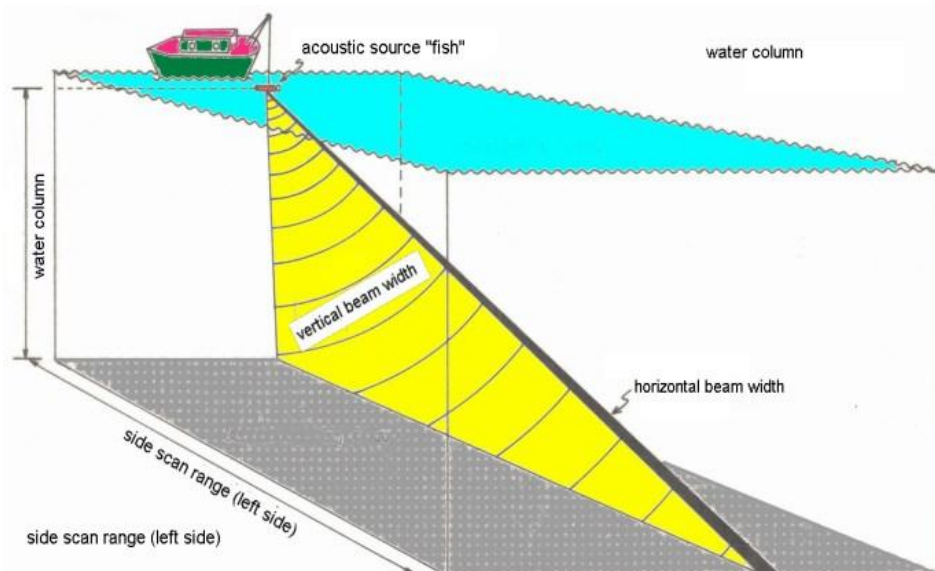
$$PG(t) = K_1 \log_{10}(t) + K_2 t + K_3$$

Όπου:

t: χρόνος υποδοχής

K1,K2,K3: σταθεροί όροι που καθορίζονται μόνιμα από το υλικό, ή μπορούν να τροποποιηθούν ανάλογα με το λογισμικό που χρησιμοποιεί ο εκάστοτε χρήστης σε κάθε περίπτωση.

Στο άλλο άκρο του σήματος, η διαδικασία επεξεργασίας είναι αρκετά περίπλοκη και το σήμα δέχεται μια πλήρη ραδιομετρική διόρθωση (full radiometric correction). Όπως για παράδειγμα, είτε διορθώσεις που αφορούν απώλειες μετάδοσης, είτε διορθώσεις που έχουν να κάνουν με τη γωνιακή εξάρτηση που επηρεάζεται από το θαλάσσιο περιβάλλον. Για το λόγο αυτό, κατά τη διαδικασία επεξεργασίας λαμβάνονται υπόψη παράμετροι που διαφέρουν σε σχέση με τον τρόπο λειτουργίας του κάθε συστήματος. Όπως για παράδειγμα, το μήκος του παλμού (pulse length), το σήμα (ring), η συχνότητα εκπομπής (frequency), το πλάτος της δέσμης (beam width) και ο συντελεστής απορρόφησης (absorption coefficient), (D. Ierodiakonou et. al, (2009)).



Εικόνα 7-Σχηματική απεικόνιση του πλάτους δέσμης, στήλης νερού κλπ.

Ένα παράδειγμα είναι τα συστήματα T.V.G., που έχουν το μειονέκτημα ότι είναι αρκετά περίπλοκα, αλλά έχουν τη δυνατότητα καταγραφής στα συστήματά τους ενός επιπέδου BLO, το οποίο προσεγγίζει αρκετά το επιθυμητό (BS). Αυτό παρέχει τη δυνατότητα υπολογισμού ακριβέστερων ραδιομετρικών διορθώσεων. Επίσης να τονιστεί πως κατά την επεξεργασία ενός σήματος, απαραίτητο στάδιο είναι η εφαρμογή φίλτρων εξομάλυνσης (matched-filter processing), με απώτερο σκοπό την εξάλειψη, στο βαθμό που είναι εφικτό, του τμήματος εκείνου όπου το σήμα εξασθενεί, μέχρι το σημείο πλήρους αποδυνάμωσής του.

Επομένως, ανεξαρτήτως του επιπέδου πολυπλοκότητας του συστήματος, προτιμάται η υλοποίηση μιας διαδικασίας προεπεξεργασίας στα δεδομένα, με στόχο την αφαίρεση των προαναφερθέντων στοιχείων. Η αναλογική φύση τους τα κάνει επιρρεπή στο στάδιο του σχεδιασμού και της υλοποίησης του υλικού, διότι λόγω της παρόδου του χρόνου, τα εξαρτήματα έχουν υποστεί αλλοίωση.

Μια πιθανή λύση για αυτό το πρόβλημα, είναι να μετρηθούν από τους κατασκευαστές τα αδύναμα στοιχεία του σήματος υπό όλους τους πιθανούς συνδυασμούς, τρόπους και παραμέτρους. Οι κατασκευαστές θα πρέπει να αντιμετωπίσουν το πρόβλημα της πολυπλοκότητας των συγκεκριμένων σημάτων (αδύναμων). Στόχος θα πρέπει να είναι η εξάλειψή των αδύναμων, σε ισχύ, σημάτων ώστε να διευκολυνθεί η διεξαγωγή των μετέπειτα διαδικασιών. Συγκεκριμένα, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη, όλες οι λεπτομέρειες που περιέχει

η βιβλιογραφία και να υλοποιηθούν εμπειρικές μέθοδοι στις μετρήσεις, για να εξαλειφθούν τα αδύναμα στοιχεία αυτά (Craig J. Brown et. Al, (2011)).

Στην περίπτωση όπου αυτά εξαλειφθούν πλήρως με επιτυχία, το αποτέλεσμα του επιπέδου της οπισθοσκέδασης θα είναι και το επιθυμητό και ονομάζεται επίπεδο λήψης (Received Level), το οποίο υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$BL_1 = BL_0 - PG = SL + BP_T(\theta) - 2TL + BS_F(\beta) + 10 \log_{10} A + SH + BP_R(\theta)$$

Διόρθωση του σήματος από τα σφάλματα της στήλης νερού αλλά και από τις επιδράσεις του θαλασσινού νερού (CorWS)

Η συγκεκριμένη υποενοότητα, περιγράφει, όπως αναφέρει και ο τίτλος της, όλες τις ενέργειες που ακολουθούνται και εφαρμόζονται προκειμένου το σήμα να διορθωθεί από πιθανά σφάλματα τα οποία έχουν προέλθει από τη στήλη νερού, αλλά και από τις μεταβολές/σφάλματα του θαλασσινού νερού που έχουν επηρεάσει τα πρωτογενή δεδομένα.

Αναλυτικότερα, συνδέεται με την αντιστάθμιση του επιπέδου της οπισθοσκέδασης από τις προβλεπόμενες μεταβολές του περιβάλλοντος που θα επηρεάσουν τον υποθαλάσσιο παλμό. Τέτοια φαινόμενα είναι:

- Σφάλματα μετάδοσης από την στήλη νερού
- Σφάλματα στο πλάτος της δέσμης αλλά και της ισχύος/δύναμης του παλμού στο όριο αυτό

Επομένως, τα δεδομένα υπόκεινται σε κάποιες διορθώσεις, εφαρμόζοντας ειδικά λογισμικά, με στόχο την εξάλειψη των προαναφερθέντων σφαλμάτων. Τα λογισμικά αυτά περιέχουν διάφορα επίπεδα διόρθωσης, ανάλογα με τις απαιτήσεις σε επίπεδο ακρίβειας αλλά και ταχύτητας. Πιο ειδικά, **τα σφάλματα μετάδοσης** σχετίζονται με μεταβολές και απώλειες λόγω των γεωμετρικών διαδόσεων αλλά και εξ' αιτίας της απορρόφησης του νερού. Και τα δυο εν λόγω στοιχεία, εξαρτώνται από το διάστημα R (μετριέται σε m) που υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$R = \frac{ct}{2}$$

$$TL = 20 \log_{10}(R) + aR$$

Όπου:

c: είναι η ταχύτητα του ήχου (m/s)

t: ο χρόνος λήψης (s)

a: συντελεστής απορρόφησης

Αναλυτικά, η ταχύτητα του ήχου, καθώς επίσης και ο συντελεστής απορρόφησης, εξαρτώνται από τη θερμοκρασία, την αλατότητα, την πίεση και το pH. Οι τιμές των εν λόγω παραμέτρων εξαρτώνται από τη γεωγραφική θέση, το χρόνο λήψης αλλά και το βάθος. Χρησιμοποιώντας μεθόδους υψηλής ακρίβειας, υπολογίζεται η ταχύτητα του ήχου, μέσω της μεταβλητής του βάθους, αλλά και η εμβέλεια (για κάθε δείγμα του χρόνου), (Tardos, J.D et al. (2002).

Στη συνέχεια, υπολογίζεται με ακρίβεια η απορρόφηση του νερού μέσα από το βάθος, καθώς και η χρονική διάρκεια που ταξιδεύει το σήμα ακολουθώντας το μονοπάτι που έχει διανύσει. Έτσι, ο προσδιορισμός των θέσεων και χρόνων είναι εφικτός, διότι η συχνή καταγραφή των προφίλ ταχυτήτων ήχου είναι μέρος της διαδικασίας των πολλαπλών δεσμών (multibeam sonar). Παρόλα αυτά, είναι σημαντικό να αναφερθεί πως πολλές φορές ο συντελεστής απορρόφησης δεν λαμβάνεται υπόψη στις μετρήσεις.

Οι συντελεστές απορρόφησης υπολογίζονται από προφίλ αγωγιμότητας, αλατότητας αλλά και θερμοκρασίας που έχουν παρθεί κατά τη διαδικασία καταγραφής (και τα προφίλ θερμοκρασίας αποτελούν ένα πρόσθετο κομμάτι στα προφίλ της ταχύτητας του ήχου). Γενικά, να τονιστεί πως η παράλειψη τους από τις μετρήσεις και η αποφυγή διόρθωσής τους, είναι ακόμη ένα μείζον θέμα (Alexandre C. G. Schimel et al. (2018)).

Περισσότερο από το βάθος, ο συντελεστής απορρόφησης εξαρτάται άμεσα και από τη συχνότητα. Αυτή η εξάρτηση ισχύει εντονότερα σήμερα, με τα σύγχρονα συστήματα πολλαπλών δεσμών (multibeam sonar). Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό καθώς αυτά σχεδιάζονται ολοένα και περισσότερο για να εφαρμόζονται μεταβλητές συχνότητες μεταξύ διαφορετικών αρχείων ή μεταδιδόμενων τομέων.

Όταν μια δέσμη ακουστικού σήματος έρθει σε επαφή με κάποιο σημείο του πυθμένα, τότε το σήμα εκείνη τη στιγμή καταγράφει ένα εμβαδό ανάλογο με το πλάτος της δέσμης. Θεωρητικά αυτή η έκταση αποτελεί το πάτημα, κατά κάποιο τρόπο, του παλμού στον πυθμένα σε χρόνο $t/2$, που είναι ένας δακτύλιος διαμορφωμένος στο διάστημα διάδοσης του παλμού. Η εν λόγω περιοχή περιορίζεται από το πλάτος της δέσμης στην κατεύθυνση της τροχιάς και στην κατεύθυνση της εγκάρσιας διαδρομής για δέσμες με σχεδόν κανονική επίπτωση, αλλά και από το πλάτος του παλμού κατά την εγκάρσια διαδρομή και διεύθυνσή του. Μια πιο ρεαλιστική προσέγγιση είναι να πραγματοποιηθεί προσπάθεια καταγραφής της κλίσης του πυθμένα και της μορφολογίας του, η οποία θα προκύψει/υπολογιστεί από διπλανούς ακουστικούς παλμούς και σήματα, ή προσεγγιστικά από βαθυμετρικά μοντέλα. Τέλος, η πλέον ρεαλιστική μέθοδος είναι να πραγματοποιηθεί αποτύπωση τριών διαστάσεων της περιοχής, βασισμένη στην κίνηση του σκάφους, λαμβάνοντας υπόψη τη πλήρη διάθλασή του σήματος στη στήλη του νερού αλλά και το τρισδιάστατο διανυσματικό μοντέλο του πυθμένα στη περιοχή μελέτης.

Επίσης, αυτές οι διορθώσεις εξαρτώνται άμεσα από το μήκος του παλμού αλλά και από το πλάτος του. Για παράδειγμα, οι τελικές τιμές που καταγράφονται στον αισθητήρα (οι οποίες διαφοροποιούνται από τις πραγματικές), ορίζονται από τους κατασκευαστές και εισέρχονται έμμεσα στα δεδομένα καταγραφής. Ιδιαίτερα, το μήκος παλμού επηρεάζεται έντονα από τη μείωση των παλμών, τη δειγματοληψία και τη συνάρτηση μεταφοράς, όπου συχνά μπορεί να καταγραφεί και ως άγνωστη. Σε αυτή την περίπτωση, τοποθετείται μια θεωρητική τιμή, η οποία εισάγει μια αβεβαιότητα, που είναι ανάλογη με το μέγεθος της διαφοράς. Για παράδειγμα, ένα πραγματικό μήκος που είναι το μισό της πραγματικής απόστασης, λαμβάνει ως τιμή $10 \log_{10}(0.5) = \sim 3dB$. Όον αφορά το πλάτος δέσμης, τυπικά ποικίλει ανάλογα με τη συχνότητα καταγραφής, η οποία συνδέεται άμεσα με τα πολυδεσμικά συστήματα (Multi-sector systems).

Σε μια διαδικασία καταγραφής δεδομένων, αν (α) τα αδύναμα στοιχεία του σήματος (αυτά που δεν έχουν ισχύ και είναι περιττά) αφαιρεθούν με κάποιο τρόπο από την συνολική καταγραφή, (β) πραγματοποιηθεί διόρθωση στα δεδομένα ως προς τα σφάλματα μετάδοσης και (γ) γίνει μια αντιστάθμιση των αδύναμων υποπεριοχών της περιοχής μελέτης, τότε το επίπεδο/αποτέλεσμα που θα προκύψει καταγράφεται ως BL₂. Αυτό εξαρτάται μόνο από την ισχύ της οπισθοσκέδασης του πυθμένα αλλά και από τα μηχανικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα/μετατροπέα στην διαδικασία μετάδοσης αλλά και υποδοχής των δεδομένων.

$$BL_2 = BL_1 - [-2TL + 10 \log_{10} A] = SL + BP_T(\theta) + BS_f(\beta) + SH + BP_R(\theta)$$

Διόρθωση μηχανικών ιδιοτήτων στους μετατροπέις (Correction for the mechanical properties of the transducers)

Η συγκεκριμένη υποενότητα, περιγράφει το σύνολο των ενεργειών/ρυθμίσεων που λαμβάνονται υπόψη στα μηχανικά χαρακτηριστικά των μετατροπέων. Τέτοιες ενέργειες είναι:

- Κατά την μετάδοση, η ισχύς στο διαμορφωμένο ακουστικό άξονα
- Κατά τη στιγμή της λήψης, η αποτελεσματικότητα της ακουστικής διαδικασίας σε ηλεκτρονική μετατροπή της συστοιχίας των λήψεων, η οποία διαμορφώνεται από το μοτίβο της δέσμης.

Τα παραπάνω περιγράφονται από τις εξής μεταβλητές: SL, BP_T(θ), SH και BP_R(θ)

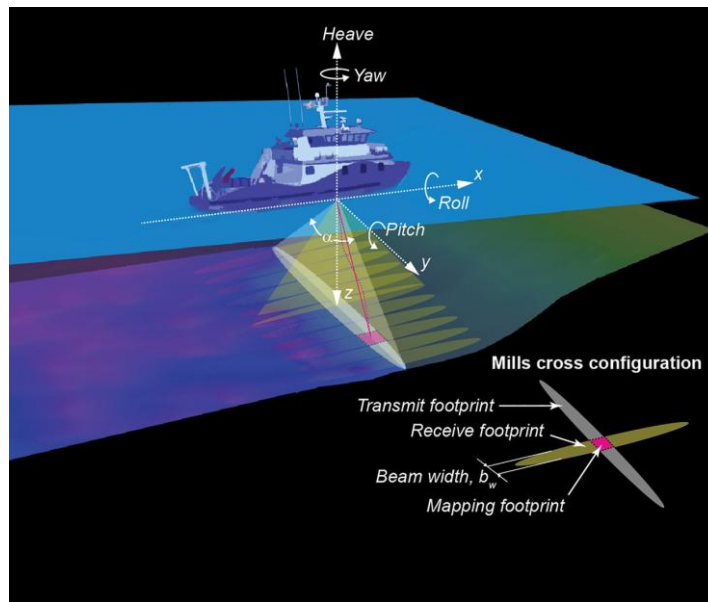
Με την έννοια πηγαία πληροφορία, νοείται το σύνολο των δεδομένων που περιέχουν εκτός από το καθαρό σήμα και περιττή πληροφορία. Στο αρχικό στάδιο υλοποίησης των ραδιομετρικών διορθώσεων, γίνεται ο διαχωρισμός του καθαρού σήματος από το συνολικό (αποσπώντας στην ουσία τα περιττά τμήματά του). Συγκεκριμένα, από τους κατασκευαστές καταγράφεται ένα ονομαστικό/αρχικό επίπεδο για τα διάφορα μοντέλα Sonar που χρησιμοποιήθηκαν ή για τις διαφορετικές ρυθμίσεις που πραγματοποιήθηκαν. Τα

λογισμικά απόκτησης των δεδομένων αυτών παρέχουν τη δυνατότητα επιλογής στο χρήστη του πηγαίου επίπεδου ή αλλιώς το μέγεθος ισχύος καταγραφής, με απώτερο στόχο την καταγραφή της επιθυμητής πληροφορίας. Παρόλα αυτά, πολλές φορές η ακρίβεια της είναι περιορισμένη, διότι παρατηρείται απόκλιση μεταξύ της σχεδίασης του πηγαίου επιπέδου και της πραγματικότητας. Για αυτό το λόγο αναγράφονται στις μετρήσεις και τα αντίστοιχα σφάλματά τους.

Έτσι, τα συνδυασμένα μοντέλα δέσμης που χρησιμοποιούνται, είναι συνήθως διαφορετικά από εκείνα των μεμονωμένων συστημάτων, καθώς η κατασκευή τους αλλά και τα ηλεκτρονικά τους συστήματα ενδέχεται να διαφέρουν κατά τον σχεδιασμό. Σε κάθε περίπτωση όμως, τα μηχανήματα και οι δυνατότητές τους, μειώνονται μέσα στον χρόνο, το οποίο μπορεί να επηρεάσει όλους τους παράγοντες καταγραφής σημαντικά. Ιδανικά, τα εξαρτήματα των συστημάτων πρέπει να ελέγχονται καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας τους. Συγκεκριμένα, είναι υποχρεωτικό να πραγματοποιείται έλεγχος από τη στιγμή αγοράς τους αλλά και μετά τη λειτουργία τους, ώστε να ελέγχεται η ακρίβεια του συστήματος και το αν -και κατά πόσο- αυτή μεταβάλλεται στο χρόνο. Η διαδικασία μέτρησης της συνδυασμένης επίδρασης SL, BPr(θ), SH και BPr(θ) καλείται καλιμπράρισμα (calibration) και το αποτέλεσμά της, πρότυπο δέσμης (beam pattern).

Υπάρχουν κάποιες πρότυπες διαδικασίες βαθμονόμησης (calibration) ειδικά για τα συστήματα Sonar, όπου πραγματοποιείται καταγραφή ενός στόχου γνωστής δύναμης. Αυτά τα πρότυπα συνήθως χρησιμοποιούνται για ακτινοβολητές μονής δέσμης (single-beam) και διαχωριζόμενης δέσμης (split-beam) αλλά πολύ πιο δύσκολα για ακτινοβολητές πολλαπλών δεσμών (multi-beam), λόγω του μεγάλου γωνιακού πλέγματος. Παρόλα αυτά υπάρχουν διαδικασίες βαθμονόμησης και για τις πολλαπλές δέσμες, χρησιμοποιώντας ειδικές σφαίρες/στόχους. Εκτός όμως από αυτές, εφαρμόζονται πληθώρα τεχνικές βαθμονόμησης για την μέθοδο με χρήση πολλαπλών δεσμών σε ένα πεδίο, με μοναδικό και κύριο πρόβλημα αυτό της παραλλαγής της δέσμης λόγω της παλινδρόμησης της θάλασσας, όπου η δύναμη με τη γωνία πρόσπτωσης συγχέουν τη μέτρηση των σχημάτων, τα οποία ποικίλουν ανάλογα με την γωνία μετάδοσης. Η λύση, είναι να πραγματοποιηθεί μια αρχική καταγραφή ενός ομαλού πυθμένα χρησιμοποιώντας τα μοντέλα BS, και να εξαχθεί το πρότυπο μοντέλο δέσμης. Το αποτέλεσμα που θα προκύψει, συγκρίνεται με πληθώρα σε αριθμό είδη πυθμένων. Το τελικό πρότυπο προκύπτει ως ένας συνδυασμός των προαναφερθέντων, χωρίς να εφαρμοστεί πιθανόν διόρθωση μέσω των μοντέλων BS (Alexandre C. G. Schimel et al. (2018)). Μία άλλη μεθοδολογία, σύγχρονη, χρησιμοποιεί δεδομένα που εμπεριέχουν και περιστροφική κίνηση κατά τον διαμήκη άξονα (άξονας x). Υπό τέτοιες καταστάσεις, χρησιμοποιώντας μια μικρή περιοχή ομοιογενούς πυθμένα, η γωνία που σχηματίζει ο πυθμένας με την εφαπτόμενη σε αυτόν (grazing angle) δεν υφίσταται, και έτσι η μόνη γωνία που λαμβάνεται υπόψη είναι αυτή της μετάδοσης/λήψης. Έτσι δημιουργούνται σχέδια κατά μήκος της λωρίδας του πυθμένα χωρίς αντιστάθμιση της αντοχής της οπισθοσκέδασης.

Να σημειωθεί, πως οι περιστροφικές κινήσεις του σκάφους κατά τους άξονες (x,y & z) (roll, pitch, yaw) (Εικόνα 8) στα σύγχρονα συστήματα καταγραφής, με την μέθοδο των πολλαπλών δεσμών, επηρεάζουν τα μοντέλα δέσμης (beam patterns).



Εικόνα 8- Σφάλματα λόγω μη σταθεροποίησης του σκάφους κατά τους άξονες x, y, z

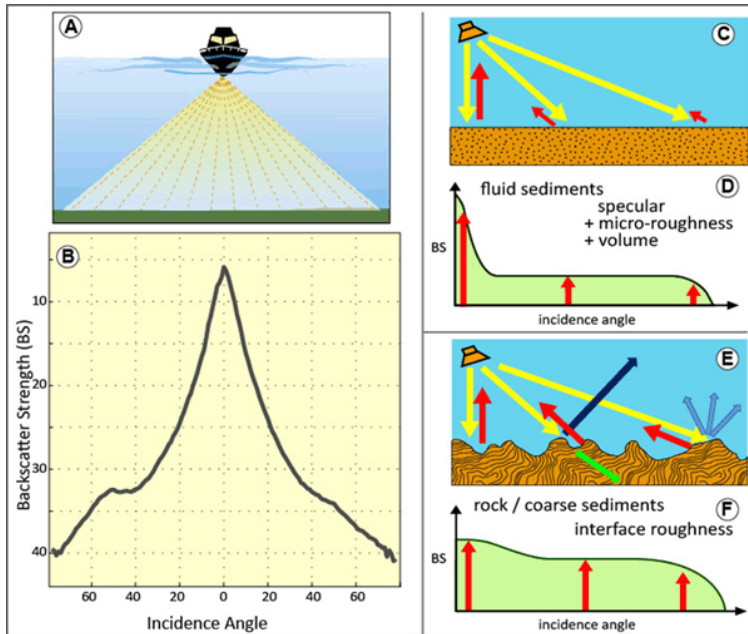
Για τα συστήματα χωρίς σταθεροποίηση, τα πρότυπα δέσμης μπορούν να μετρηθούν σε γωνίες, σε σχέση με τον ακουστικό άξονα του ηχοενισχυτή. Για τα σταθερά συστήματα, τα μοντέλα δέσμης μετριοούνται σε γωνίες σε σχέση με την κατακόρυφο άξονα, μέσα στα όρια σταθεροποίησης του συστήματος αλλά και των ικανοτήτων του. Ως προς τα συστήματα που χρησιμοποιούνται, τα περισσότερα λογισμικά μπορούν να εφαρμόσουν μια διόρθωση στις μετρήσεις, χρησιμοποιώντας μια από τις παραπάνω μεθόδους (ανάλογα και το λογισμικό), ώστε να εκτιμηθεί εμπειρικά το αποτέλεσμα που έχει προκύψει από διάφορους συνδυασμούς. Τέλος, ένα επιπρόσθετο πλεονέκτημα της διαδικασίας αυτής, είναι πως γίνεται αντιστάθμιση των σταθερών όρων στα αδύναμα στοιχεία του σήματος (gain), που μπορεί να μην έχουν εξαλειφθεί κατά την διάρκεια εφαρμογής των ραδιομετρικών διορθώσεων. Συνοψίζοντας, η εξίσωση που λαμβάνει υπόψη της όλες τις ραδιομετρικές διορθώσεις αλλά και τη βαθμονόμηση των συστημάτων παρουσιάζεται παρακάτω:

$$BL_3 = BL_2 - [SL - BP_T(\theta) + SH + BP_R(\theta)] = BS_f(\beta)$$

2.5 Στάδιο 5ο : Αφαίρεση της εξαρτώμενης γωνίας

Το στάδιο αυτό, αφορά όλες τις απαιτούμενες ενέργειες, κατά τις οποίες πραγματοποιείται εξάλειψη της γωνίας εξάρτησης, δηλαδή της γωνίας πρόσπτωσης στο θαλασσινό νερό.

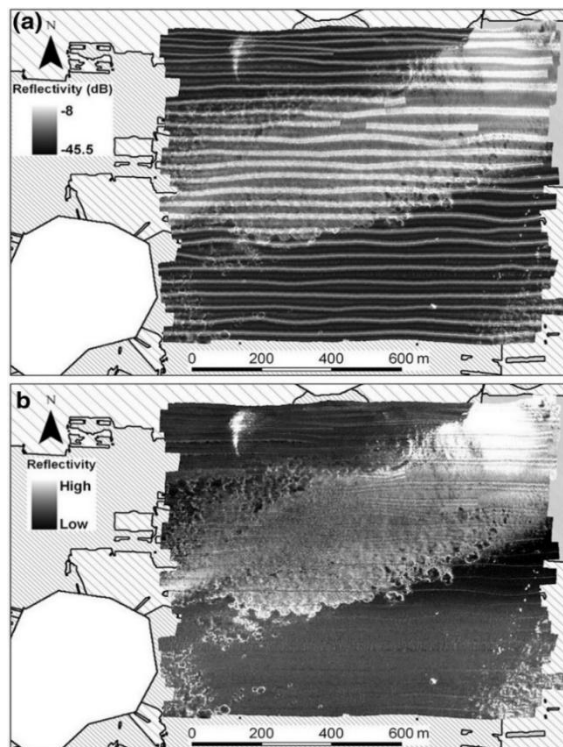
Όπως αναφέρθηκε και αναλυτικά στις προηγούμενες υποενότητες, κατά τη διαδικασία καταγραφής/χαρτογράφησης, με τη μέθοδο της οπισθοσκέδασης, είναι απαραίτητο τα πρωτογενή δεδομένα να περάσουν από κάποια προεπεξεργασία, πριν αυτά αποθηκευτούν στις βάσεις δεδομένων και καταγραφής. Η πρώτη και βασική διαδικασία επεξεργασίας είναι αυτή των ραδιομετρικών διορθώσεων στα δεδομένα. Η δεύτερη πιο βασική διαδικασία, είναι αυτή της αφαίρεσης της γωνίας εξάρτησης από την διαδικασία αποτύπωσης, διότι προσθέτει στο τελικό οπτικό αποτέλεσμα αρκετά προβλήματα, όπως ισχυρές ραβδώσεις, προσανατολισμένες κατά μήκος της διαδρομής του σκάφους, που εμποδίζουν την οπτική ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Επίσης, επηρεάζονται και οι αλγόριθμοι που είναι εκπαιδευμένοι με στόχο να επεξεργάζονται την εικόνα ενδιαφέροντος. Έτσι, κατά τη διαδικασία δημιουργίας του μωσαϊκού της περιοχής μελέτης, χρησιμοποιώντας τα BS συστήματα, απαραίτητο στάδιο αποτελεί η εξάλειψη της γωνίας εξάρτησης από το σύστημα (Εικόνα 9) (Daniel Ierodionomou et al. (2017)).



Εικόνα 9-Γωνία εξάρτησης και πως αυτή εξαλείφεται

Στην Εικόνα 9 παρουσιάζεται (α), η κατά μήκος διαδρομή που διανύει το σκάφος και (β) σε διαγραμματική μορφή, η επίπτωση της γωνίας εξάρτησης σε σχέση με τη δύναμη της οπισθοσκέδασης. Τέλος, στο δεξιό τμήμα της εικόνας (C, D, E, F), γίνεται αντιληπτό πως η γωνία πρόσπτωσης επηρεάζεται ανάλογα τη μορφολογία του πυθμένα και κατά πόσο αυτή μεταβάλλεται και μεταβάλλει τα συστήματα BS.

Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 10), αποτυπώνεται ένα από τα σφάλματα που προαναφέρθηκαν από τη μη απαλειφή της γωνίας κατά την διαδικασία ένταξης των δεδομένων στην βάση:



Εικόνα 10 - Ύπαρξη ραβδώσεων από την μη σωστή εξαίλιση της γωνίας εξάρτησης

Για την επίτευξη του επιθυμητού αποτελέσματος, απαραίτητο προπαρασκευαστικό στάδιο είναι αυτό της αντικατάστασης της τιμής της γωνίας εξάρτησης με μια άλλη, που να αναπαριστά τη στιγμιαία μεταβολή, σε

επίπεδο οπισθοσκέδασης, ξεκινώντας από το μέσο όρο και καταλήγοντας κλιμακωτά στη γωνία αναφοράς. Για την υλοποίηση της παραπάνω διαδικασίας υπάρχουν δυο βασικοί τρόποι αντιμετώπισης. Από τη μια μεριά, να εφαρμοστεί η μεθοδολογία που προαναφέρθηκε, δημιουργώντας με αυτόν το τρόπο την αναμενόμενη καμπύλη. Στον αντίποδα, να επιλεγεί μια γωνία ή ένα γωνιακό διάστημα το οποίο θα αποτελεί το σημείο αναφοράς.

Αναλυτικά, όσον αφορά την πρώτη επιλογή, γενικές γωνιακές αποκρίσεις μετρήθηκαν για τυπικά είδη πυθμένων, ή δημιουργήθηκαν από μοντέλα, που πιθανόν να είναι κατάλληλα για τη δημιουργία της αναμενόμενης καμπύλης. Παρόλα αυτά, στα περισσότερα σετ δεδομένων πεδίου, τόσο ο τύπος θαλάσσης όσο και η χωρική μεταβλητότητά του είναι άγνωστοι, καθιστώντας έτσι την παραπάνω προσέγγιση ανεφάρμοστη. Συνήθως, η αναμενόμενη καμπύλη δημιουργείται από τα ίδια τα δεδομένα και πιο συγκεκριμένα υπολογίζοντας τη μέση τιμή από το επίπεδο της οπισθοσκέδασης, από ένα τμήμα των δεδομένων. Σε αυτή την περίπτωση, μια τιμή κατωφλιού (threshold) ορίζει το υποσύνολο εκείνο, που θα λάβει μέρος στην εξαγωγή της αναμενόμενης καμπύλης. Όσο μεγαλύτερο είναι αυτό το υποσύνολο, τόσο πιο πιθανό είναι να ξεπεραστεί η στατιστική μεταβολή των δεδομένων και έτσι να εξαλειφθούν τα σφάλματα του σκάφους κατά την πορεία του. Το πρόβλημα που δημιουργείται, είναι ότι αρκετές φορές εντοπίζονται επικαλύψεις μεταξύ διαφορετικών ειδών (μορφολογίας) πυθμένων αλλά και συγχώνευση μεταξύ των γωνιακών αποκρίσεων, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται ψευδή αντικείμενα (artifacts) κατά την οπτική παρατήρηση των εικόνων. Αυτό εντοπίζεται ιδιαίτερα στις περιοχές μετάβασης, μεταξύ διαφορετικών τύπων θαλάσσιων πυθμένων. Στην αντίθετη όμως περίπτωση, όπου χρησιμοποιείται ένα πολύ μικρό δείγμα της συνολικής βάσης δεδομένων, ελαχιστοποιούνται τα αντικείμενα αναγνώρισης και δεν πραγματοποιείται εξάλειψη των σφαλμάτων που προξενούνται από την κίνηση του σκάφους.

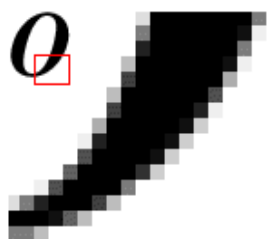
Για την σωστή αντιμετώπιση του θέματος, έχουν αναπτυχθεί αρκετές μελέτες. Κάποιες έχουν βασιστεί σε ένα υποσύνολο δεδομένων που έχει επιλεγεί σύμφωνα με τα δεδομένα που πρόκειται να διορθωθούν. Στις περισσότερες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται δεδομένα από κάθε γραμμή καταγραφής, ώστε να σχηματιστεί μια καμπύλη, για τη διόρθωση των δεδομένων αυτών στη τρέχουσα γραμμή. Η πιο συνηθισμένη μέθοδος, είναι να σχηματιστεί μια μορφή καμπύλης από μια σειρά διαδοχικών rings, όπου μέσω αυτών, να δημιουργηθεί ένα κινούμενο παράθυρο που εμπεριέχει αυτά τα σήματα (rings) διορθωμένα. Η μέθοδος αυτή, παρουσιάζει το πλεονέκτημα ότι παρέχει τη δυνατότητα στους χειριστές να προσαρμόζουν οι ίδιοι το μέγεθος του παραθύρου τους, με απώτερο σκοπό τη βελτίωση του τελικού αποτελέσματος.

Τέλος, όσον αφορά τη γωνία εξάρτησης, τα λογισμικά που χρησιμοποιούνται συνήθως δέχονται κάποιες παραμέτρους εισαγωγής, ανάλογα το μέγεθος της εξαρτώμενης γωνίας που υπάρχει σε κάθε περίπτωση. Αυτές, ορίζονται κάθε φορά από τον χρήστη, ανάλογα με το μέγεθος της γωνίας εξάρτησης που παρουσιάζει η μέθοδος καταγραφής, με σκοπό όσον το δυνατόν περισσότερο, την ελαχιστοποίησή της. Να τονιστεί στο σημείο αυτό πως έχει παρατηρηθεί ότι οι πληροφορίες των αλγορίθμων αλλά και οι παράμετροι πολλές φορές δεν λαμβάνονται υπόψη, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις στο τελικό οπτικό αποτέλεσμα και κατά συνέπεια στο παραγόμενο μωσαϊκό.

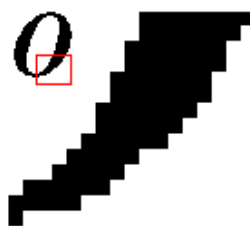
2.6 Στάδιο 6ο : Τελικές διορθώσεις

Το έκτο στάδιο, αφορά το σύνολο των διαδικασιών που εφαρμόζονται, στο επίπεδο της διορθωμένης γωνίας εξάρτησης, με σκοπό τη βελτίωση της οπτικής ποιότητας της τελικής εικόνας. Για παράδειγμα εφαρμόζεται η εξάλειψη του θορύβου αλλά και ομαλοποίηση στις άκρες (despeckling & anti-aliasing). Παρακάτω παρουσιάζονται δυο εικόνες ώστε να γίνει κατανοητό το επιθυμητό αποτέλεσμα (Εικόνες 11, 12):

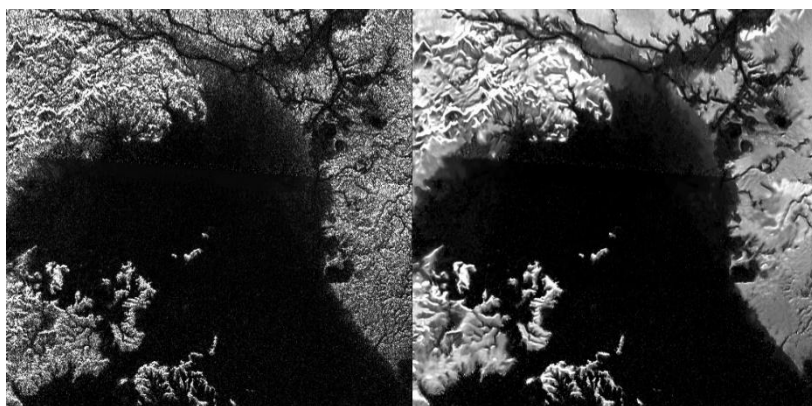
Anti-aliasing ON:



Anti-aliasing OFF:



Εικόνα 11-Anti-aliasing



Εικόνα 12-Despeckling

Οι παραπάνω διαδικασίες είναι απαραίτητες, ώστε να μπορέσει να προκύψει ένα οπτικά σωστό μωσαϊκό. Υπάρχουν όμως και άλλες πιθανές διαδικασίες βελτίωσης, που μπορούν να εφαρμοστούν, ώστε το τελικό αποτέλεσμα να είναι όσον το δυνατόν καλύτερο, όπως για παράδειγμα, η μέθοδος της οπτικής ενίσχυσης (μωσαϊκό με την μέθοδο της οπισθοσκέδασης). Μέσω της διαδικασίας αυτής, πηγάζουν αρκετά πλεονεκτήματα και ειδικά για μεγάλο όγκο δεδομένων. Ένα από αυτά, είναι πως διατηρείται η συνολική ανάλυση ανεπηρέαστη.

Μια επίσης σημαντική λειτουργία, είναι αυτή της δειγματοληψίας των μεταβλητών από τα αρχικά δεδομένα, τα οποία προσφέρουν καλύτερη ανάλυση από ότι στο ψηφιδωτό πλέγμα/κάναβο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μη οπτική ομαλότητα των στοιχείων στις άκρες. Για παράδειγμα, μετά από την αφαίρεση της γωνίας εξάρτησης από τη διαδικασία καταγραφής, η παραγόμενη ανάλυση είναι 0.05m, όταν η επιθυμητή του παραγόμενου μωσαϊκού είναι 0.50m. Έτσι, τα δεδομένα μπορούν να υποβληθούν σε δειγματοληψία ή να υπολογιστούν κατά μέσο όρο προσεγγίζοντας με αυτόν τον τρόπο την ανάλυση του επιθυμητού ψηφιδωτού αρχείου.

Μια επίσης σημαντική διαδικασία, είναι αυτή της εξομάλυνσης/απαλοιφής των υψηλών τιμών συχνότητας, οι οποίες προκαλούν θόρυβο (despeckling), ένα σύνηθες φαινόμενο στα ακουστικά δεδομένα. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται χαμηλής περατότητας φίλτρα, όπως για παράδειγμα το φίλτρο μεσαίας τιμής (median filter). Τα φίλτρα αυτά μπορούν να εφαρμοστούν και στις δυο διευθύνσεις (και κατά μήκος της διαδρομής αλλά και σε όλη τη διεύθυνση τροχιάς) αλλά για την παρούσα λειτουργία/εφαρμογή το πιο σύνηθες φαινόμενο είναι να πραγματοποιηθεί εφαρμογή των φίλτρων στην κατά μήκος διαδρομή/διεύθυνση, διότι η πυκνότητα των δεδομένων είναι πολύ υψηλότερη ως προς τη συγκεκριμένη διεύθυνση.

2.7 Στάδιο 7^ο : Παραγωγή μωσαϊκού

Το τελευταίο στάδιο, αφορά στη χαρτογράφηση και στη δημιουργία του τελικού προϊόντος, δηλαδή του μωσαϊκού. Για την υλοποίηση του, θα πρέπει υποχρεωτικά να έχει προηγηθεί το στάδιο της εξάλειψης της γωνίας εξάρτησης καθώς και η εφαρμογή της ομαλοποίησης της εικόνας (στάδιο 5^ο, 6^ο).

Η ορολογία μωσαϊκό με τη μέθοδο της οπισθοσκέδασης, νοείται ως το σύνολο των διαδικασιών, για μια ορισμένη χρονική στιγμή, κατά τις οποίες πραγματοποιείται συνδυασμός πολλαπλών αυτόνομων αρχείων επεξεργασίας, με στόχο τη δημιουργία ενός ενιαίου. Όσον αφορά τα δεδομένα πολλαπλών δεσμών, δημιουργούνται από μεμονωμένες εικόνες για κάθε αρχείο. Για να δημιουργηθεί η τελική απεικόνιση, θα πρέπει να συνδυαστούν όλα τα παράγωγα.

Όσον αφορά τη διαδικασία αυτήν καθαυτή, χωρίζεται σε τέσσερα υποστάδια/ υποενότητες:

Υποστάδιο 1 – Δημιουργία Κανάβου

Το πρώτο στάδιο αφορά τα χαρακτηριστικά του κανάβου. Δηλαδή, η επιλογή της επιθυμητής παραγόμενης ανάλυσης και στρατηγικής/μεθοδολογίας για την καταγραφή των τιμών της εικόνας, ώστε να εξαλειφθούν τυχόν επικαλύψεις μεταξύ των περιοχών διαφορετικής ποιότητας και μορφολογίας. Η ανάλυση του κανάβου είναι λιγότερο ή περισσότερο περιορισμένη από τη συνολική οριζοντιογραφική απόσταση μεταξύ των δεδομένων, και εξαρτάται από έναν αριθμό παραμέτρων, με βάση τις οποίες συλλέχθηκαν τα δεδομένα κατά τη διαδικασία σχεδιασμού της έρευνας. Επιπροσθέτως να αναφερθεί, πως τα δεδομένα βάθους είναι περισσότερα σε αριθμό στα ρηχά νερά απ' ότι στα βαθύτερα. Επομένως, το βήμα καταγραφής είναι σαφώς άμεσα επηρεασμένο από τις επιλογές/προτιμήσεις που θα πραγματοποιηθούν από το(ν) κατασκευαστή/διαχειριστή.

Η ανάλυση του κανάβου ορίζεται συνήθως, ως το μικρότερο κελί του που μπορεί να δημιουργηθεί, ώστε να μην δημιουργηθούν κενά στο τελικό αποτέλεσμα και να μην παραλειφθούν σημαντικά τμήματα/μεταβολές. Το μέγεθος του κελιού αυτού, ορίζεται σύμφωνα με την εγγύτητα των δειγμάτων, αλλά και από την έκταση της περιοχής. Τα δυο προαναφερθέντα στοιχεία, συμβάλουν στην απόδοση του δείγματος (footprint). Το βασικό πρόβλημα, είναι πως η εγγύτητα και το αποτύπωμα (proximity & footprint) μπορεί να διαφέρουν αρκετά, ανάλογα με τα διάφορα είδη δεδομένων, καθ' όλη την επιφάνεια της έκτασης, αλλά και στις διάφορες διευθύνσεις (Daniel Ierodiasonomou et al., 2017). Στη διαμήκη διεύθυνση, τα χρονοδιαγράμματα δέσμης σε κάποια δείγματα δεδομένων παρουσιάζουν υψηλά ποσοστά εγγύτητας. Σε κάποια άλλα δείγματα, όπως η καταχώρηση μιας τιμής για κάθε δέσμη, οι κύριοι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται είναι η απόσταση μεταξύ των δειγμάτων, που είναι άμεσα συνδεδεμένη με τη συχνότητα αλλά και με το γωνιακό διάστημα. Κοντινές τιμές του εν λόγω διαστήματος, παρατηρούνται σε κοντινά δείγματα (τυπικά στο ναδίρ), σε αντίθεση με τις ακτίνες εκείνες, όπου προσπίπτουν κοντά στις άκρες του στρώματος (near the edges of the swath). Παρόλα αυτά, ο περιοριστικός παράγοντας βρίσκεται στη διάσταση της κατά μήκους τροχιάς, όπου η εγγύτητα μεταξύ των δεδομένων εξαρτάται από την ταχύτητα του σκάφους αλλά και από το ποσοστό των σημάτων. Επίσης επηρεάζεται και από το αποτύπωμα της δέσμης κατά την καταγραφή (footprint), διότι εξαρτάται από το πλάτος και το μήκος της, ανεξάρτητα από τον τύπο των δεδομένων. Να τονιστεί πως όλες αυτές οι θεωρίες της απόστασης μεταξύ των δειγμάτων, είναι άμεσα συνδεδεμένες με την κίνηση του σκάφους, για μη σταθεροποιημένα συστήματα, με μη αντισταθμισμένη την κίνησή του κατά τους άξονες x και y. Τέλος, αναγκαίο σκέλος είναι η εξέταση της πιθανότητας αύξησης της πυκνότητας των δεδομένων, για χρήση συστημάτων διπλής κεφαλής ή τμημάτων όπου παρατηρούνται επικαλυπτόμενες γειτονικές γραμμές. Στην περίπτωση όπου τα δείγματα παρουσιάσουν υψηλά ποσοστά εγγύτητας μεταξύ τους, στην κατά μήκος διεύθυνση του σκάφους, επιλέγεται μέγεθος κανάβου με υψηλή χωρική ανάλυση (μικρό μέγεθος φατνίου). Αυτό συμβαίνει για τη διατήρηση της ανάλυσης μεταξύ των δεδομένων αλλά και των διαφορετικών διαδρομών (Augustin et al. 1994). Όσον αφορά τη στρατηγική εκχώρησης των τιμών στον κανάβο, είναι άμεσα συνδεδεμένη με δύο παράγοντες: (α) το μαθηματικό μοντέλο που θα χρησιμοποιηθεί ώστε να υπολογιστεί η τελική τιμή του φατνίου, παρεμβάλλοντας μέσα από ένα δείγμα σημείων, (β) τον τρόπο διαχείρισης των επικαλυπτόμενων γραμμών. Η πιο συνήθης μέθοδος είναι αυτή του υπολογισμού της μέσης τιμής των τιμών της οπισθοσκέδασης, σε γραμμική ή λογαριθμική μορφή (linear or dB units). Η μαθηματικά

σωστή επιλογή, είναι ο υπολογισμός του μέσου όρου σε γραμμικές μονάδες, αλλά παρουσιάζει την αδυναμία ότι παρεμβάλλει υψηλές τιμές, με αποτέλεσμα να αποκλίνουν από το αληθές αποτέλεσμα. Αν ο υπολογισμός υλοποιηθεί με χρήση λογαριθμικών μονάδων, αλλοιώνεται η ευαισθησία των πιο μαθηματικά προσανατολισμένων στοιχείων, αλλά το αποτέλεσμα που θα προκύψει θα είναι λιγότερα επηρεασμένο από τις υψηλότερες τιμές. Έτσι το αποτέλεσμα θα είναι πιο ορθό. Για παράδειγμα, θεωρώντας πως ένα κομμάτι από τα δεδομένα επιστρέφει μια ισχυρή τιμή, της τάξης των -20dB, και πως τέσσερα δείγματα παρουσιάζουν επιστροφή -70dB (very low return), κατά την υλοποίηση της διαδικασίας με τις λογαριθμικές μονάδες θα επιστραφεί ως μέση τιμή το μέγεθος των -60dB, το οποίο τονίζει τη γενική τάση των χαμηλότερων αποδόσεων στο σετ. Από την άλλη μεριά όμως, με χρήση των γραμμικών μονάδων, η μέση τιμή που θα δοθεί στο φαντίο επεξεργασίας θα είναι αυτή των -33.9dB. Έτσι, το τελικό αποτέλεσμα θα είναι ένα ισχυρό συχνότητας σήμα.

Να αναφερθεί επίσης, πως υπάρχουν και άλλες μαθηματικές διαδικασίες, εκτός από τη μέση τιμή, που μπορεί να χρησιμοποιηθούν όπως για παράδειγμα, αυτές της ενδιαμέσου τιμής, όπου μέσω αυτών δεν λαμβάνονται υπόψη οι ακραίες τιμές αλλά ενισχύονται οι μεσαίες. Επομένως, το αποτέλεσμα που θα προκύψει θα είναι πιο φωτεινό σε σχέση με το πραγματικό (μεγαλύτερες τιμές φωτεινότητας). Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται συνήθως για την ανίχνευση κάποιων συγκεκριμένων στόχων.

Ως προς το θέμα της επικάλυψης μεταξύ των γραμμών, υπάρχουν διάφοροι τρόποι αντιμετώπισης. Μια συνήθης λύση είναι, κατά την σύνταξη του αλγορίθμου υλοποίησης, να θεωρηθεί πως κάθε δείγμα συνεισφέρει σε ένα φαντίο, ανεξάρτητα από τη γραμμή προέλευσής του, το οποίο θα συνδυάζει τις γραμμές μαζί. Όμως, αυτή η διαδικασία, θα έχει ανεπιθύμητη συνέπεια στη μείωση των μέσων όρων από διαφορετικά στοιχεία, γωνίες πρόσπτωσης ή αζιμουθιακές γωνίες αλλά και σε ομογενή επίπεδα ποιότητας. Ένας άλλος τρόπος αντιμετώπισης, αφορά την αποφυγή χρήσης δεδομένων που εισέρχονται στη διαδικασία επεξεργασίας για πάνω από μια γραμμή καταγραφής. Η επιλογή της καταλληλότερης, πραγματοποιείται είτε μέσω ελέγχου της οριζόντιας απόστασης από το φαντίο επεξεργασίας είτε μέσω του μεγέθους της γωνίας πρόσπτωσης είτε από τις υψηλές τιμές σε λόγο σήματος/θόρυβο. Σε αυτή την περίπτωση, στο παραχθέν μωσαϊκό, θα φαίνονται έντονα οι επικαλύψεις μεταξύ των διασταυρωμένων γραμμών. Μια λύση για το ζήτημα αυτό, είναι να χρησιμοποιηθούν στον αλγόριθμο παραγωγής, βάρη που θα λειτουργούν και θα διαχωρίζουν την ανάμειξη μεταξύ των δεδομένων και αυτών της ένωσης. Συνήθως, μεγαλύτερα βάρη δίνονται κατά προτίμηση στις γωνίες δέσμης, εκείνες που παρέχουν στο τελικό αποτέλεσμα καλύτερες διακρίσεις και λιγότερο θόρυβο (de Oliveira Junior and Hughes Clarke 2007).

Υποστάδιο 2 – Αλγόριθμοι με σκοπό την βελτίωση των παραγόμενων εικόνων

Το δεύτερο στάδιο συνδέεται με την εφαρμογή αλγορίθμων βελτίωσης της εικόνας (de-speckling, anti-aliasing, low pass filtering, κλπ.). Να τονιστεί σε αυτό το σημείο πως απαραίτητη διαδικασία είναι να έχει εφαρμοστεί το προηγούμενο στάδιο (υποστάδιο 1^ο), ώστε να ικανοποιηθεί και το παρών. Οι πιθανές τεχνικές υλοποίησης της επιθυμητής βελτίωσης, δεν διαφέρουν από αυτές που αναλύθηκαν στο στάδιο των προκαθοριστικών διορθώσεων (Στάδιο 6^ο). Συνήθως εφαρμόζονται οι διαδικασίες αυτές (βελτίωσης εικόνας) σε δύο διαστάσεις βόρεια & ανατολικά.

Υποστάδιο 3 – Επιλογή χρωματικής κλίμακας για την οπτικοποίηση του μωσαϊκού

Το τρίτο στάδιο αφορά τη χρωματική κλίμακα που θα επιλεγεί για την κατασκευή του μωσαϊκού. Συγκεκριμένα, συνδέεται με την απόφαση, αν οι τιμές του επιπέδου της οπισθοσκέδασης θα είναι σε 8-bit κλίμακα (τιμές από 0→255) ή 16-bit κλίμακα (0→65.535). Η απόφαση της επιλογής της χρωματικής κλίμακας συνήθως γίνεται από το διαχειριστή, έχοντας ως στόχο τη βέλτιστη οπτική ερμηνεία του αποτελέσματος. Παρόλα αυτά, είναι μια κρίσιμη επιλογή, που επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό το τελικό αποτέλεσμα. Το κρίσιμο κομμάτι της πληροφορίας που είναι απαραίτητο για την εύρεση ενός dB επιπέδου από ένα αρχείο μωσαϊκού, πολλές φορές, αγνοείται από την επεξεργασία. Η επιλογή αυτή περιλαμβάνει τα όρια του επιπέδου της οπισθοσκέδασης για την περικοπή των δεδομένων και τη συνάρτηση χαρτογράφησης της τιμής μονάδας δεδομένων σε εικονοστοιχεία (γραμμικά και μη). Για τις παραπάνω επιλογές δεν παρέχεται προκαθορισμένη τιμή, ο κάθε διαχειριστής ανάλογα την περίπτωση, εφαρμόζει και τις επιθυμητές επιλογές, αν και ορισμένες φορές οι τιμές είναι προφανείς (πχ. οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές). Οι υπόλοιπες τιμές θα πρέπει να παρατίθενται εκατέρωθεν από τις προαναφερθείσες. Επιπροσθέτως, μια κοινή διαδικασία και συνηθισμένη,

είναι ο διαχειριστής να επιλέγει τιμές, τέτοιες ώστε να μεγιστοποιεί την αντίθεση πάνω από το όριο των μετρημένων τιμών για την περιοχή ενδιαφέροντος.

Υποστάδιο 4– Επιλογή χρωματικής κλίμακας για την απεικόνιση των δεδομένων

Το τέταρτο και τελευταίο στάδιο, είναι η επιλογή της χρωματικής κλίμακας με βάση την οποία θα γίνει η απεικόνιση των δεδομένων. Για την υλοποίηση του σταδίου αυτού, συνήθως χρησιμοποιείται μια ασπρόμαυρη χρωματική παλέτα με διάφορες αποχρώσεις του γκρι (Hill et al. 2014). Συμβατικά, σε μια τέτοια παλέτα οι υψηλές τιμές απεικονίζονται με φωτεινούς τόνους, ενώ οι χαμηλές απεικονίζονται με σκουρότερους.

Ο λόγος που συνηθίζεται η μέθοδος αυτή, είναι διότι ένα σήμα που έχει υψηλότερες τιμές φωτεινότητας υποδηλώνει και υψηλή ενέργεια, σε αντίθεση με ένα χαμηλά ενεργειακό σήμα που αναπαρίσταται με πιο χαμηλούς τόνους. Επομένως, ένας πυθμένας θαλάσσης θα απεικονιζόταν με πιο σκούρους τόνους, αφού αποτελείται κυρίως από χαμηλά ενεργειακά σήματα. Στην περίπτωση που επιλεγεί να γίνει η αναπαράσταση του οπισθοσκεδαζόμενου σήματος σε όλο και πιο σκούρες τιμές είναι για δυο λόγους. Ο πρώτος, είναι πως οι βραχύδης σχηματισμοί ανακλούν περισσότερο σε σχέση με την άμμο, άρα εμφανίζονται σκουρότεροι σε σχέση με την άμμο. Ο δεύτερος λόγος βασίζεται στη θεωρία των αναλογικών πλευρικών ακουστικών κυμάτων.

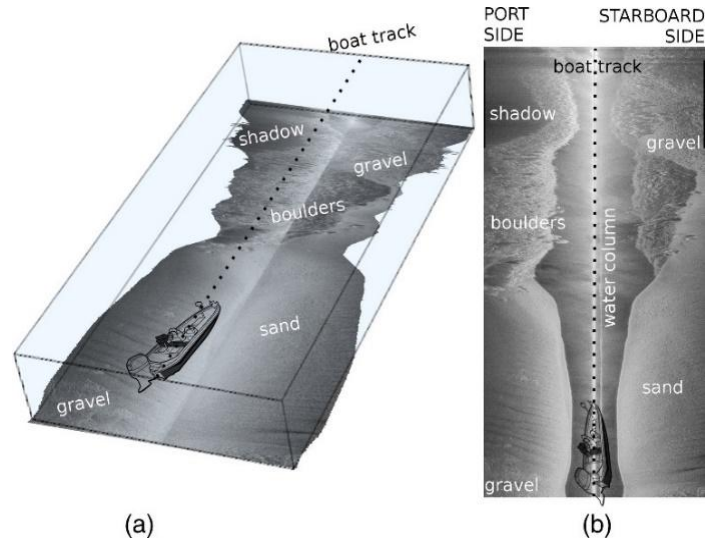
Συμπερασματικά, η επιλογή της μιας ή της άλλης περίπτωσης, έχει ελάχιστες συνέπειες στο τελικό προϊόν και εξαρτάται από την επιλογή του διαχειριστή, που όμως θα πρέπει να τεκμηριώνεται κάθε φορά.

2.8 Σύνοψη

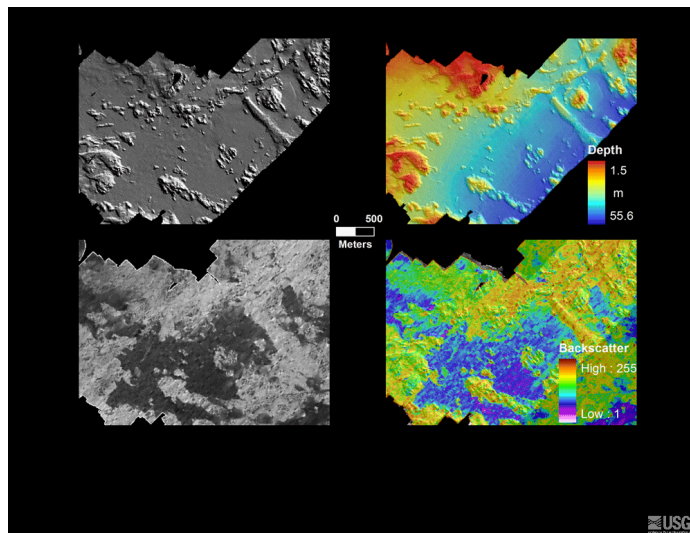
Συμπερασματικά σε αυτό το κεφάλαιο, δόθηκε μια γενική εικόνα ως προς τις διαδικασίες, που εφαρμόζονται για την επεξεργασία σημάτων Sonar, τα οποία έχουν παρθεί με τη μέθοδο της οπισθοσκέδασης. Επίσης, περιγράφηκαν μέθοδοι για την επεξεργασία ακουστικών δεδομένων. Τέλος, έγινε αναφορά στο μέγεθος της διαφοροποίησης τους ανάλογα την επιλογή της διαδικασίας επεξεργασίας.

Αφού πραγματοποιηθούν τα προαναφερθέντα στάδια (καταγραφή, γεωαναφορά, ραδιομετρική διόρθωση), τα διορθωμένα πλέον δεδομένα υπόκεινται υπό κάποιους περιορισμούς, ανάλογα με το σύστημα καταγραφής, αλλά και από τις εξισώσεις/αλγορίθμους επεξεργασίας αυτών. Στη συνέχεια, τα επόμενα στάδια, αφορούν τη διαδικασία εξάλειψης της γωνίας εξάρτησης (στάδιο προκαθοριστικών διορθώσεων). Να αναφερθεί, πως οι παραπάνω διαδικασίες απαιτούν, για την υλοποίησή τους, λίγη έως καθόλου πληροφορία (το ίδιο ισχύει και για την διαδικασία δημιουργίας του μωσαϊκού). Αν δεν πληρείται ο ελάχιστος αυτός απαραίτητος αριθμός, μελλοντικά, η απαίτηση των μεθόδων επεξεργασίας σε υψηλή ακρίβεια και ποσότητα πληροφορίας, που είναι απαραίτητη για την υλοποίηση των προηγούμενων σταδίων αλλά και εφαρμογή πρότυπων και τεκμηριωμένων διαδικασιών, δεν θα μπορεί να ικανοποιηθεί.

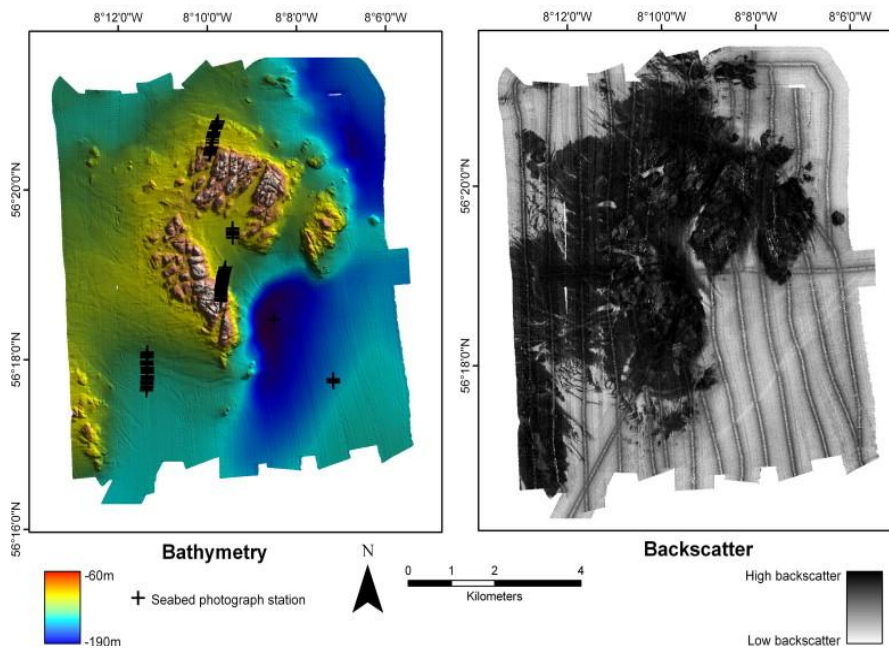
Οι προαναφερθείσες ανάγκες, μπορούν να πραγματοποιηθούν διεκπεραιώνοντας τα προηγούμενα στάδια, χρησιμοποιώντας την αρμόζουσα κωδικοποίηση (Lamarque and Lurton (2017)). Η συγκεκριμένη κωδικοποίηση αφορά μια μορφή ονοματολογίας, η οποία κατατάσσει τις εναλλακτικές προσεγγίσεις σε κάθε στάδιο επεξεργασίας, παρέχοντας με αυτόν τον τρόπο ένα πλαίσιο μορφής μεταδεδομένων για την υλοποίηση μωσαϊκών. Αντιπροσωπευτικές εικόνες αυτών απεικονίζονται παρακάτω:



Εικόνα 13-Backscatter Mosaic 1



Εικόνα 14-Backscatter Mosaic 2



Εικόνα 15-Backscatter Mosaic 3

Κεφάλαιο 3 : Μεθοδολογία

Στο παρόν κεφάλαιο παρατίθενται αναλυτικά τα στάδια που διεκπεραιώθηκαν προκειμένου να υλοποιηθεί ο αρχικός στόχος της εργασίας. Αρχικά, γίνεται παρουσίαση των περιοχών μελέτης και αναλύονται τα διαθέσιμα δεδομένα που συλλέχθηκαν αλλά και η ακριβής τοποθεσία τους. Στη συνέχεια, υλοποιείται αναλυτική παρουσίαση της μεθοδολογίας για τη δημιουργία βυθομετρικών χαρτών. Επόμενο στάδιο αφορά την περιγραφή της διαδικασίας της ταξινόμησης που πραγματοποιήθηκε για κάθε περιοχή ξεχωριστά και τέλος γίνεται ανάλυση της μεθόδου δημιουργίας του γενικευμένου μοντέλου ταξινόμησης.

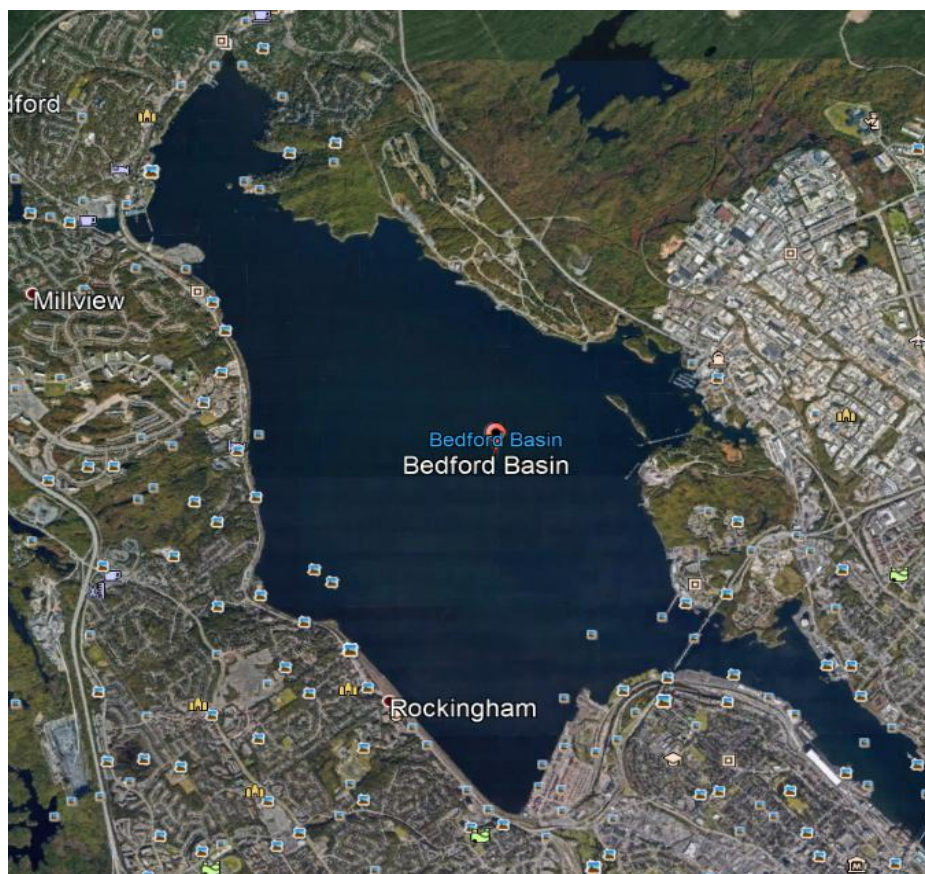
3.1 Παρουσίαση Περιοχών Μελέτης

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια ανασκόπηση των περιοχών μελέτης που εξετάστηκαν στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Πιο συγκεκριμένα γίνεται αρχικά, αναφορά στην τοποθεσία τους:

Αφού δόθηκε μια εικόνα του θεωρητικού υποβάθρου (Κεφάλαιο 1 – Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας), στο οποίο στηρίχτηκε η υλοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, επόμενο βήμα είναι η επιλογή των δεδομένων και στη συνέχεια η επεξεργασία αυτών. Όσον αφορά το πρώτο στάδιο, τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν έχουν ληφθεί από δυο διαφορετικές περιοχές του Καναδά και μια περιοχή της Αμερικής.

3.1.1 Bedford Basin

Η πρώτη εξ'αυτών ονόματι Bedford Basin είναι ένας κόλπος στην περιοχή του Halifax, στις ανατολικές ακτές του Καναδά. Παρακάτω παρουσιάζεται μια εικόνα του κόλπου αυτού:



Εικόνα 16- Bedford Basin, Canada

3.1.2 Patricia Bay

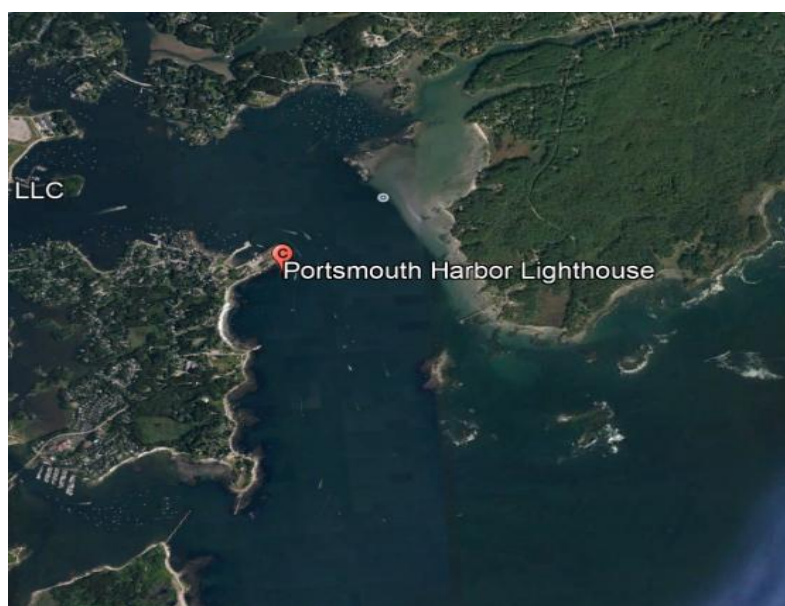


Εικόνα 17 - Patricia Bay, Canada

Η δεύτερη περιοχή που μελετήθηκε πρόκειται επίσης για έναν κόλπο στον Καναδά αλλά βρίσκεται στις δυτικές ακτές της χώρας (Patricia Bay Highway, Victoria, BC, Canada).

3.1.3 Portsmouth / NewBex

Τέλος, η τελευταία περιοχή ήταν αυτή του κόλπου του Portsmouth Harbor στην Αμερική. Μια αντιπροσωπευτική εικόνα της περιοχής παρουσιάζεται παρακάτω:



Εικόνα 18 – Portsmouth Harbor U.S.A

Αφού περιγράφηκαν συνοπτικά οι περιοχές μελέτης, στη συνέχεια θα αναλυθεί η διαδικασία επεξεργασίας των πηγαίων δεδομένων που αξιοποιήθηκαν, καθώς και η μετατροπή τους από την αρχική μορφή σε νέφος σημείων, για κάθε περιοχή ξεχωριστά, με σκοπό την ευκολότερη επεξεργασία τους.

3.2 Δεδομένα Multispectral Multibeam

Τα πηγαία δεδομένα βρίσκονταν σε μορφή αρχείων «G.S.F» (Generic Sensor Format, Κεφάλαιο 2.2) και περιέγραφαν τις τρεις περιοχές ενδιαφέροντος. Η αρχική μορφή των δεδομένων αυτών (G.S.F), μετατράπηκε στην επιθυμητή (x, y & z), χρησιμοποιώντας το εμπορικό λογισμικό ονόματι Qimera. Να τονιστεί πως τα πηγαία δεδομένα προήλθαν από τον επιστημονικό διαγωνισμό ονόματι Multispectral Challenge 2017, όπως αναφέρεται και στο Κεφάλαιο 2.2.

Πιο αναλυτικά, όσον αφορά τα ίδια τα δεδομένα για κάθε περιοχή ξεχωριστά:

1. Bedford Basin

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν αφορούσαν δυο χρονολογίες (2016 & 2017). Για κάθε χρονολογία ξεχωριστά, χρησιμοποιήθηκαν τρεις διαφορετικές συχνότητες καταγραφής (100, 200 & 400kHz).

2. Patricia Bay

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν αφορούσαν τη χρονολογία 2017 με συχνότητες καταγραφής 100, 200 & 400 kHz.

3. NewBex / Portsmouth

Τα δεδομένα, ήταν της χρονολογίας 2017 με συχνότητες καταγραφής 100, 200 & 400 kHz. Η συνολική περιοχή (για κάθε συχνότητα) ήταν διαμερισμένη σε επιμέρους τμήματα, καθώς το συνολικό της μέγεθος ήταν μεγάλο προς επεξεργασία από τον χρήστη.

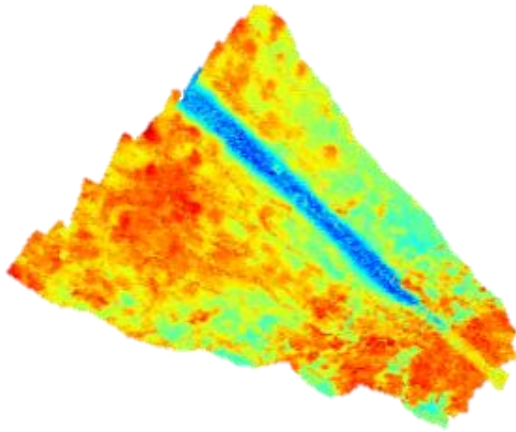
Παρακάτω απεικονίζονται σε μορφή πίνακα τα προαναφερθέντα στοιχεία:

Περιοχή	2016	2017
Bedford Basin	100 kHz	100 kHz
	200 kHz	200 kHz
	400 kHz	400 kHz
Patricia Bay		100 kHz
		200 kHz
		400 kHz
Porstmouh / NewBex		Tile 1
		Tile 2
		Tile 3
		Tile 4
		Tile 5
		Tile 6
		Tile 7
		100, 200 & 400 kHz

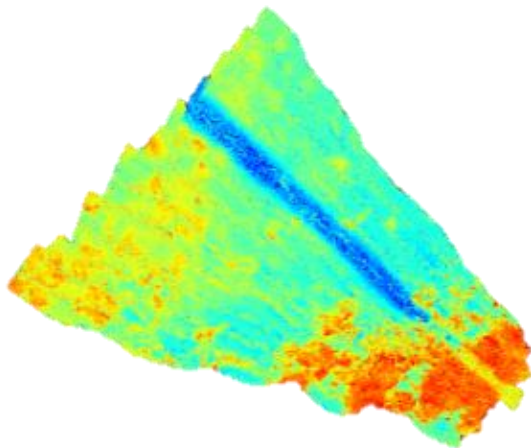
Πίνακας 1 : Δεδομένα και των τριών περιοχών σε μορφή πίνακα

3.2.1 Bedford Basin 2016

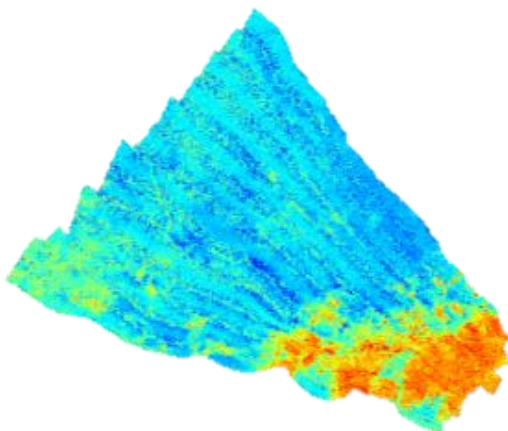
Στις τρεις παρακάτω εικόνες (Εικόνα 19 -> 21) παρουσιάζεται η οπτικοποίηση των νεφών σημείων για την πρώτη περιοχή (Bedford Basin), χρονολογίας 2016Q.



Εικόνα 19 - Bedford Basin 2016 100 kHz



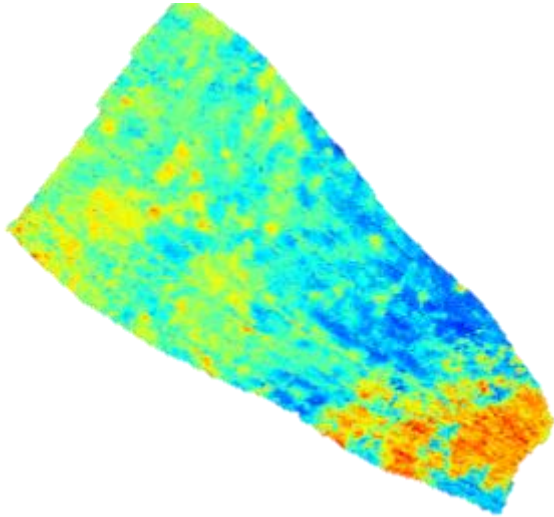
Εικόνα 20- Bedford Basin 2016 200 kHz



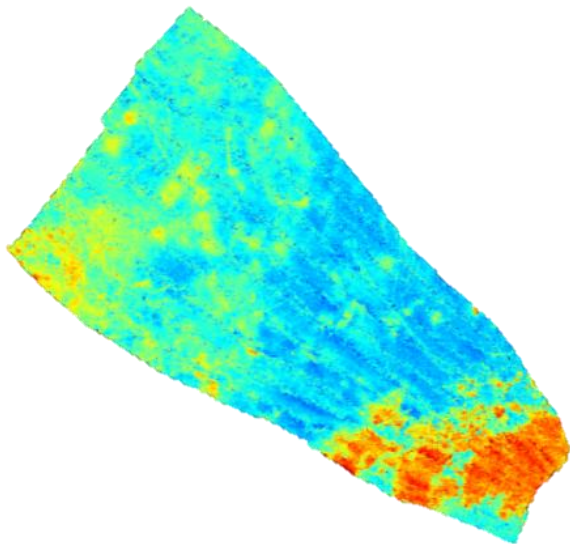
Εικόνα 21 - Bedford Basin 2016 400 kHz

3.2.2 Bedford Basin 2017

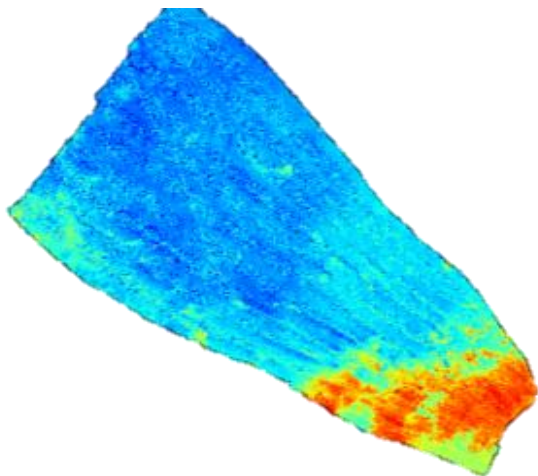
Αντίστοιχα στις Εικόνες 22 έως 24 παρουσιάζεται η πρώτη περιοχή σε κάθε συχνότητα καταγραφής, αλλά για τη χρονολογία 2017:



Εικόνα 22 - Bedford Basin 2017 100 kHz



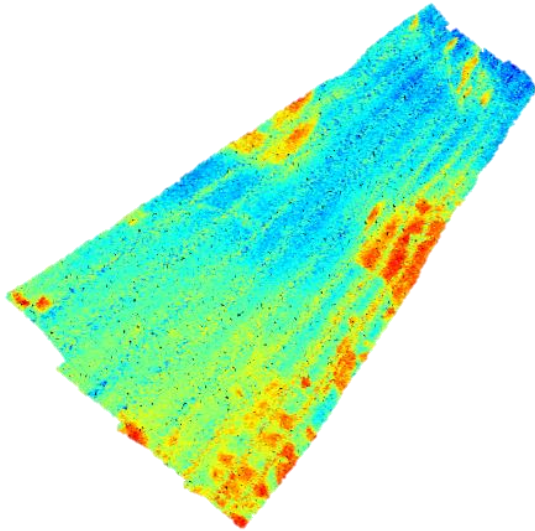
Εικόνα 23 -- Bedford Basin 2017 200 kHz



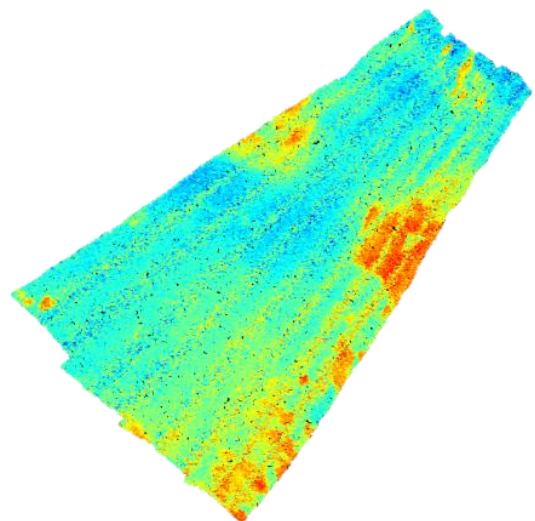
Εικόνα 24 - Bedford Basin 2017 400 kHz

3.2.3 Patricia Bay

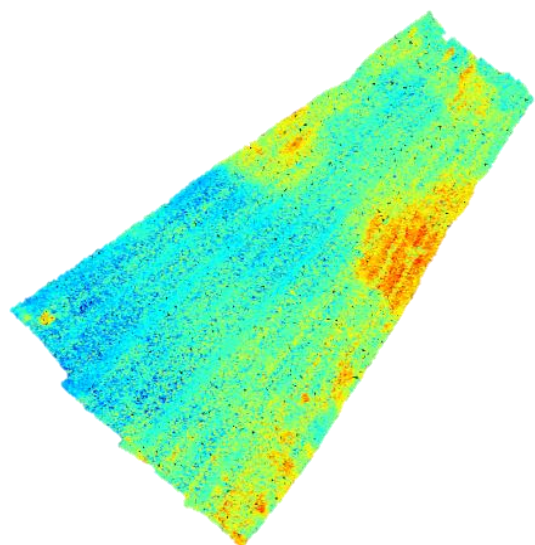
Στις εικόνες 25 έως 27 παρατίθενται τα νέφη σημείων που περιγράφουν τη δεύτερη περιοχή μελέτης σε όλες τις συχνότητες καταγραφής (100, 200 & 400):



Εικόνα 25 - Patricia Bay 200 kHz



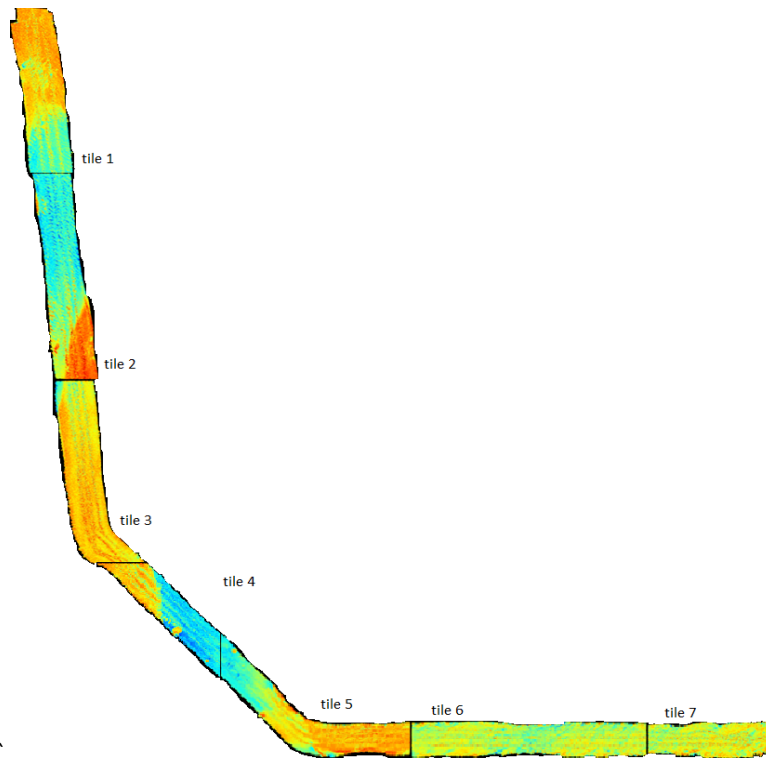
Εικόνα 26 - Patricia Bay 200 kHz



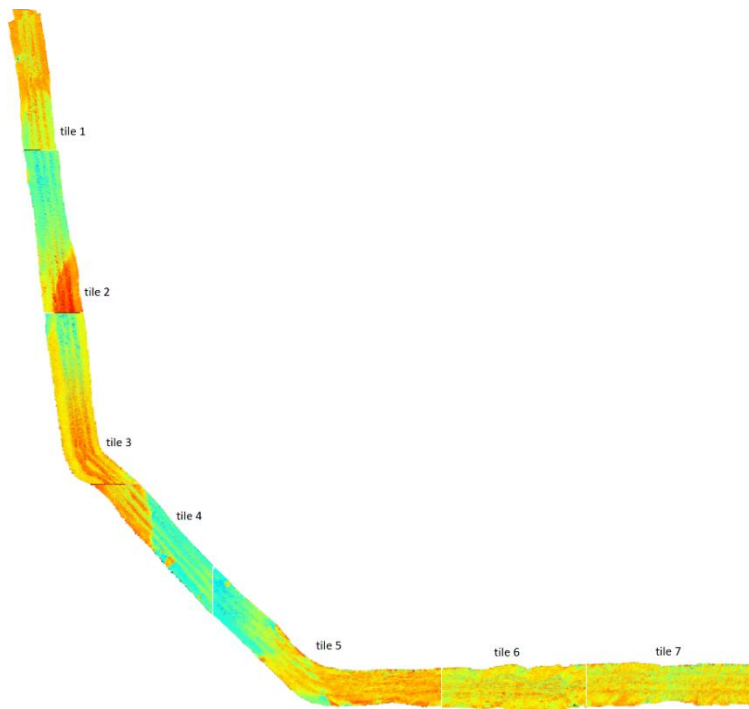
Εικόνα 27 - Patricia Bay 400 kHz

3.2.4 Portsmouth / Newbex

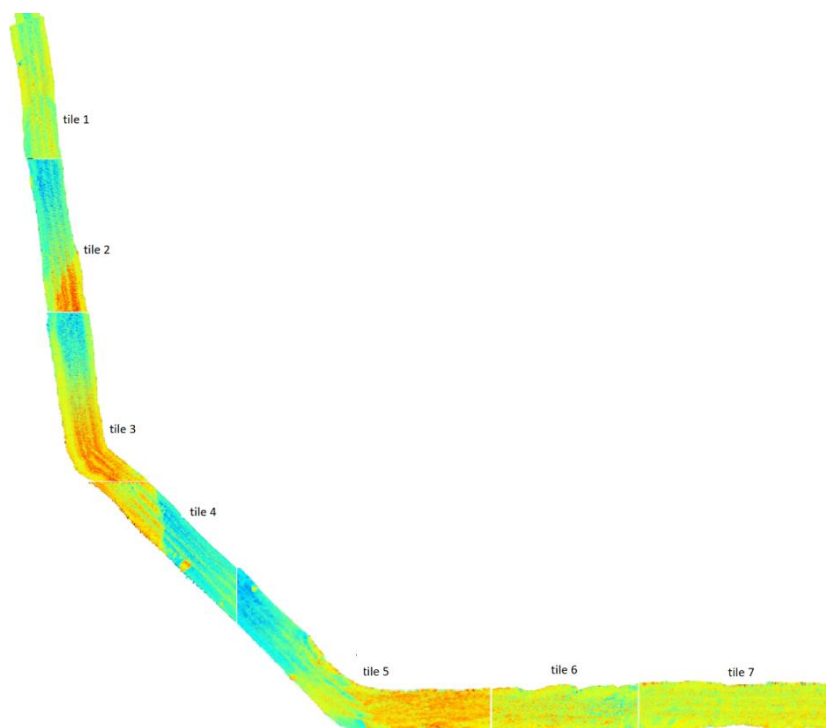
Στις τρεις ακόλουθες εικόνες (Εικόνα 28->30) παρουσιάζονται τα νέφη σημείων και για τις τρεις συχνότητες καταγραφής (100, 200 & 400 kHz), που περιγράφουν την τελευταία περιοχή μελέτης



Εικόνα 28: Portsmouth / NewBex 100kHz



Εικόνα 29: Portsmouth / NewBex 200kHz



Εικόνα 30: Portsmouth / NewBex 400kHz

Αφού υλοποιήθηκε η απεικόνιση των νεφών σημείων, επόμενο στάδιο είναι η δημιουργία μιας διδιάστατης γεωαναφερμένης εικόνας, (ίδιων διαστάσεων με την παραγόμενη του προγράμματος Qimera), όπου σε κάθε φαντίο θα παρουσιάζεται και μια τιμή βάθους, ανάλογα τη θέση. Να σημειωθεί πως η παραγωγή βυθομετρικής εικόνας υλοποιήθηκε **MONO** για την πρώτη περιοχή (Bedford Basin 2016 – 17) για τον λόγο πως αυτή παρουσίαζε περισσότερο ενδιαφέρον, σχετικά με τις διαχρονικές βυθομετρικές μεταβολές.

3.3 Προεπεξεργασία & Βυθομετρία

Στο παρόν Κεφάλαιο, παρουσιάζεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε προκειμένου να παραχθούν βυθομετρικοί χάρτες. Σκοπός ήταν να γίνει ανάλυση αυτών αλλά και παρατήρηση βυθομετρικών μεταβολών σε διάστημα ενός χρόνου (16 – 17).

Έτσι, αξιοποιώντας τα δεδομένα που βρίσκονταν σε μορφή (x, y, z), όπου z το αντίστοιχο βάθος του σημείου, τέθηκε αδύνατη η υλοποίηση βυθομετρικών χαρτών, αξιοποιώντας το σύνολο των σημείων, λόγω του μεγάλου όγκου τους (2,2 GB). Συνεπώς, κρίθηκε απαραίτητη η εξομάλυνση αυτών (Στάδιο Προεπεξεργασίας). Έτσι υλοποιήθηκαν τρεις διαφορετικοί αλγόριθμοι οι οποίοι παρουσιάζονται παρακάτω:

- Αλγόριθμος εξομάλυνσης μέσου όρου
- Αλγόριθμος εξομάλυνσης με δείγμα
- Αλγόριθμος εξομάλυνσης απότομων μεταβολών

3.3.1 Αλγόριθμος εξομάλυνσης μέσου όρου

Ο πρώτος αλγόριθμος που δημιουργήθηκε για την εξομάλυνση των νεφών σημείων, ήταν αυτός του μέσου όρου. Συγκεκριμένα, η λειτουργία του αλγορίθμου παρουσιάζεται παρακάτω:

Αρχικά, διατρέχεται όλο το αρχείο με τα σημεία και αποθήκευση των στοιχείων αυτών στη μνήμη. Από τα αρχικά δεδομένα ο αλγόριθμος διαβάζει ανά δέκα, μέχρι το πέρας των σημείων. Για κάθε δέκα σημεία

καταχωρείται στη μνήμη ένα ζεύγος x, y (αυτό του πρώτου σημείου κάθε δεκάδας). Όσον αφορά στο βάθος, προκύπτει κάθε φορά ως ο μέσος όρος των μετρήσεων βάθους κάθε δεκάδας σημείων.

3.3.2 Αλγόριθμος εξομάλυνσης με δείγμα

Ο δεύτερος αλγόριθμος λειτουργεί ως εξής: Σαρώνει όλα τα δεδομένα (σημεία x, y, z) και διατηρεί ανά 10 σημεία κάθε φορά, μέχρι το τέλος του αρχείου, μόνο ένα. Αυτό δέχεται ως συντεταγμένες (x, y & z) τις τιμές του πρώτου σημείου (από τα 10, που επεξεργάζεται εκείνη τη στιγμή). Η διαδικασία αυτή τερματίζει όταν σαρωθούν όλα τα σημεία. Ο αριθμός 10 αποτελεί το βήμα στην προκειμένη περίπτωση. Θα μπορούσε να είναι οποιοσδήποτε θετικός ακέραιος αριθμός, ανάλογα την κατάσταση και ανάλογα την επιθυμητή ακρίβεια. Να σημειωθεί πως το παραπάνω μέγεθος (βήμα) εφαρμόστηκε ύστερα από την υλοποίηση αρκετών πειραμάτων, διότι χρησιμοποιώντας την τιμή αυτή και δεν παρουσιάζεται αλλοίωση της πληροφορίας και εξάγεται ένα ευκρινές οπτικό αποτέλεσμα (βυθομετρικός χάρτης). Έτσι, προέκυψε σημαντική μείωση του αριθμού των δεδομένων (χωρίς να χάνεται σημαντική πληροφορία, από 80 εκ. σημεία σε 8 εκ.)

3.3.3 Αλγόριθμος εξομάλυνσης απότομων μεταβολών

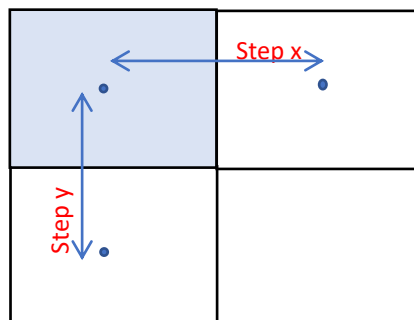
Στα αρχικά δεδομένα, παρατηρήθηκαν οι βυθομετρικές μεταβολές σε σχέση με την κλίση του πυθμένα. Η πλειοψηφία τους κυμαινόταν σε ένα εύρος τιμών μεταξύ 0.1-0.6m. Οι πολύ έντονες μεταβολές, που ξεπερνούσαν το 1.5 με 2.0m αντιμετωπίστηκαν ως θόρυβος. Σκοπός του συγκεκριμένου αλγόριθμου, ήταν η αποθρομβοποίηση, μέσω της διατήρησης των τιμών που βρίσκονταν στο διάστημα 0.1-0.6m. Για τον έλεγχο της διαδικασίας, ο αλγόριθμος υπολογίζει επίσης το ποσοστό των σημείων που απορρίφθηκαν ως θόρυβος σε σχέση με το σύνολο των αρχικών δεδομένων.

3.3.4 Σύνοψη και επιλογή κατάλληλου αλγορίθμου για την προκειμένη περίπτωση

Για την επιλογή του κατάλληλου αλγορίθμου επεξεργασίας, ύστερα από υλοποίηση αρκετών πειραμάτων, έχοντας ως κριτήρια το χρόνο εξαγωγής των αποτελεσμάτων, την ποιότητα αποτελέσματος αλλά και την ορθότητα αυτού, επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί ο αλγόριθμος εξομάλυνσης μέσου όρου. Ο αλγόριθμος αυτός εφαρμόστηκε για όλα τα δεδομένα, με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν νέα, τα οποία αποτέλεσαν και πυλώνα για την αναπαραγωγή της δισδιάστατης εικόνας βάθους (depth image).

3.3.5 Αλγόριθμος παραγωγής βυθομετρικής εικόνας

Αρχικά, πραγματοποιείται εισαγωγή των δεδομένων και αποθήκευσή τους σε μορφή πίνακα, ώστε να διευκολυνθεί η διαχείρισή τους. Έπειτα, ορίζονται οι διαστάσεις της παραγόμενης βυθομετρικής εικόνας (πχ. για την χρονολογία 2016 οι διαστάσεις της παραγόμενης εικόνας είναι 13923 x 11681). Στη συνέχεια υπολογίζονται οι μέγιστες και οι ελάχιστες τιμές για τις οριζοντιογραφικές συντεταγμένες X και Y . Με χρήση των διαστάσεων και των τιμών που προέκυψαν από τα προηγούμενα δύο στάδια του αλγορίθμου, υπολογίζεται το βήμα κατά τον άξονα των X και Y αντίστοιχα. Γνωρίζοντας το βήμα καταγραφής, επόμενο στάδιο είναι ο υπολογισμός κατωφλίων κατά X και Y . Τα κατώφλια αυτά αφορούν στην περιοχή γύρω από κάθε σημείο, η οποία ελέγχεται για βυθομετρικές μετρήσεις, ώστε να αποδοθεί μια τιμή βάθους στο εν λόγω σημείο.



Με βάση το παραπάνω σχήμα γίνεται αντιληπτή η έννοια του βήματος. Το μέγεθος του κατωφλίου ορίστηκε ως το μισό του βήματος κατά X και κατά Y αντίστοιχως (μπλε κουτί, περιοχή ενδιαφέροντος). Να τονιστεί στο σημείο αυτό πως για την πρώτη χρονολογία (2016) το βήμα υπολογίστηκε ως 18.3 cm, ενώ το βήμα για την

αντίστοιχη χρονολογία 2017 υπολογίστηκε ως 17.5 cm. Αφού υπολογιστούν τα βασικά στοιχεία για την εφαρμογή της συνάρτησης δημιουργίας βυθομετρικής εικόνας, επόμενο βήμα είναι η περιγραφή και η εφαρμογή της ίδιας της συνάρτησης, η οποία παρουσιάζεται παρακάτω:

Η συνάρτηση αυτή δέχεται ως στοιχεία εισαγωγής τον πίνακα δεδομένων, τις διαστάσεις της εικόνας και το βήμα καταγραφής κατά x και κατά y καθώς και τη τιμή του κατωφλιού. Στη συνέχεια, διατρέχονται ένα τα φατνία της παραγόμενης εικόνας, υπολογίζοντας για κάθε φατνίο, τις συντεταγμένες του κέντρου του και αποδίδοντας μια τιμή βάθους για αυτές. Η εν λόγω τιμή, είναι ο μέσος όρος των βαθών των σημείων που βρίσκονται μέσα στο φατνίο ενδιαφέροντος. Τα αποτελέσματα, ύστερα από την εφαρμογή της προαναφερθείσας διαδικασίας παρουσιάζονται στο επόμενο Κεφάλαιο (Κεφάλαιο 4).

3.4 Μέθοδοι Ταξινόμησης

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται αρχικά, το θεωρητικό υπόβαθρο στο οποίο βασίστηκε η δόμηση της μεθοδολογίας που εφαρμόστηκε. Ύστερα, αναπτύσσεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε προκειμένου να υλοποιηθεί η ταξινόμηση και των τριών περιοχών (ξεχωριστά). Πιο αναλυτικά:

3.4.1: Support Vector Machines (S.V.M.)

Στην όραση υπολογιστών, οι «μηχανές» εκμάθησης διανυσματικών δεδομένων (Support Vector Machines), είναι ειδικοί αλγόριθμοι που εφαρμόζονται σε αυτό το είδος . Σκοπός τους, είναι η ανάλυσή αυτών, με απώτερο στόχο την ταξινόμησή τους (classification), καθώς και για ανάλυση παλινδρόμησης (regression analysis) (Tim Kam Ho) . Δίνονται σε αυτούς, δεδομένα εκπαίδευσης (training data, τα οποία διαχωρίζονται σε μία ή και περισσότερες κατηγορίες. Αφού υλοποιηθεί το παραπάνω βήμα, σκοπός ενός τέτοιου αλγορίθμου εκμάθησης, είναι αρχικά η οπτικοποίηση των δεδομένων στο χώρο. Έτσι υλοποιείται η διαδικασία χαρτογράφησής τους, ώστε τα δείγματα από τις ξεχωριστές κατηγορίες να διαχωριστούν με ένα σαφές διάστημα διαφοροποίησης, που θα πρέπει να είναι όσο πιο ευρύ γίνεται, ώστε ο διαχωρισμός αυτός να είναι πιο ευκρινής. Τέλος, τα υπόλοιπα δείγματα οπτικοποιούνται με την ακριβή τους θέση, στον ίδιο χώρο που οπτικοποιήθηκαν και τα προηγούμενα. Η διαφορά εντοπίζεται ανάλογα με τη θέση που θα καταγραφούν. Έτσι κατατάσσονται σε κατηγορίες ανάλογα το παραχθέν αποτέλεσμα των προηγούμενων διαδικασιών (Laura Tolosi et al. , (2011)).

3.4.2 : LINEAR - Support Vector Machines (S.V.M.)

Ένα είδος τέτοιων αλγορίθμων εκμάθησης διανυσματικών δεδομένων, είναι ο γραμμικός (linear). Ο αλγόριθμος αυτός λειτουργεί ως εξής:

Αρχικά, λαμβάνει ως στοιχείο εισόδου ένα αρχείο με σημεία, τα οποία θα αποτελέσουν και τα σημεία εκπαίδευσης, όπως λέγονται (training dataset).

$$(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$$

Όπου το y_i λαμβάνει ως τιμή είτε 1 ή -1. Η κάθε μια αναδεικνύει τη διαφορετική τάξη που ανήκει το κάθε σημείο. Κάθε x_i είναι ένα p-διαστάσεων πραγματικό διάνυσμα. Σκοπός, είναι να βρεθεί το μέγιστο περιθώριο «φόρτισης» (maximum-margin hyperplane), που θα χωρίζει το σύνολο των x_i με $y_i = 1$, σε σχέση με τα σημεία όπου το $y_i = -1$. Περιθώριο φόρτισης θεωρείται, η απόσταση μεταξύ του επιπέδου φόρτισης (hyperplane) και του πλησιέστερου σημείου x_i από κάθε ομάδα (Rong-En Fan et al., (2008)).

Ένα τέτοιο επίπεδο (hyper plane), μπορεί να περιγραφεί ως το σύνολο των σημείων που ικανοποιούν την παρακάτω εξίσωση :

$$\vec{w} * \vec{x} - b = 0$$

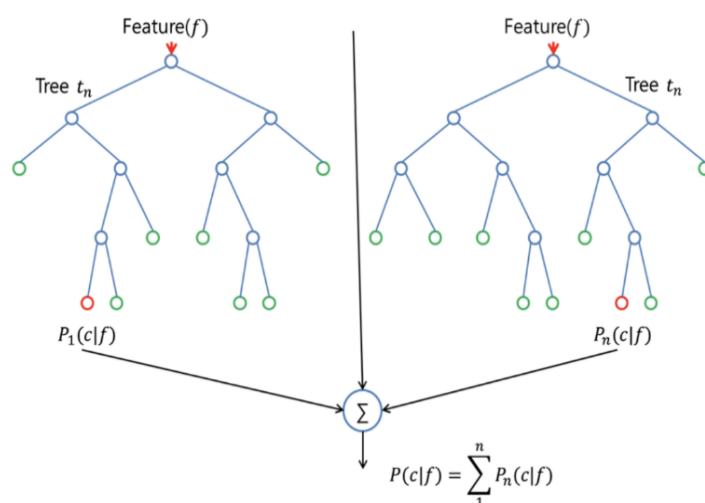
Όπου: w , το πραγματικό διάνυσμα του επιπέδου φόρτισης.

$\frac{b}{\|\vec{w}\|}$ ορίζει την κάθετη μετατόπιση του επιπέδου φόρτισης ως προς το κατά μήκος διάνυσμα \vec{w} .

3.4.3: Random Forest Algorithm (RF)

Ο αλγόριθμος Random Forest, είναι ένας ευέλικτος, εύχρηστος αλγόριθμος μηχανικής μάθησης (machine learning) που παράγει, ακόμα και χωρίς παραμετροποίηση, πολύ καλά αποτελέσματα, τις περισσότερες φορές. Είναι επίσης ένας από τους ευρύτερα χρησιμοποιούμενους αλγορίθμους, λόγω της απλότητάς του και του γεγονότος ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για εργασίες ταξινόμησης, όσο και για διαδικασίες παλινδρόμησης (Tim Kam Ho). Παρακάτω παρουσιάζεται αναλυτικά η λειτουργία του αλγορίθμου αυτού αλλά και περαιτέρω στοιχεία.

Όπως αναφέρει και το όνομα του αλγορίθμου, πρόκειται για ένα είδος που δημιουργεί ένα «δάσος» (μοντέλο με κατηγορίες, διαφορετικών χαρακτηριστικών) και μέσω υλοποίησης ορισμένων διαδικασιών μετατρέπεται σε τυχαίο (παρακάτω, αναλύεται η έννοια αυτή). Συγκεκριμένα, το «δάσος» που δημιουργείται είναι ένα σύνολο «δέντρων απόφασης», όπως ονομάζονται (Decision Trees), τα περισσότερα από τα οποία εκπαιδεύονται με την μέθοδο «bagging» (Trevor Hastie et al., (2009)). Η μέθοδος αυτή, χρησιμοποιεί ένα συνδυασμό από μαθησιακά μοντέλα, με στόχο την αύξηση της ορθότητας και της ποιότητας του αποτελέσματος. Το τυχαίο δάσος που δημιουργείται αποτελείται από πολλαπλά δέντρα αποφάσεων, που στη συνέχεια συγχωνεύονται, με σκοπό μια πιο ακριβή και σταθερή πρόβλεψη. Ένα μεγάλο πλεονέκτημα του αλγορίθμου αυτού, είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για προβλήματα ταξινόμησης, όσο και για προβλήματα παλινδρόμησης, που στις μέρες μας αποτελούν την πλειονότητα των σημερινών συστημάτων μηχανικής εκμάθησης. Παρακάτω παρουσιάζεται ένα παράδειγμα με δυο δέντρα (δυο κατηγορίες), ώστε να γίνει αντιληπτή η λειτουργία του αλγορίθμου:



Εικόνα 31: Random Forest Algorithm w. two trees

Ο αλγόριθμος Random Forest έχει παρόμοιες παραμέτρους, σε σχέση με ένα «δέντρο απόφασης» (decision tree). Να τονιστεί, πως δεν είναι αναγκαίος ο συνδυασμός του με έναν ταξινομητή και έτσι διευκολύνεται η χρήση της κλάσης Random Forest.

Ένα τυχαίο δάσος, προσθέτει επιπλέον τυχαία στοιχεία στο μοντέλο, καθώς γίνεται αύξηση των δέντρων. Αντί να ψάχνει για το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό, καθώς διαιρεί έναν κόμβο, αναζητά τη μέγιστη πιθανότητα ταύτισης, μεταξύ ενός τυχαίου υποσυνόλου χαρακτηριστικών (Laura Tolozi Thomas Lengauer (2011). (Classification with correlated features: unreliability of feature ranking and solutions).

Αυτό έχει ως συνέπεια, μια ευρεία ποικιλομορφία, που γενικά οδηγεί σε ένα ευκρινέστερο μοντέλο και κατά συνέπεια στο επιθυμητό αποτέλεσμα.

Επομένως, στον αλγόριθμο αυτό, μόνο ένα τυχαίο υποσύνολο χαρακτηριστικών λαμβάνεται υπόψη για να γίνει ο διαχωρισμός ενός κόμβου. Υπάρχει επίσης τρόπος κατά την παραμετροποίηση του αλγορίθμου να γίνει η επιλογή των δέντρων ακόμη πιο τυχαία, προσθέτοντας τυχαία κατώτατα όρια για κάθε χαρακτηριστικό, αντί να υλοποιηθεί αναζήτηση για τα μέγιστα δυνατά όρια.

Σημασία λειτουργίας

Μια άλλη ιδιότητα του Random Forest, είναι η διευκόλυνση μέτρησης της σημασίας κάθε χαρακτηριστικού στην πρόβλεψη. Η βιβλιοθήκη (sklearn) αποτελεί ένα χρήσιμο μοντέλο/εργαλείο για αυτό τον διαχωρισμό. Με την εν λόγω βιβλιοθήκη, μετριέται η σημασία των χαρακτηριστικών, εξετάζοντας κατά πόσο οι κόμβοι των δέντρων, που χρησιμοποιούν κάποιο χαρακτηριστικό, μειώνουν την πρόσμεξη σε όλα τα δέντρα του δάσους. Για κάθε ένα από αυτά (χαρακτηριστικό), το επίπεδο επιτυχίας υπολογίζεται αυτόματα, μετά την εκπαίδευση και συγκρίνονται τα αποτελέσματα, έτσι ώστε το άθροισμα όλων να ισούται με 1.

Σε ένα δέντρο αποφάσεων, κάθε εσωτερικός κόμβος αντιπροσωπεύει μια δοκιμή σε ένα χαρακτηριστικό, κάθε κλάδος αντιπροσωπεύει το αποτέλεσμα της δοκιμής και κάθε κόμβος φύλλων αντιπροσωπεύει μια ετικέτα κλάσης (απόφαση που λαμβάνεται αφού υπολογιστούν όλα τα χαρακτηριστικά). Αφού γίνει η εξέταση της σημαντικότητας του χαρακτηριστικού, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, στο στάδιο αυτό πραγματοποιείται η επιλογή των χαρακτηριστικών που θα πρέπει να αφαιρεθούν από τη διαδικασία επεξεργασίας, για το λόγο ότι δε συνεισφέρουν αρκετά ή και καθόλου στη διαδικασία πρόβλεψης. Αυτό είναι αρκετά σημαντικό, διότι οι κανόνες μηχανικής μάθησης υποστηρίζουν πως για μείωση της πιθανότητας υπερπαραμετροποίησης του μοντέλου θα πρέπει να παραχθούν όσον το δυνατόν περισσότερες δυνατότητες. Για αυτό το λόγο, είναι αναγκαίο ο αλγόριθμος να είναι εποπτευόμενος (Laura Tolosi et al., (2011)).

Διαφορά μεταξύ Δέντρων Απόφασης και Τυχαίου Δάσους (Difference between Decision Trees & R.F.)

Όπως έχει προαναφερθεί, ο R.F. είναι ένα σύνολο από δέντρα αποφάσεων, αλλά μεταξύ αυτών των δύο υπάρχουν διαφορές. Εάν εισαχθεί ένα σύνολο δεδομένων κατάρτισης με χαρακτηριστικά και ετικέτες σε ένα δέντρο αποφάσεων, θα διατυπωθεί κάποιο σύνολο κανόνων, το οποίο στη συνέχεια θα χρησιμοποιηθεί για την πραγματοποίηση των προβλέψεων. Στον αντίποδα, κατά τη λειτουργία του αλγορίθμου R.F., επιλέγονται τυχαία οι παρατηρήσεις και τα χαρακτηριστικά για την κατασκευή αρκετών δέντρων αποφάσεων και στη συνέχεια υπολογίζονται κατά μέσο όρο τα αποτελέσματα.

Μια ακόμη διαφορά, είναι πως τα δέντρα αποφάσεων στην περίπτωση που πρέπει να αναζητήσουν αρκετά χαρακτηριστικά, θα πρέπει να δοθεί σε αυτά ιδιαίτερη προσοχή, διότι κινδυνεύουν από υπερπαραμετροποίηση. Το Τυχαίο Δάσος αποτρέπει την υπερφόρτωση αυτή, τις περισσότερες φορές. Στην ουσία, προκειμένου να επιλύσει το προαναφερθέν πρόβλημα, αρχικά δημιουργεί τυχαία υποσύνολα χαρακτηριστικών, τα οποία διασπά σε μικρότερα, έως ότου δημιουργηθεί ο κατάλληλος αριθμός δέντρων. Έπειτα, υλοποιείται η διαδικασία του συνδυασμού των sub trees. Να σημειωθεί πως ο υπολογισμός του R.F. καθίσταται πιο αργός, ανάλογα με τα πόσα δέντρα χτίζονται από το τυχαίο δάσος.

Σημαντικότερες Παράμετροι

Οι παράμετροι αυτού χρησιμοποιούνται, ή για να αυξήσουν την προβλεπτική ισχύ του μοντέλου είτε για τη βελτίωση της ταχύτητάς του.

Η πρώτη και σημαντικότερη παράμετρος, αφορά τον αριθμό των δέντρων (**n_estimators**) που χτίζονται από τον αλγόριθμο, πριν υπολογιστούν οι μέσοι όροι των προβλέψεων. Γενικά, μεγαλύτερος αριθμός δέντρων έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της απόδοσης καθιστώντας τις προβλέψεις που υλοποιούνται πιο σταθερές, αλλά παρουσιάζει ως μειονέκτημα την επιβράδυνση των υπολογισμών.

Μια εξίσου αναγκαία παράμετρος είναι εκείνη των μέγιστων χαρακτηριστικών (**max_features**), η οποία αφορά το μέγιστο αριθμό των χαρακτηριστικών (όπως αναφέρει και το όνομά του) που επιτρέπει στον αλγόριθμο R.F. να εξετάσει, σε ένα μεμονωμένο δέντρο.

Τέλος, η τελευταία σημαντική παράμετρος έχει να κάνει με τον ελάχιστο αριθμό φύλλων (**min_sample_leaf**) που απαιτούνται για τον διαχωρισμό ενός εσωτερικού κόμβου.

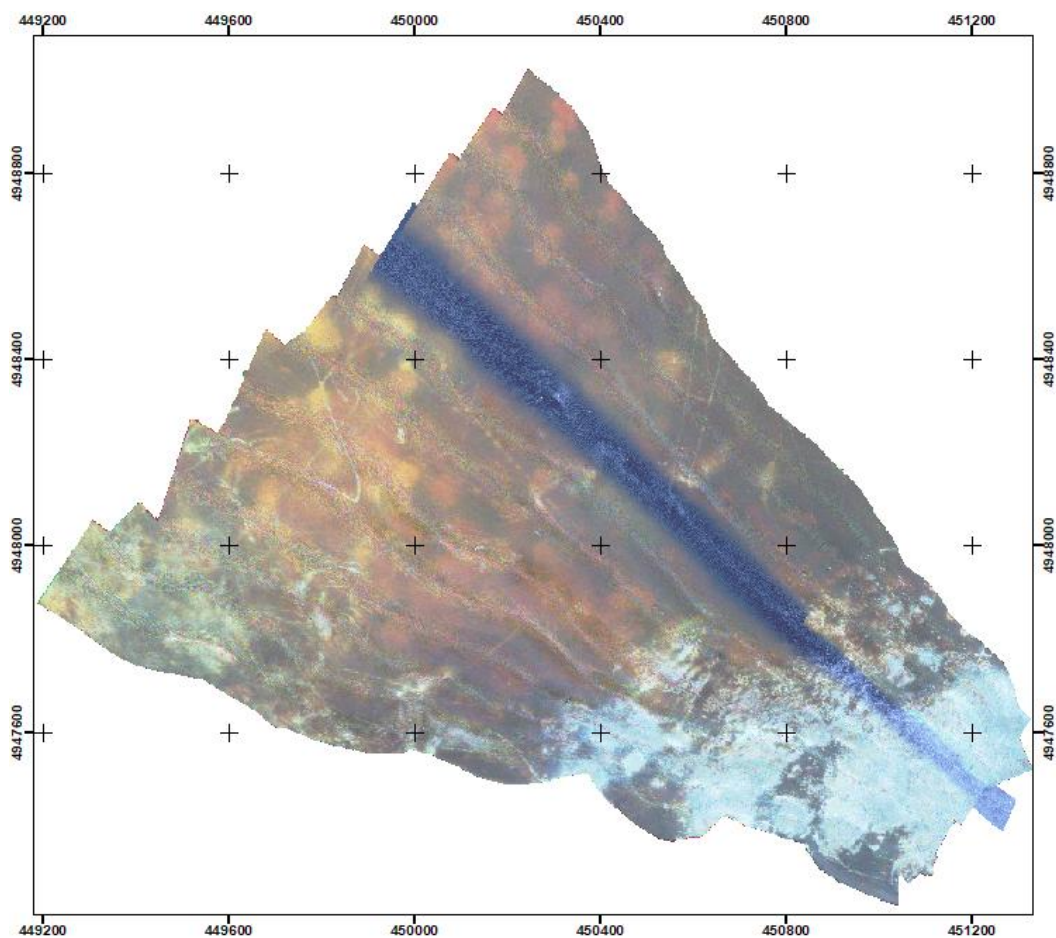
3.5 Δεδομένα Αναφοράς

Στο παρακάτω κεφάλαιο παρουσιάζεται η μέθοδος και τα βήματα που ακολουθήθηκαν για κάθε περιοχή ξεχωριστά, προκειμένου να παραχθούν δεδομένα αναφοράς τα οποία θα αποτελέσουν βάση για την υλοποίηση της ταξινόμησης κάθε περιοχής: Η προαναφερθείσα μελέτη παρουσιάζεται αναλυτικά παρακάτω:

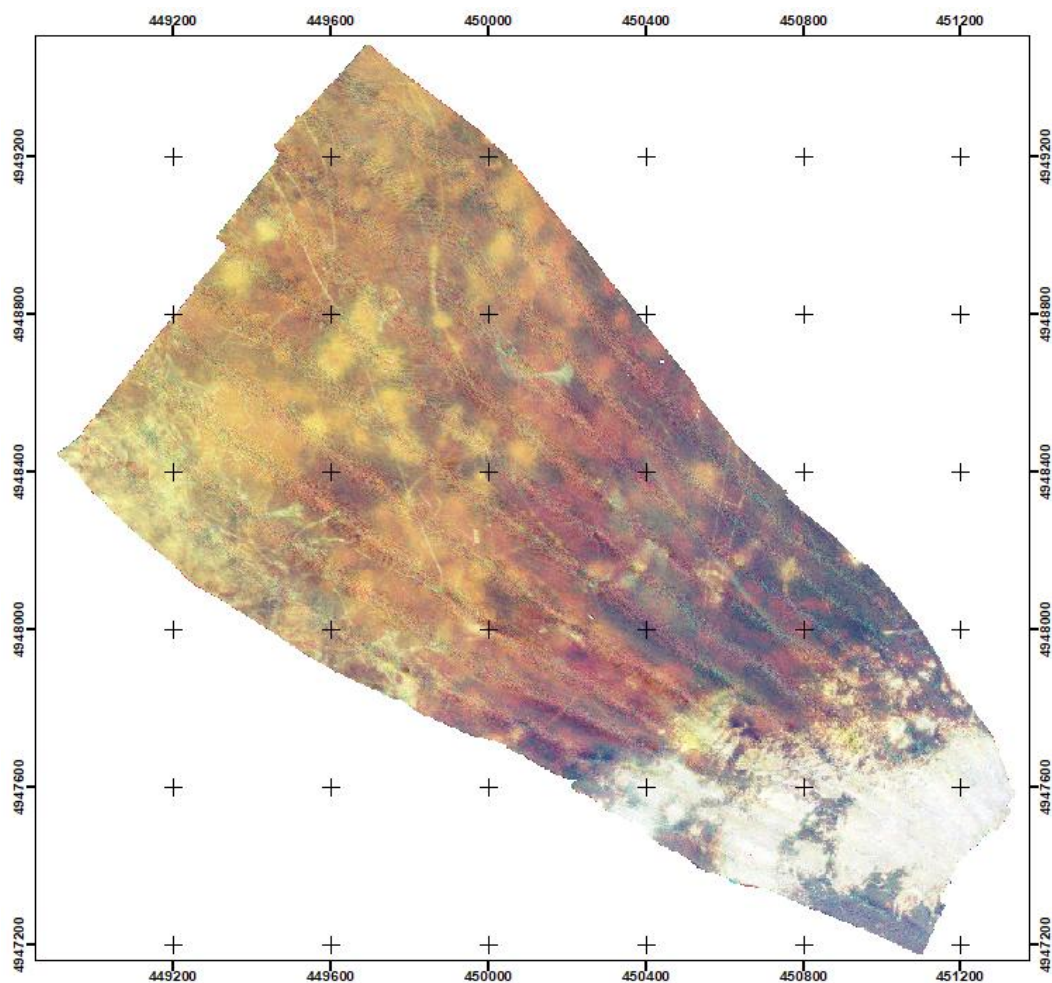
3.5.1 : Bedford Basin (2016 -17)

Η πρώτη περιοχή μελέτης, όπως έχει αναλυθεί και στην εισαγωγή, είναι αυτή του Bedford Basin. Για την ταξινόμηση των διάφορων ειδών βυθού από τα οποία απαρτίζεται, ακολουθήθηκε μια σειρά από βήματα, η οποία παρουσιάζεται αναλυτικά παρακάτω:

Αρχικά, τα δεδομένα για την τρέχουσα εφαρμογή ήταν διαθέσιμα σε δυο διαφορετικές χρονολογίες (2016, 2017). Για κάθε χρονολογία υπήρχαν καταγραφές στα 100kHz, 200kHz και 400kHz. Επομένως, οι διαθέσιμες εικόνες ήταν συνολικά έξι. Με σκοπό την ταξινόμηση του βυθού ξεχωριστά για τις δύο χρονολογίες, οι εικόνες συντέθηκαν σε δύο έγχρωμα σύνθετα (RGB: 100,200,400kHz). Τα αποτελέσματα της εν λόγω διαδικασίας παρουσιάζονται παρακάτω:



Εικόνα 32 - Έγχρωμο σύνθετο 2016 (RGB: 100, 200, 400 kHz)



Εικόνα 33 - Έγχρωμο σύνθετο 2017 (RGB: 100, 200, 400 kHz)

Όπως γίνεται αντιληπτό, παράχθηκαν δυο εικόνες, αντιπροσωπευτικές για τις χρονολογίες 2016 και 2017 αντίστοιχα. Για την ταξινόμηση των παραπάνω εικόνων (Εικόνες 32, 33), κρίθηκε αναγκαίο να υλοποιηθούν δυο προπαρασκευαστικά βήματα. Πρώτον, να ορισθεί το πλήθος των κατηγοριών που θα ανιχνεύει ο αλγόριθμος και δεύτερον να δημιουργηθεί εικόνα που θα εμπεριέχει τη θέση και τον κωδικό κάθε κατηγορίας στην πραγματικότητα (Ground Truth).

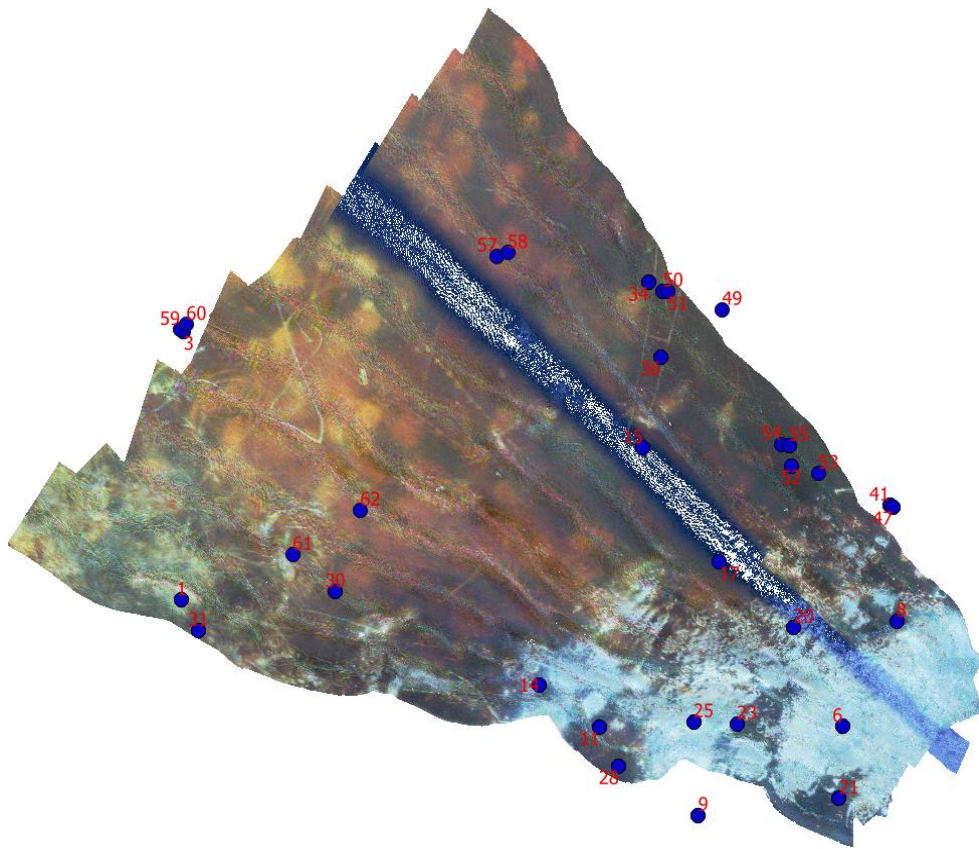
Ορισμός πλήθος κατηγοριών

Αρχικά, το πλήθος των κατηγοριών για τη προαναφερθείσα περιοχή εντοπίστηκε σύμφωνα με υπάρχοντες χάρτες του Καναδά, που υποδείκνυαν τον αριθμό και το είδος των κατηγοριών του βυθού από τις οποίες συντελείται η περιοχή. Με βάση τα παραπάνω, οι κατηγορίες που αποφασίστηκε να εξεταστούν ήταν οι εξής **πέντε**:

- Κίτρινη άμμος (Yellow Sand)
- Άμμος με άλγη (Sand with algae)
- Λασπώδης άμμος με κοράλια (Mud Sand with corals)
- Καθαρή άμμος (Sand)
- Βραχώδη/Χαλίκια (Rocky/Gravel)

Δημιουργία εικόνας με δεδομένα αναφοράς (Ground truth)

Αφού ορίστηκαν οι κατηγορίες, επόμενο βήμα ήταν η ψηφιοποίηση των δεδομένων εκπαίδευσης. Για να δημιουργηθούν τα πολύγωνα που αντιπροσωπεύουν τις κατηγορίες χρησιμοποιήθηκαν ως υπόβαθρο οπτικές εικόνες του βυθού με γνωστές συντεταγμένες. Στη συνέχεια, υπερτέθηκαν τα σημεία επί των βαθυμετρικών δεδομένων, όπως φαίνεται στην Εικόνα 34 (περιοχή Bedford Basin):



Εικόνα 34 – Σημεία γνωστού πυθμένα για την περιοχή Bedford Basin 2016

Επόμενο βήμα, ήταν η ψηφιοποίηση αντιπροσωπευτικών πολυγώνων για τις κατηγορίες της περιοχής. Όπως προαναλύθηκε, οι διαφορετικοί τύποι κατηγοριών μορφολογίας του πυθμένα για την περιοχή του Bedford Basin είναι πέντε. Παρακάτω παρουσιάζονται ενδεικτικά, κάποιες εικόνες που αντιστοιχούν σε γνωστά σημεία του πυθμένα.



Εικόνα 35: Κατηγορία 1 Κίτρινη άμμος (Yellow Sand)



Εικόνα 36: Κατηγορία 2 Άμμος με άλγη (Sand with algae)



Εικόνα 37: Κατηγορία 3 Λασπώδης άμμος με κοράλια (Muddy Sand with corals)

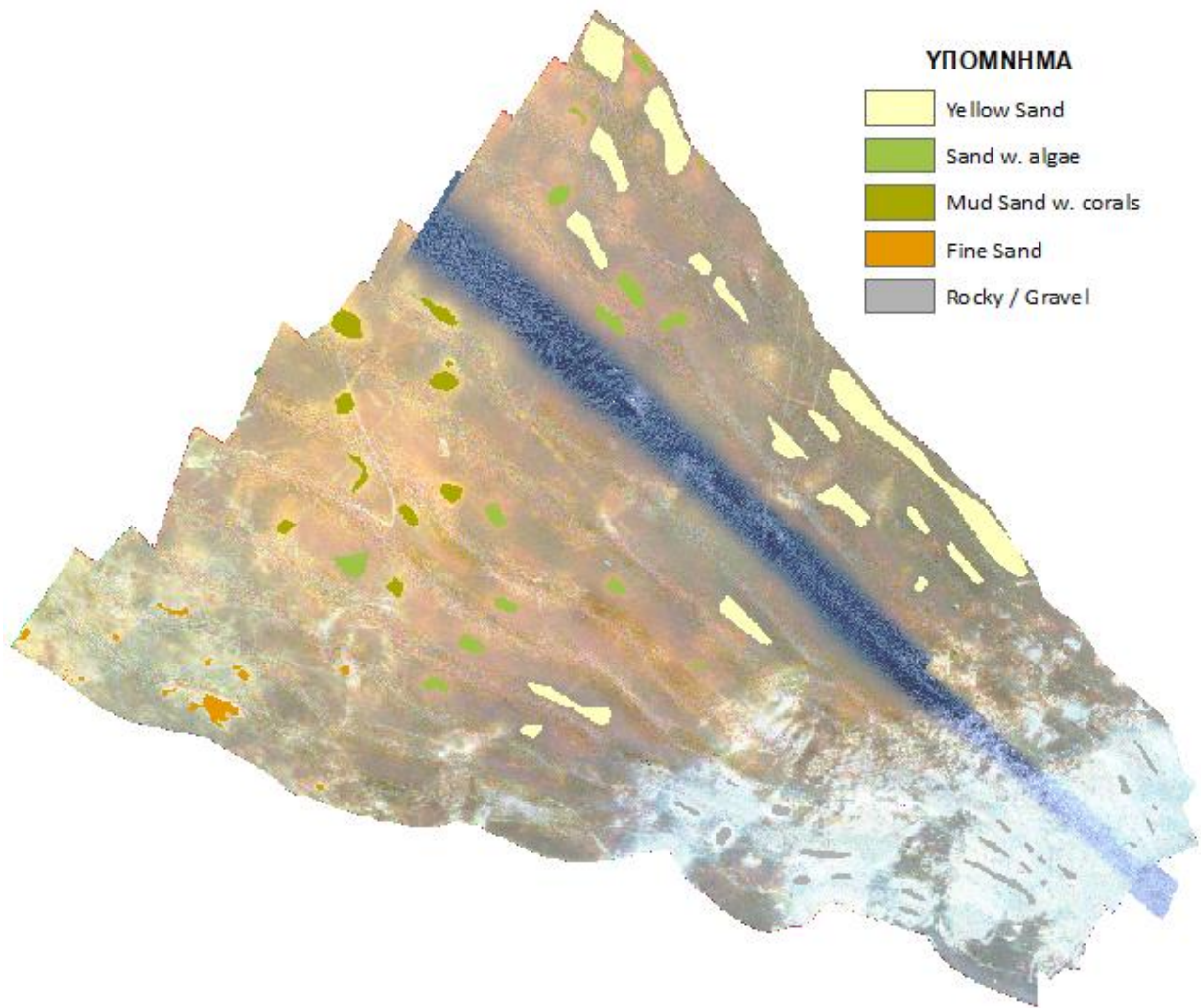


Εικόνα 38: Κατηγορία 4 Άμμος (Sand / Fine Sand)

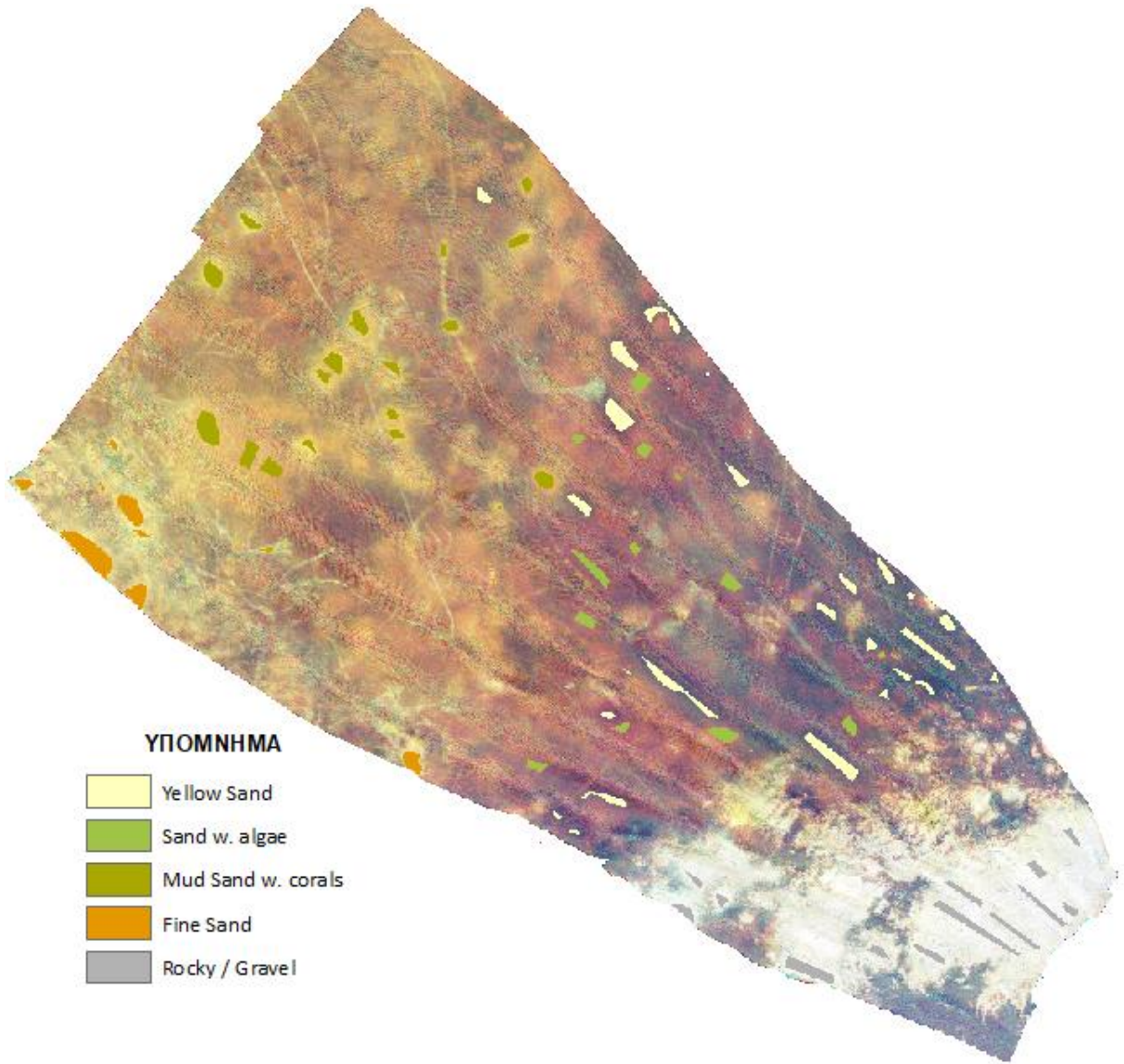


Εικόνα 39: Κατηγορία 5 Χαλίκια / Βραχώδη (Gravel / Rocky)

Με βάση τις παραπάνω αντιπροσωπευτικές εικόνες των κατηγοριών (Εικόνα 35 -> 39), πραγματοποιήθηκε η ψηφιοποίηση των πολυγώνων των κατηγοριών. Ανάλογα με την κατηγορία στην οποία ανήκε κάθε πολύγωνο, αποδόθηκε στα φατνία που το απάρτιζαν, ένας κωδικός από 1 έως 5. Το αποτέλεσμα παρουσιάζεται παρακάτω, αρχικά για την πρώτη περιοχή (Bedford Basin) (2016 και 2017 αντίστοιχα).



Εικόνα 40 – Δεδομένα Αναφοράς για την περιοχή Bedford Basin 2016

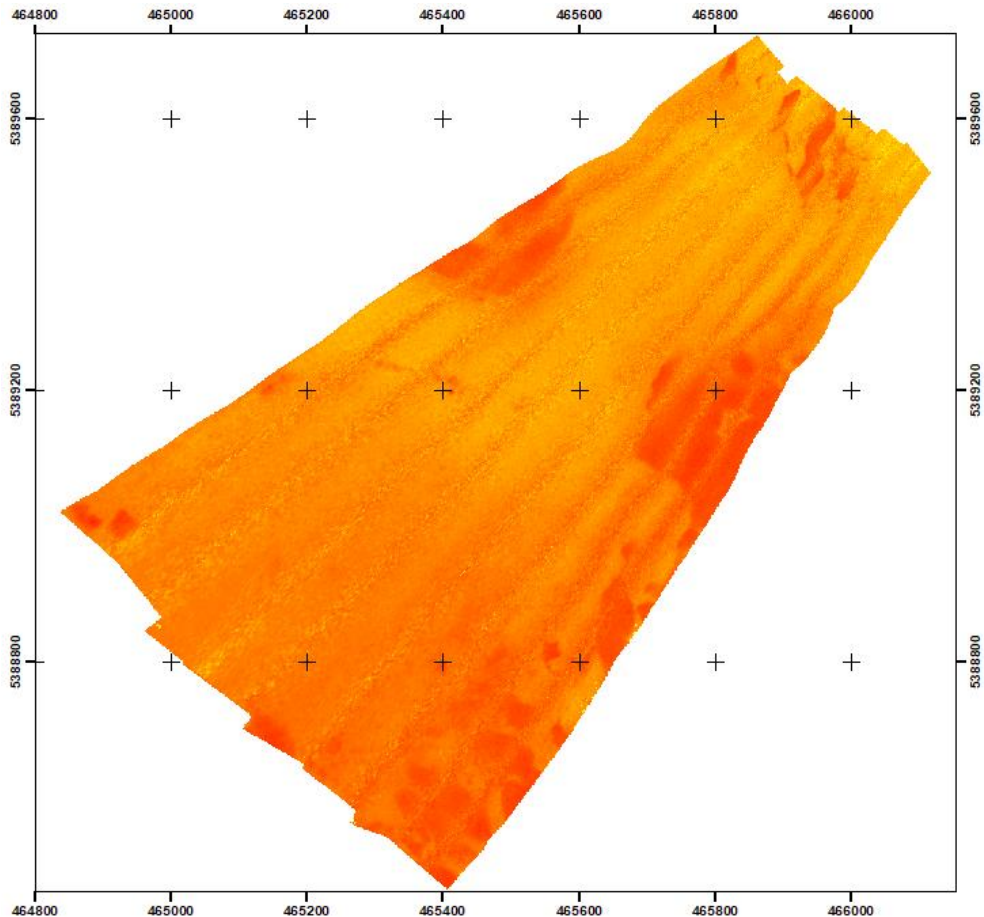


Εικόνα 41 – Δεδομένα Αναφοράς για την περιοχή Bedford Basin 2017

3.5.2 Patricia Bay

Η δεύτερη περιοχή μελέτης, εντοπίζεται στις δυτικές ακτές του Καναδά, ονόματι Patricia Bay. Αντίστοιχα και για αυτή, υλοποιήθηκαν κάποια προπαρασκευαστικά στάδια, με απώτερο στόχο την ταξινόμηση της.

Αρχικά, ως δεδομένα είχαμε τρεις εικόνες της ίδιας χρονολογίας (2017), για τρεις διαφορετικές συχνότητες καταγραφής (100 kHz, 200 kHz, 400 kHz). Έτσι για την επεξεργασία των προαναφερθέντων εικόνων συνολικά, συντέθηκαν σε ένα έγχρωμο σύνθετο RGB: 100,200,400 kHz.



Εικόνα 42: Έγχρωμο σύνθετο Patricia Bay (RGB: 100, 200, 400 kHz)

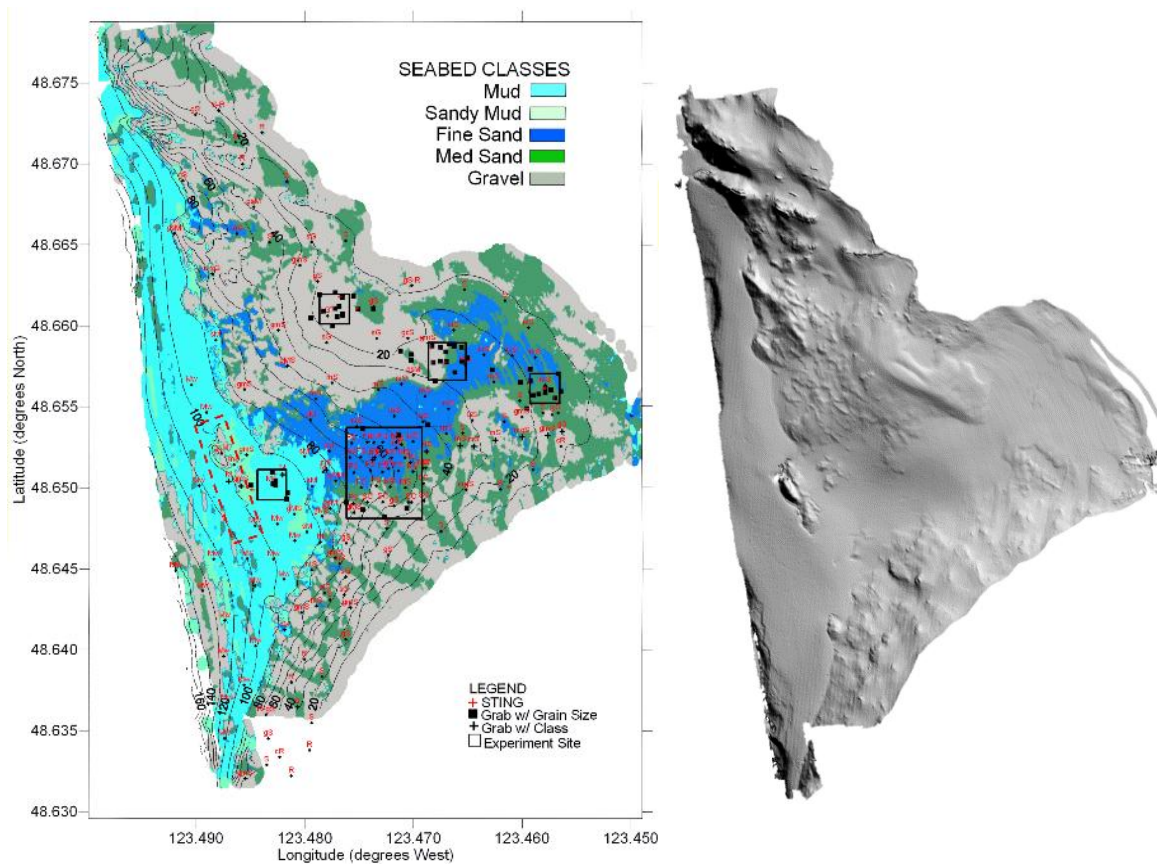
Επιλογή Κατηγοριών

Για την επιλογή των κατηγοριών, αξιοποιήθηκαν χάρτες, οι οποίοι απέδιδαν τη γεωλογική μορφολογία του πυθμένα της περιοχής (Benjamin R. Biffard (2003) . Στην Εικόνα 43 ένα δείγμα αυτών:

Σύμφωνα με τους παρακάτω χάρτες, στην περιοχή υπάρχουν οι εξής τρεις κατηγορίες:

- Άμμος (λεπτόκοκκη) (Sand / Fine Sand)
- Λασπώδης Άμμος (Mud Sand)
- Χαλίκια / Βραχώδη (Gravel / Rocky)

Έχοντας ως αναφορά τους χάρτες, και λαμβάνοντας υπόψη τις εναλλαγές των διάφορων τόνων στην εικόνα, δημιουργήθηκε νέα που αποτυπώνει τα δεδομένα αναφοράς ανά κατηγορία. Το αποτέλεσμα παρουσιάζεται στην εικόνα 44.



Εικόνα 43: Γεωμορφολογικοί Χάρτες πυθμένα της περιοχής Patricia Bay

Δεδομένα Αναφοράς Patricia Bay



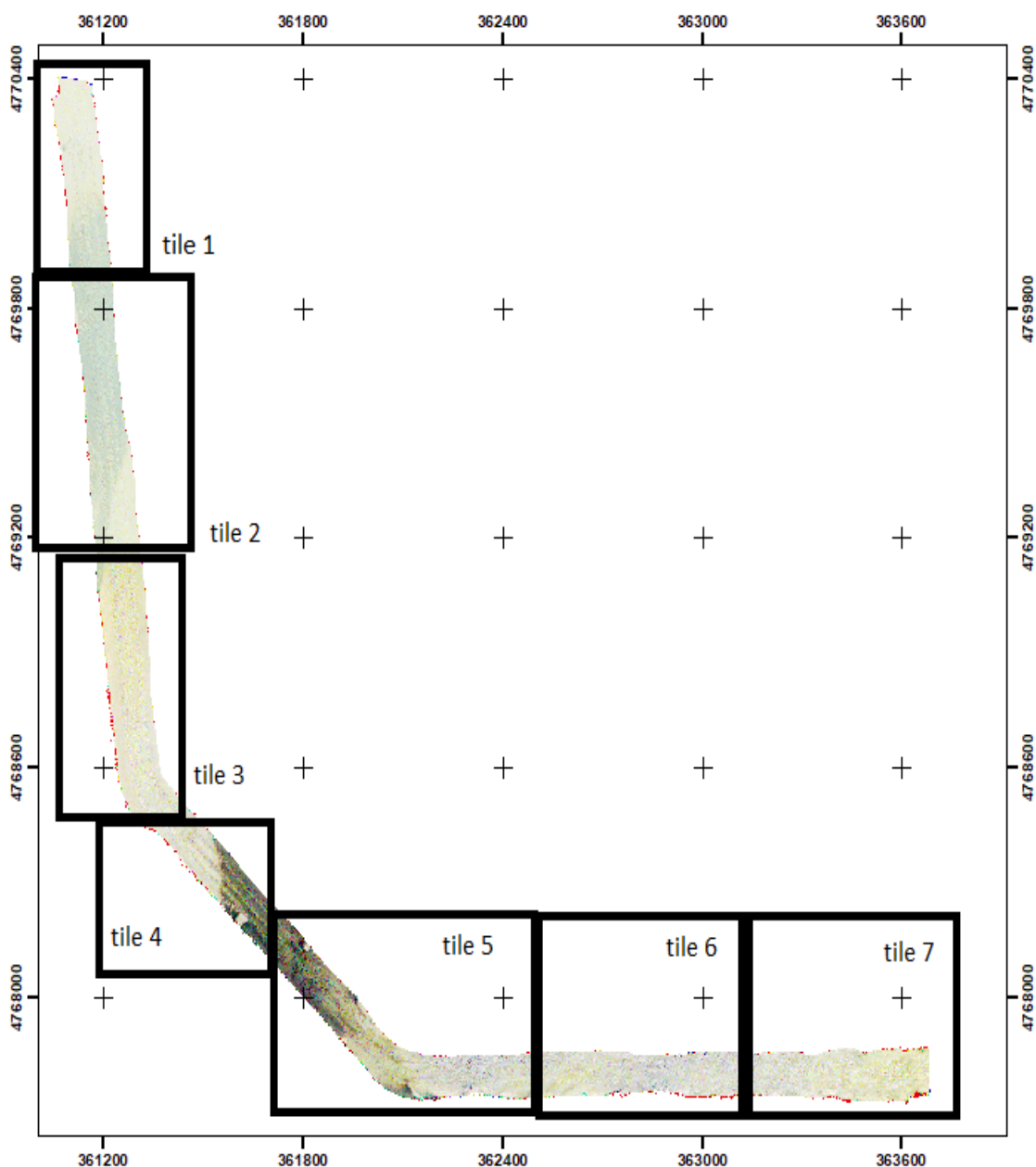
Εικόνα 44 Δεδομένα Αναφοράς για την περιοχή Patricia

3.5.3 NewBex – Portsmouth Harbor

Δημιουργία Πηγαίας Εικόνας

Για την τελευταία και τρίτη περίπτωση, τα δεδομένα αφορούσαν στην αποτύπωση του κόλπου Portsmouth Harbor και ήταν κερματισμένα σε υπό-τμήματα (tile 1 -> 7), λόγω μεγάλου όγκου. Πιο συγκεκριμένα, υπήρχαν 7 τμήματα (tiles), καταγεγραμμένα σε 3 διαφορετικές συχνότητες (100, 200, 400 kHz), άρα στο σύνολό τους 21 εικόνες (Κεφάλαιο 3.2.7).

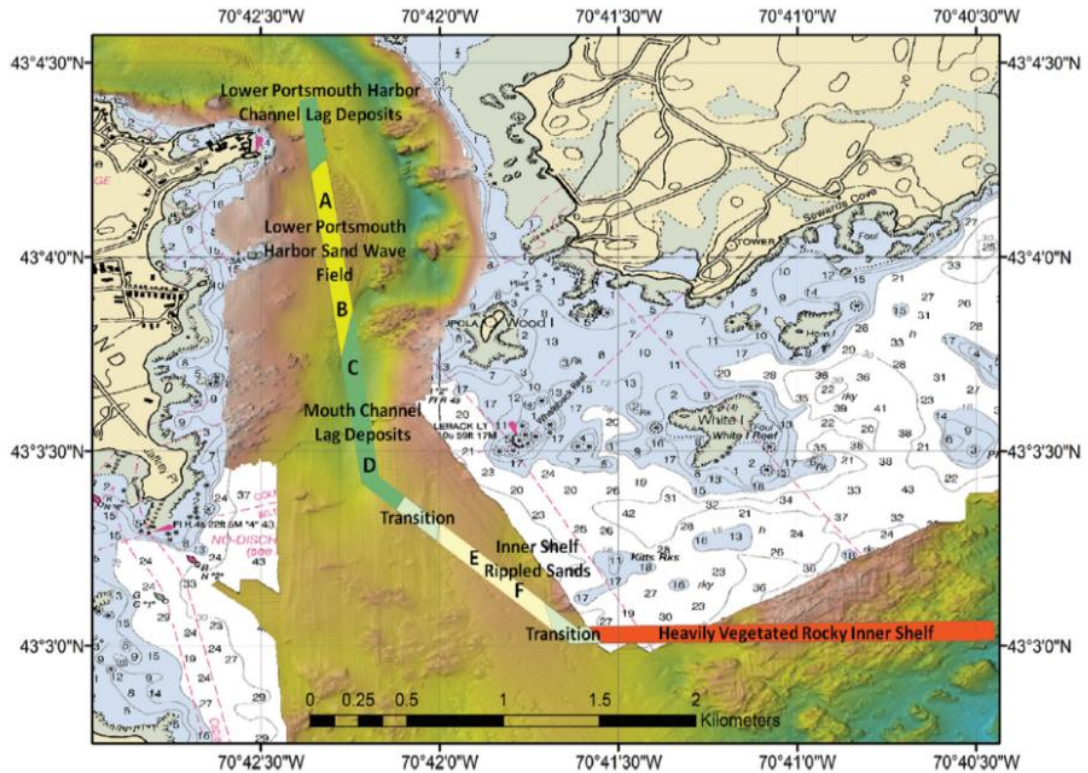
Αντίστοιχα, όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις, για την ορθή μελέτη της περιοχής, δημιουργήθηκε ένα έγχρωμο σύνθετο με κανάλια, όσο ο αριθμός των συχνοτήτων καταγραφής (3). Για την υλοποίηση όμως του σταδίου αυτού, απαραίτητο βήμα, ήταν να υλοποιηθεί η ένωση των υποτμημάτων της περιοχής (κρατώντας τη γεωαναφορά τους). Έτσι, έπειτα από την πραγματοποίηση της προαναφερθείσας διαδικασίας, έγινε η δημιουργία των έγχρωμων σύνθετων. Το συνολικό σετ δεδομένων (7 tiles, 3 συχνότητες καταγραφής) παρουσιάζεται παρακάτω:



Εικόνα 45: Σετ δεδομένων NewBex – Portsmouth Harbor (100, 200, 400 kHz)

Επιλογή Κατηγοριών

Η επιλογή των κατηγοριών, με σκοπό την επίτευξη της ταξινόμησης, υλοποιήθηκε χρησιμοποιώντας γεωμορφολογικούς χάρτες του πυθμένα της περιοχής (John L. Heaton et al., (2017)). Ένας από αυτούς παρουσιάζεται παρακάτω:



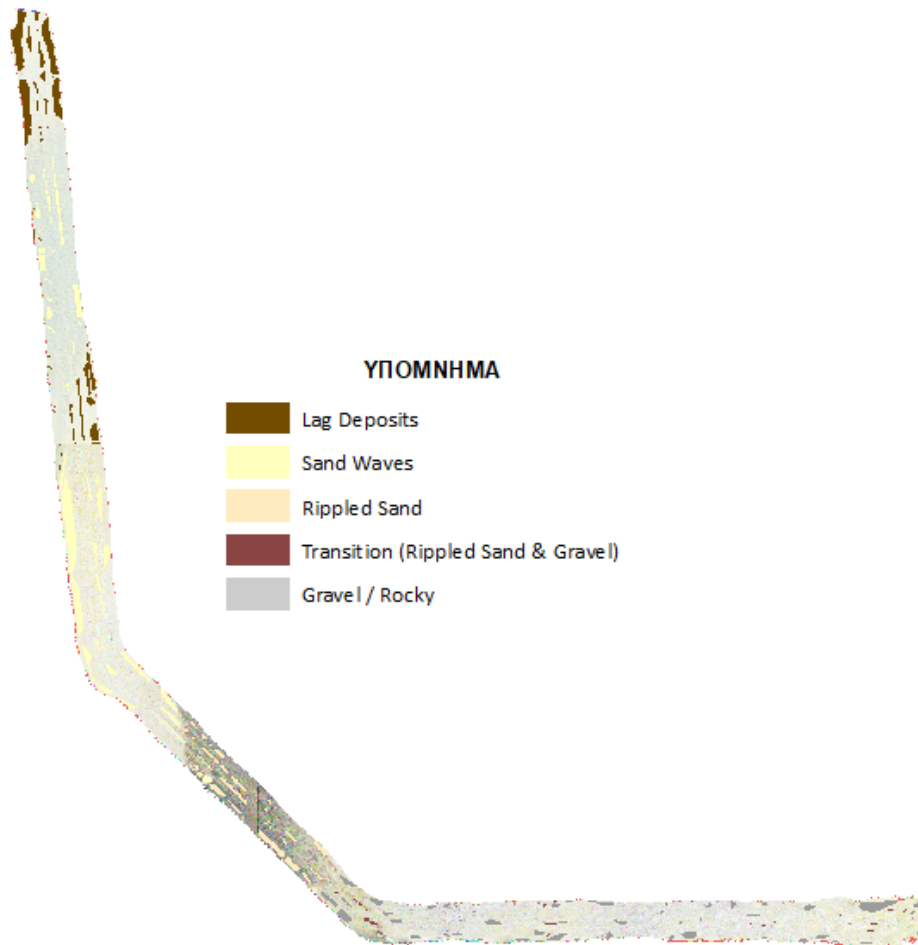
Εικόνα 46: Γεωμορφολογικός χάρτης πυθμένα της περιοχής NewBex

Αφού πραγματοποιήθηκε η μελέτη των χαρτών, ο αριθμός των κατηγοριών που επιλέχτηκε ήταν πέντε (5) :

- Λασπώδης Άμμος με βράχια (Lag Deposits)
- Κυματώδης Άμμος (Sand Waves)
- Ανομοιόμορφα κυματώδης Άμμος (Rippled Sand)
- Βράχια / Χαλίκια
- Μετάβαση μεταξύ ανομοιόμορφα κυματώδους άμμου και χαλικιών/βράχων

Συνοψίζοντας, αφού ορίστηκαν οι κατηγορίες, επόμενο βήμα ήταν η δημιουργία εικόνας, που θα αποτυπώνει τα δεδομένα αναφοράς ανά κατηγορία. Το αποτέλεσμα παρουσιάζεται παρακάτω:

Δεδομένα Αναφοράς NewBex (Portsmouth Harbor)



Εικόνα 47 – Δεδομένα Αναφοράς για την περιοχή NewBex

3.5.3 Κατηγορίες Γενικευμένου Μοντέλου

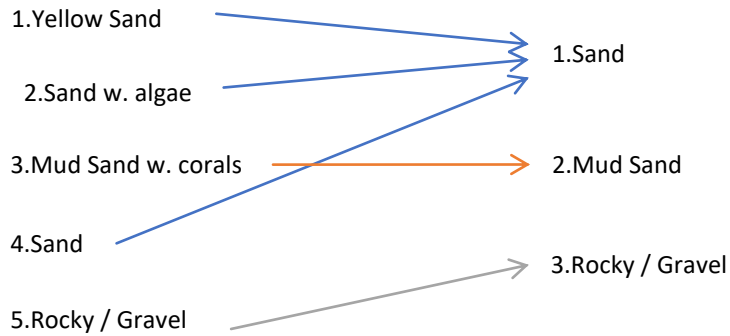
Τελευταίο στάδιο της παρούσας εργασίας, ήταν η δημιουργία ενός μοντέλου (ενιαίου), που θα συμπεριλάμβανε και τις τρεις περιοχές, οι οποίες αναλύθηκαν προηγουμένως, σε μια. Για την υλοποίηση του σκοπού αυτού υλοποιήθηκαν τα εξής στάδια.

Αρχικά, αναγκαίο προπαρασκευαστικό στάδιο ήταν αυτό της δημιουργίας κοινών στοιχείων μεταξύ των τριών περιοχών, με απώτερο στόχο τη διευκόλυνση στην ενοποίησή τους. Για το λόγο αυτό, μελετήθηκαν όλες οι κατηγορίες όλων των περιοχών, κοινές και μη, στη συνέχεια εξετάστηκαν τα χαρακτηριστικά τους (μορφολογία, φωτεινότητες κλπ.) με απώτερο σκοπό τη δημιουργία νέων, ώστε να αποτελέσουν τον κοινό κώδικα σύνδεσής μεταξύ τους. Ύστερα από αρκετά πειράματα και δοκιμές οι κατηγορίες που επιλέχθηκαν παρουσιάζονται παρακάτω, συνοδευόμενες με τον κωδικό τους:

- Κατηγορία 1: Άμμος (Sand / Fine Sand)
- Κατηγορία 2: Λασπώδης Άμμος (Mud Sand)
- Κατηγορία 3: Χαλίκια / Βράχια (Gravel / Rocky)

Έχοντας ως πυλώνα τις προαναφερθείσες κατηγορίες, πραγματοποιήθηκε αναθεώρηση των αρχικών για κάθε περιοχή. Για την υλοποίηση του σκοπού αυτού, έγιναν κάποιες ενοποιήσεις αλλά και τροποποιήσεις προκειμένου να επιτευχθεί.

Έτσι, ως προς την **πρώτη περιοχή (Bedford Basin)**, επειδή οι αρχικές κατηγορίες ήταν σε αριθμό περισσότερες (5) από τις νέες αλλά και διαφορετικές, υλοποιήθηκαν οι παρακάτω αλλαγές:

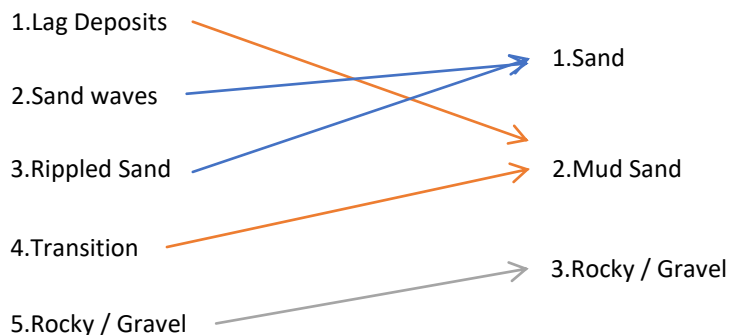


Πίνακας 2: Μετασχηματισμοί των κατηγοριών για την περιοχή Bedford Basin

Με βάση τον Πίνακα 2, πραγματοποιήθηκε ένωση των κατηγοριών 1,2,4 με ενιαίο κωδικό 1. Επίσης στην κατηγορία 3 της περιοχής έγινε αλλαγή του κωδικού της από 3 σε 2 και τέλος ως προς την τελευταία κατηγορία (Rocky / Gravel), έγινε επίσης αλλαγή του κωδικού της, από 5 σε 3.

Ως προς τη **δεύτερη περιοχή (Patricia Bay)**, επειδή οι αρχικές της κατηγορίες και οι νέες είχαν τον ίδιο ακριβώς κωδικό, δεν υλοποιήθηκε κάποια αλλαγή ως προς αυτή την περιοχή.

Τέλος, ως προς την **τρίτη περιοχή (NewBex/Portsmouth)**, επειδή οι αρχικές κατηγορίες ήταν σε αριθμό περισσότερες (5) από τις νέες, έγιναν κάποιες ενοποιήσεις (Πίνακας 3):



Πίνακας 3: Μετασχηματισμοί των κατηγοριών για την περιοχή NewBex/Portsmouth

Με βάση τον Πίνακα 3, παρατηρείται ένωση των κατηγοριών 2, 3 με ενιαίο κωδικό 1. Επίσης, ενοποιούνται οι κατηγορίες 1, 4 με ενιαίο κωδικό 2 και τέλος ως προς την τελευταία κατηγορία (Rocky / Gravel), τροποποιήθηκε ο αντιπροσωπευτικός κωδικός της από 5 σε 3.

Αφού υλοποιήθηκαν οι παραπάνω αλλαγές, αποτέλεσμα αυτού, ήταν να δημιουργηθούν για κάθε περιοχή δεδομένα αναφοράς, τα οποία θα έχουν κοινά επίπεδα επικοινωνίας.

Πειραματική Επιλογή Κατάλληλου Αλγορίθμου & Παρουσίαση του Τρόπου Λειτουργίας του

Επόμενο σημαντικό στοιχείο, αφορά την επιλογή του αλγορίθμου επεξεργασίας. Για την παρούσα εργασία, με τα διαθέσιμα δεδομένα, ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε για την επίλυση του προβλήματος, ήταν αυτός του Random Forest (αριθμός δέντρων = 10). Ο εναλλακτικός αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε για τη

σύγκρισή του, ήταν ο SVM – Linear , αλλά ο πυλώνας επεξεργασίας των δεδομένων αλλά και η μεθοδολογία που χρησιμοποιεί για την ταξινόμησή τους, ήταν απλούστερη για την επίλυση του παρόντος προβλήματος σε αντίθεση με τον R.F.(στην επιθυμητή ακρίβεια). Αποτέλεσμα αυτού, ήταν τα αποτελέσματα που εξάγονταν, να μην ήταν τα επιθυμητά (χαμηλή ακρίβεια).

Τέλος, ο επιλεγμένος αλγόριθμος (R.F) που συντάχθηκε λειτουργεί ως εξής:

Αρχικά, δέχεται ως δεδομένα εισαγωγής τις εικόνες (σε μορφή πίνακα), από κάθε περιοχή. Όσον αφορά την πρώτη, επειδή όπως έχει προαναφερθεί δόθηκαν δυο χρονολογίες που αφορούσαν την ίδια περιοχή άρα και δυο εικόνες, επιλέχτηκε να εισαχθεί στον αλγόριθμο ταξινόμησης αυτή που αντιπροσώπευε την χρονολογία του 2017. Η επιλογή αυτή έγινε, διότι η προαναφερθείσα εικόνα παρουσίαζε λιγότερο θόρυβο και η χωρική της ανάλυση ήταν καλύτερη, από αυτής του 2016. Επίσης ως δεδομένο, δέχεται και τις εικόνες των τριών περιοχών που περιέχουν τα δεδομένα αναφοράς με τους ενιαίους κώδικες, όπως προαναλύθηκαν. Τέλος, δέχεται και τον αριθμό των κατηγοριών, με βάση τις οποίες ο αλγόριθμος θα ταξινομήσει τα δεδομένα.

Με βάση όλα τα παραπάνω στοιχεία, προσαρμόστηκε ο αλγόριθμος κατάλληλα ώστε να ενοποιεί όλα τα δεδομένα και των τριών περιοχών και να ξεκινάει την εκμάθηση των στοιχείων. Τα αποτελέσματα από την υλοποίηση της μεθόδου, παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 4.3, συνοδευόμενοι από τους πίνακες σύγχυσης.

Κεφάλαιο 4 : Πειραματικά Αποτελέσματα & Αξιολόγηση

Η ανεπτυγμένη μεθοδολογία για τον εντοπισμό βυθομετρικών & γεωλογικών μεταβολών στους πυθμένες αξιολογήθηκε, με βάση τη διεθνή βιβλιογραφία, μέσω των πινάκων σύγχυσης (Confussion Matrix), και μέσα από ένα εκτεταμένο πλαίσιο εργαστηριακών πειραμάτων.

Αρχικά, ως προς την παραγωγή των βυθομετρικών χαρτών, παρήχθησαν έξι (6) χάρτες, όπου υλοποιήθηκε αξιολόγηση αυτών αλλά και ανάλυση τους Στη συνέχεια, ως προς τη διαδικασία ταξινόμησης (αρχικά για κάθε περιοχή ξεχωριστά), πραγματοποιήθηκαν τέσσερα (4) τελικά αποτελέσματα όπου για κάθε ένα από αυτά, ακολούθησε η διαδικασία αξιολόγησής τους. Επιπροσθέτως, υλοποιήθηκε περαιτέρω ανάλυση των προαναφερθέντων αποτελεσμάτων, παρατηρώντας μεταβολές στα γεωλογικά στοιχεία του πυθμένα σε βάθος ενός χρόνου για την πρώτη μόνο περιοχή (λόγο περιορισμένων δεδομένων).

Τέλος, ως προς το τελευταίο στάδιο των Αποτελεσμάτων, παρήχθησαν 3 χάρτες ταξινόμησης, όπου χρησιμοποιήθηκε το Γενικευμένο Μοντέλο, οι οποίοι αξιολογήθηκαν χρησιμοποιώντας τους πίνακες σύγχυσης ως άξονα αξιολόγησης.

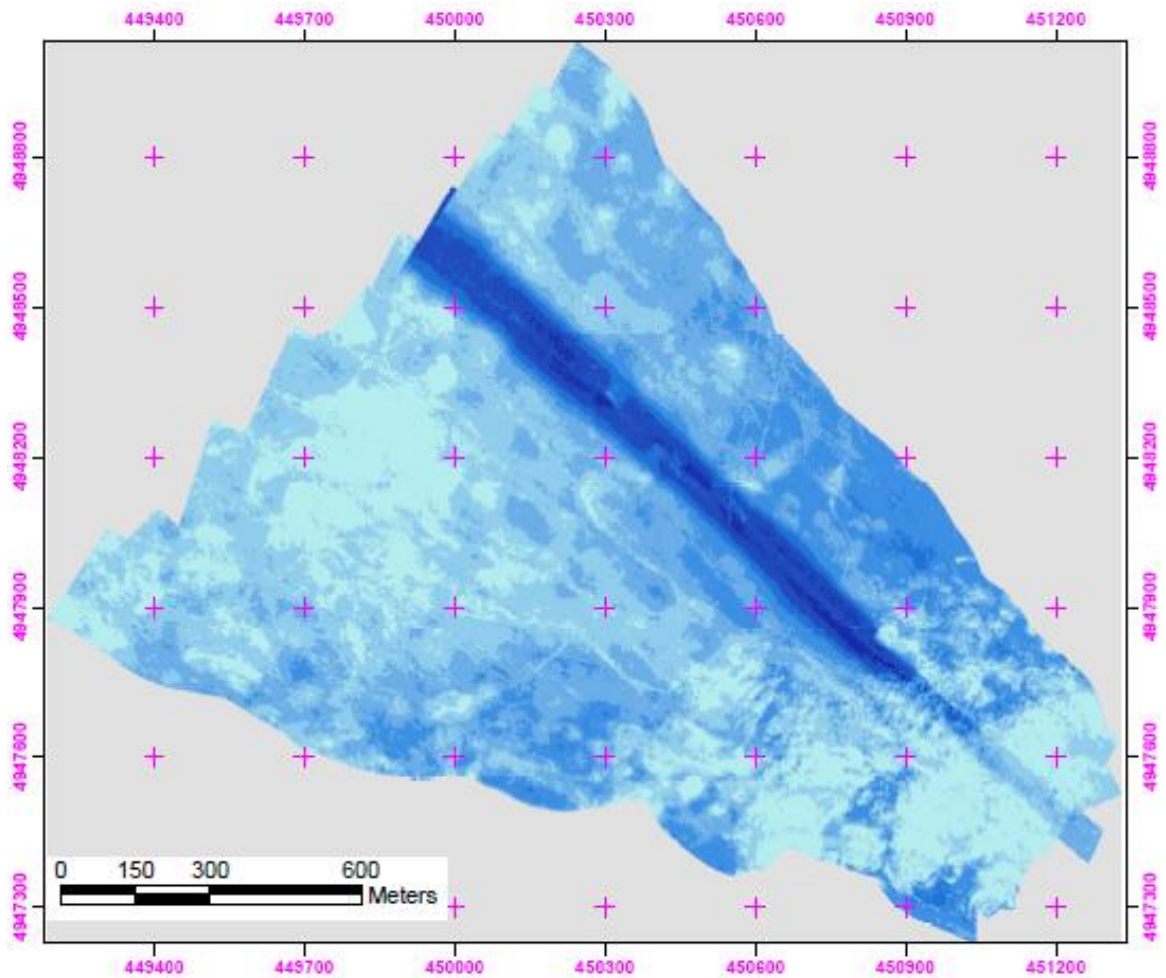
Παρακάτω παρουσιάζονται τα προαναφερθέντα αποτελέσματα:

4.1 : Βυθομετρικοί Χάρτες

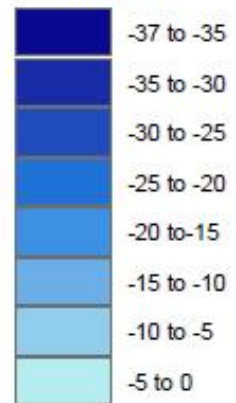
Στο υποκεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται το αποτέλεσμα των βυθομετρικών χαρτών της πρώτης περιοχής (Bedford Basin), για κάθε συχνότητα καταγραφής (100,200 &400 kHz), για κάθε χρονολογία (2016 -17), ύστερα από την εφαρμογή του αλγορίθμου παραγωγής τους (Κεφάλαιο 3.3.5):

4.1.1 Bedford Basin 2016

Για την υλοποίηση του πρώτου χάρτη (2016, 100 kHz), εφαρμόστηκαν τα στάδια που περιγράφηκαν αναλυτικά στο Κεφάλαιο 3.5 Συγκεκριμένα υπολογίστηκαν οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές του νέφους σημείων που περιέγραφαν την περιοχή, με απώτερο στόχο την οριοθέτηση του μεγέθους του χάρτη και υπολογίστηκε το κατώφλι, αξιοποιώντας το βήμα καταγραφής. Έτσι, διατρέχοντας όλα τα φατνία της εικόνας, τοποθετήθηκε η αρμόζουσα τιμή βάθους. Αναλυτικά, η διάσταση της παρούσας εικόνας ήταν 13923 x 11681, το βήμα καταγραφής ήταν για το διαμήκη άξονα (x'x) 18,3 cm και για τον κατακόρυφο (y'y) υπολογίστηκε ως 15.3cm. Κατά συνέπεια οι τιμές κατωφλιών ήταν 9cm και 7.65cm αντίστοιχα. Συνοψίζοντας, έχοντας ως δεδομένα τα παραπάνω, υλοποιήθηκε η διαδικασία παραγωγής του συγκεκριμένου χάρτη (Εικόνα 48).

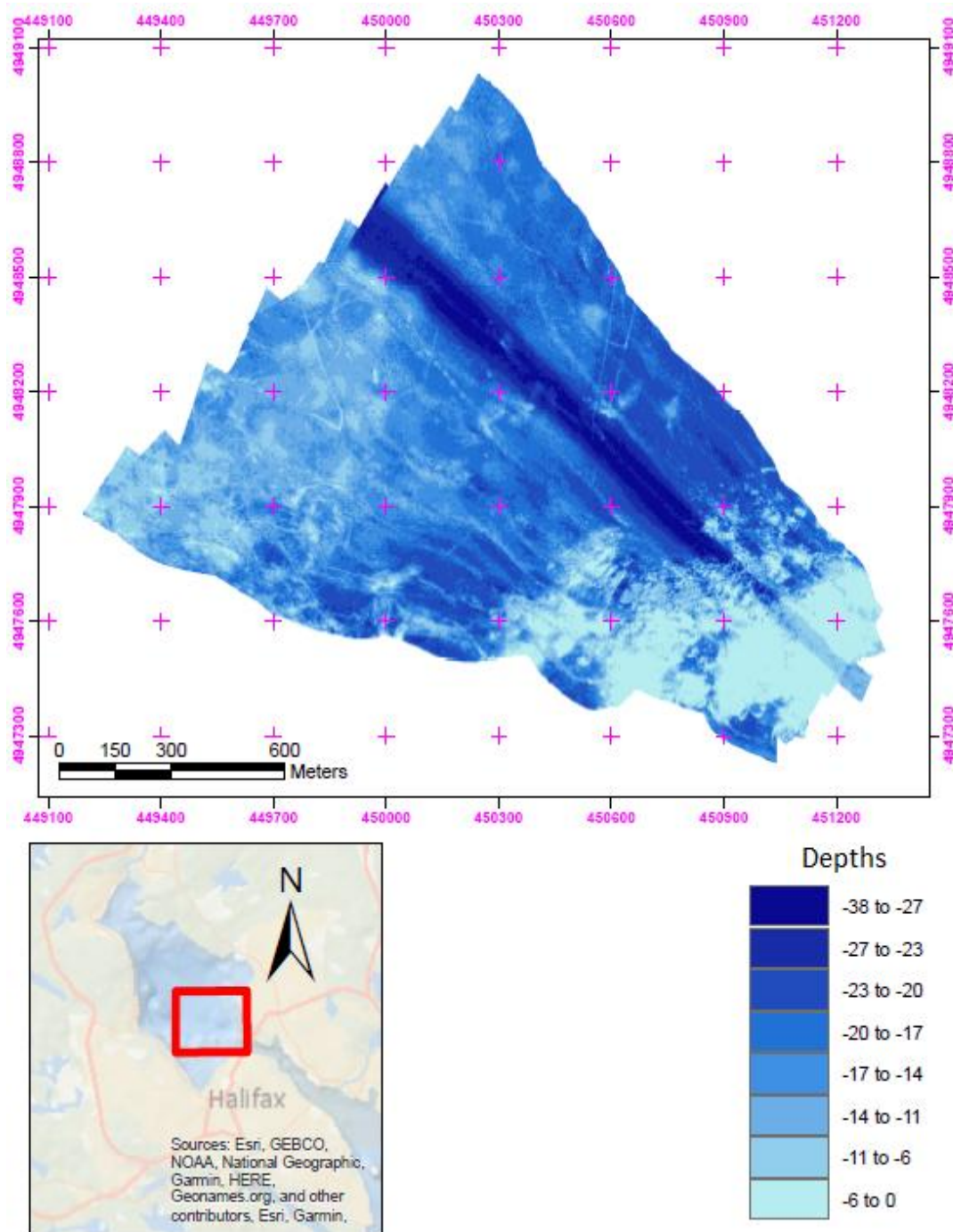


Depths



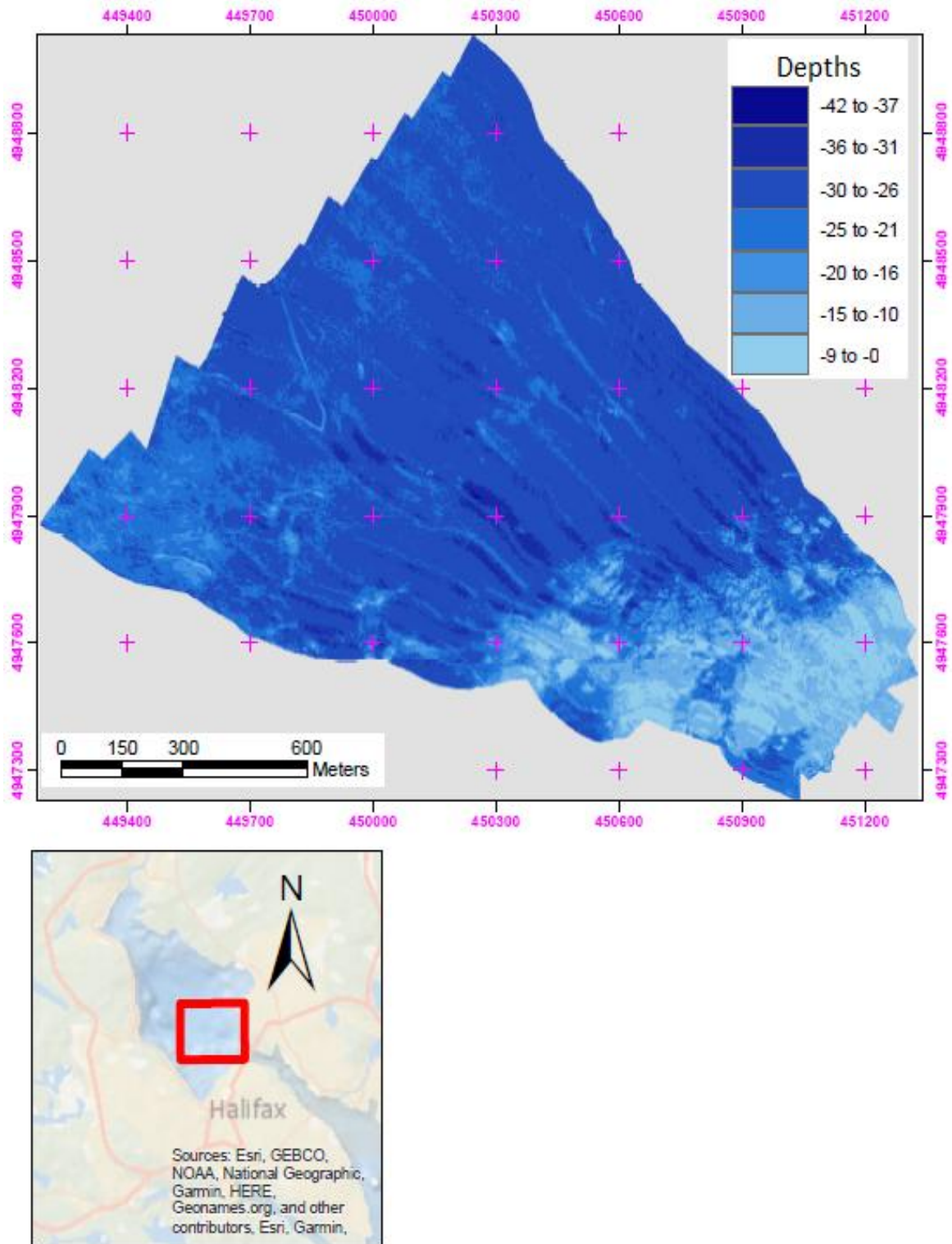
Εικόνα 48: Βυθομετρικός Χάρτης Bedford Basin 2016 100kHz

Ο χάρτης που ακολουθεί (Εικόνα 49) αντιπροσωπεύει τη χρονολογία 2016 αλλά με συχνότητα καταγραφής τα 200kHz. Για την παραγωγή του δόθηκαν τα εξής δεδομένα: Αρχικά οι διαστάσεις του (παραμένουν ίδιες) υπολογίστηκαν ως 11681 x 13923, οι ελάχιστες τιμές για τον διαμήκη άξονα ήταν 449362 και αντίστοιχα για τον κατακόρυφο 4946970. Αντίστοιχα για τις μέγιστες τιμές, για τον διαμήκη άξονα υπολογίστηκε ως 451500 και για τον κατακόρυφο 4949100. Το μέγεθος καταγραφής διατηρείται με τιμή 18.3cm για τον άξονα x'x και για τον γ'γ 15.3cm. Αξιοποιώντας, τα προαναφερθέντα στοιχεία, εφαρμόστηκε ο αλγόριθμος παραγωγής βυθομετρικών χαρτών και το αποτέλεσμα παρουσιάζεται παρακάτω (Εικόνα 49):



Εικόνα 49: Βυθομετρικός Χάρτης Bedford Basin 2016 200kHz

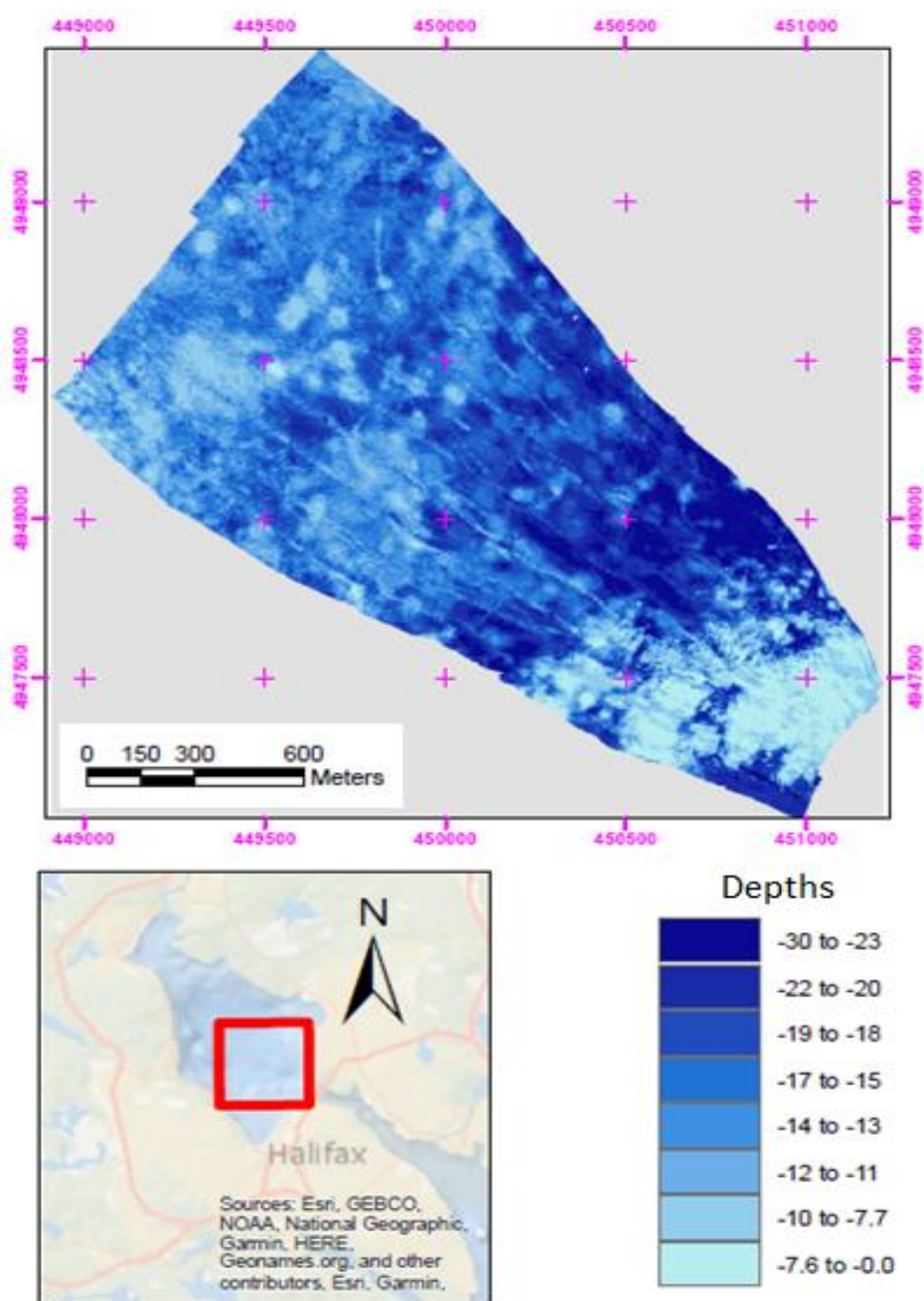
Ο τελευταίος χάρτης (Εικόνα 50) αντιπροσωπεύει την ίδια χρονολογία, αλλά με συχνότητα καταγραφής 400 kHz. Για την παραγωγή του αρχικά, υλοποιήθηκε η εισαγωγή των δεδομένων. Αυτά δεν διαφοροποιούνται από τους δυο προηγούμενους χάρτες για το λόγο ότι αναφέρονται στην ίδια χρονολογία και στην ίδια περιοχή μελέτης. Η διαφοροποίηση μεταξύ τους παρατηρείται μόνο μεταξύ των τιμών των βαθών των σημείων (δηλαδή η τρίτη τους διάσταση)



Εικόνα 50: Βυθομετρικός Χάρτης Bedford Basin 2016 400kHz

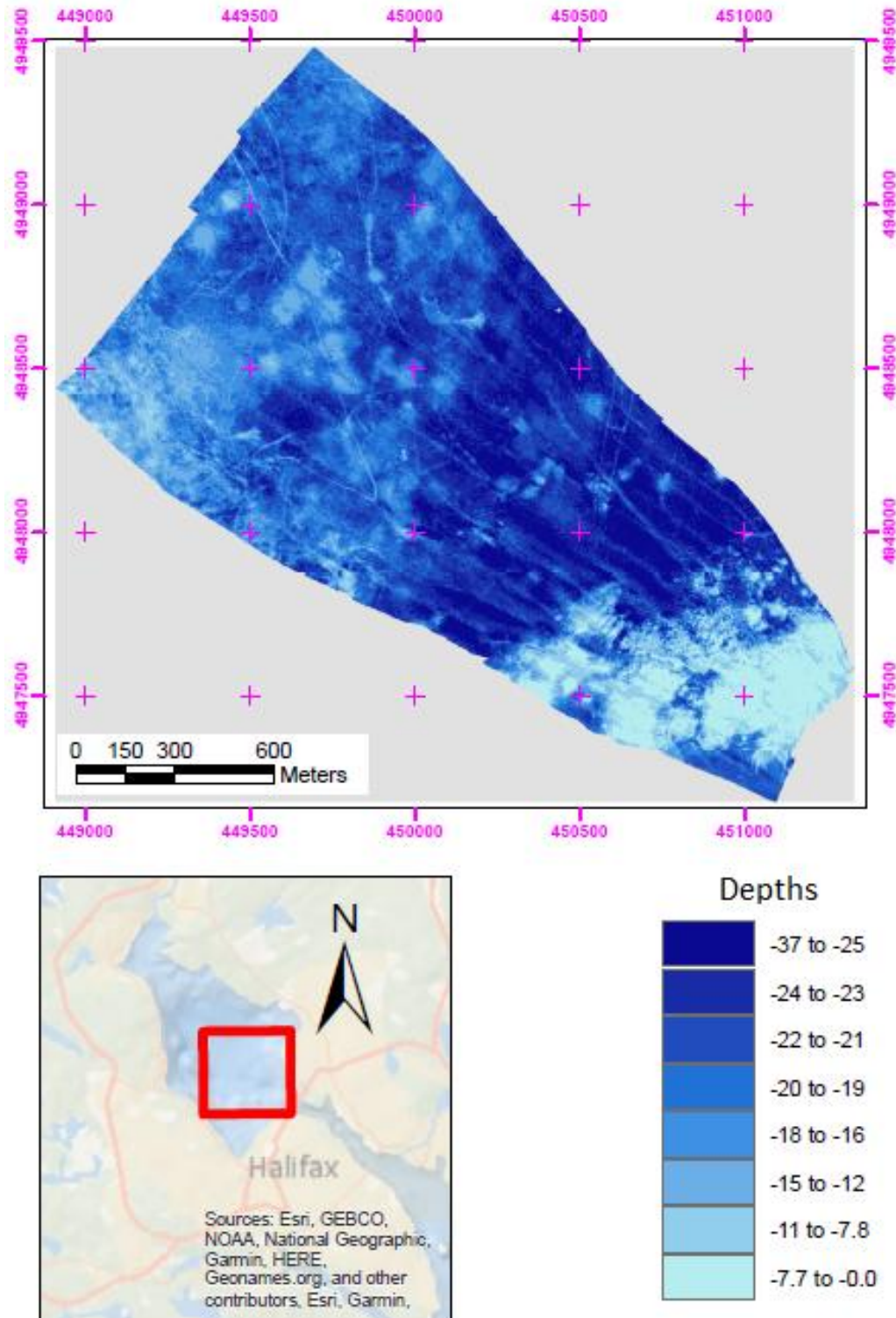
4.1.2 Bedford Basin 2017

Ο τέταρτος χάρτης που παράχθηκε, συνδέεται με τη δεύτερη χρονολογία της ίδιας περιοχής (Bedford Basin) αυτή του 2017. Για την υλοποίησή του, αναγκαίο στάδιο ήταν ο προκαθορισμός των δεδομένων εισαγωγής. Συγκεκριμένα οι διαστάσεις του παραγόμενου χάρτη υπολογίστηκαν ως 13730 x 13049. Ως ελάχιστες τιμές ορίστηκαν για τον διαμήκη άξονα 43770 και για τον κατακόρυφο 4947000. Ως προς τις μέγιστες τιμές, για τον χ' άξονα 451500 και για τον γ' άξονα 4949500. Στη συνέχεια τα βήματα καταγραφής και για τους δύο άξονες υπολογίστηκαν για τον μεν διαμήκη 17.5cm και για τον κατακόρυφο 16.6cm. Τέλος, η τιμή κατωφλιού για τον χ' άξονα υπολογίστηκε ως 8,75cm και για τον γ' 8.3cm. Ύστερα από την εισαγωγή των δεδομένων εφαρμόστηκε ο αλγόριθμος παραγωγής βυθομετρικών χαρτών (Κεφάλαιο 3.3.5) και το αποτέλεσμα αυτού παρουσιάζεται παρακάτω:



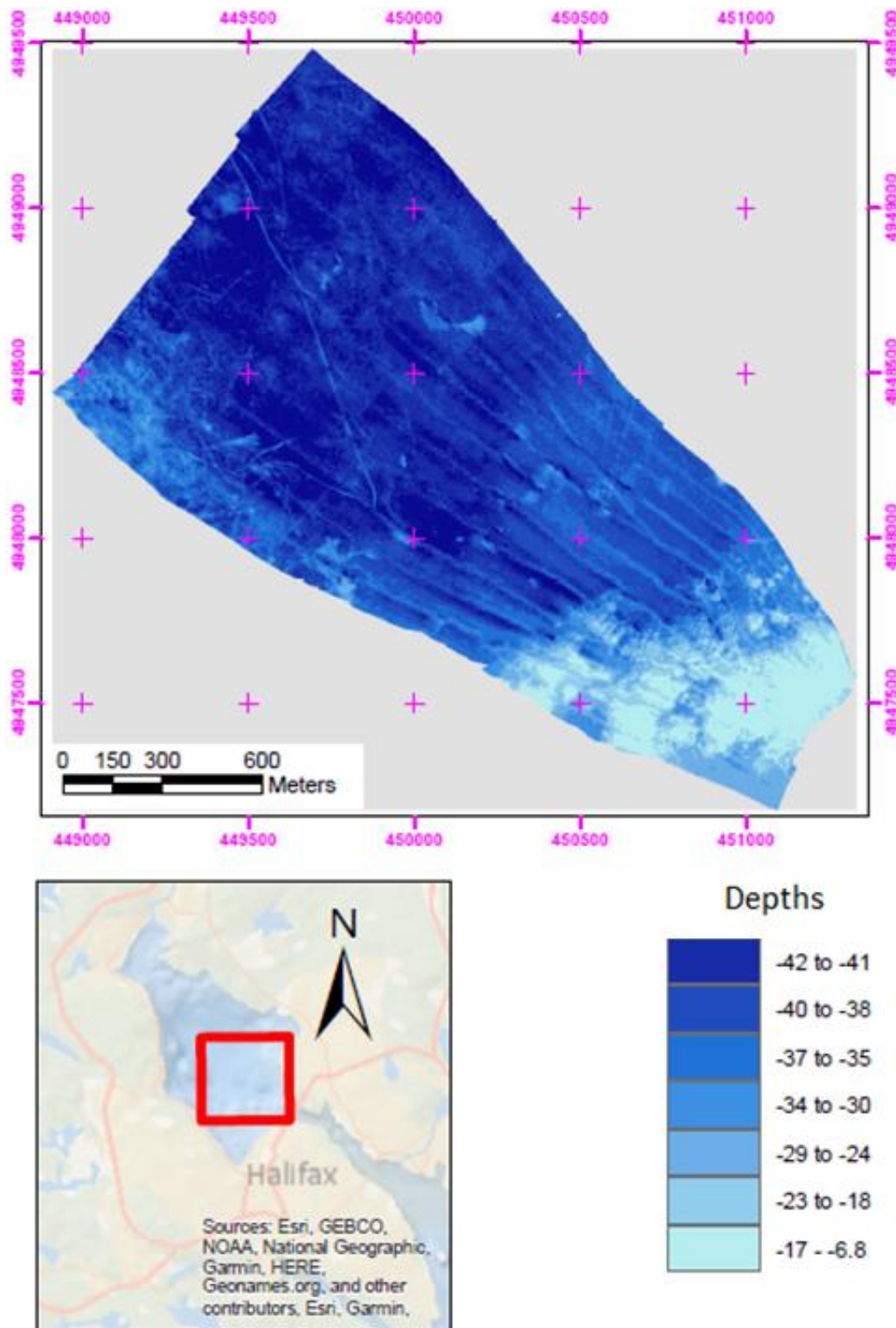
Εικόνα 51: Βυθομετρικός Χάρτης Bedford Basin 2017 100kHz

Ο πέμπτος χάρτης που παράχθηκε (Εικόνα 52), αφορούσε και αυτός τη χρονολογία 2017 με τη διαφορά πως η συχνότητα καταγραφής των πρωτογενών δεδομένων ήταν 200 kHz. Τα δεδομένα εισαγωγής του αλγορίθμου δεν διαφοροποιούνται από αυτά της προηγούμενη συχνότητας καταγραφής (100kHz) για το λόγο ότι η περιοχή μελέτης δεν μεταβλήθηκε ούτε σε μέγεθος ούτε σε τοποθεσία. Η διαφοροποίηση διακρίνεται μόνο στις τιμές των βαθών μεταξύ των σημείων κάθε συχνότητας καταγραφής. Το αποτέλεσμα ύστερα από την εφαρμογή του αλγορίθμου (Κεφάλαιο 3.3.5) παρουσιάζεται παρακάτω:



Εικόνα 52: Βυθομετρικός Χάρτης Bedford Basin 2017 200kHz

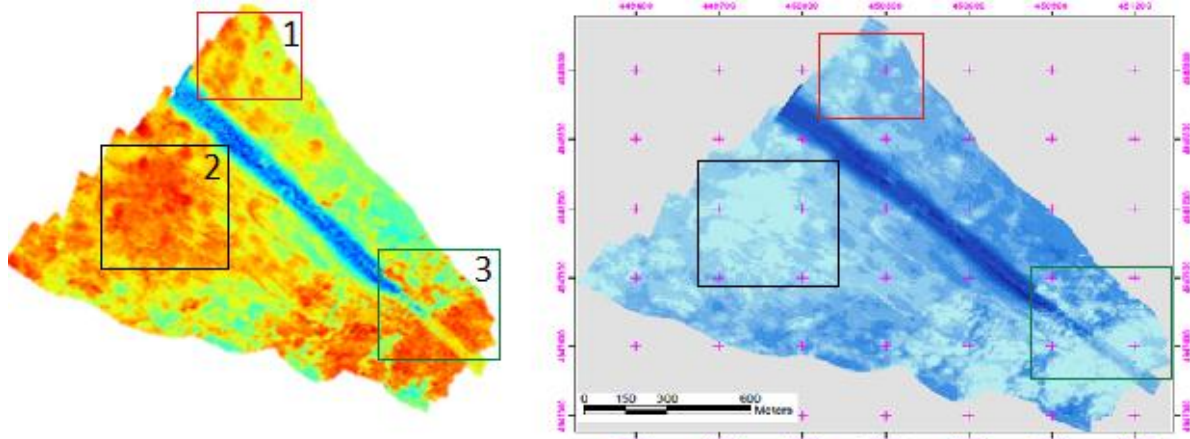
Ο τελευταίος χάρτης αποτυπώνει την ίδια περιοχή μελέτης (Bedford Basin), χρονολογίας 2017, αλλά με συχνότητα καταγραφής 400kHz. Τα δεδομένα εισαγωγής και σε αυτή την περίπτωση δεν διαφοροποιούνται από αυτά των προηγούμενων συχνοτήτων (για τη χρονολογία 2017). Η διαφορά τους, όπως προαναφέρθηκε, οφείλεται μόνο μεταξύ των βαθών των σημείων. Έτσι το αποτέλεσμα ύστερα από την εφαρμογή του αλγορίθμου παραγωγής βυθομετρικών χαρτών παρουσιάζεται παρακάτω (Εικόνα 53):



Εικόνα 53: Βυθομετρικός Χάρτης Bedford Basin 2017 400kHz

Διαφορές Αποτελεσμάτων μεταξύ Qimera & αλγορίθμου που συντάχθηκε σε Python

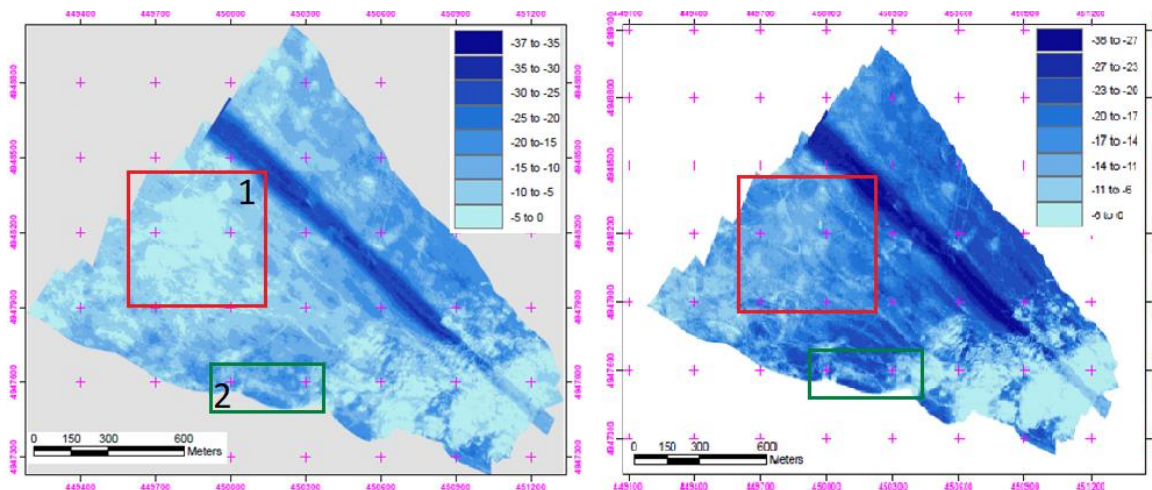
Παρακάτω παρουσιάζονται οι δυο χάρτες (Qimera και Python) ώστε να γίνουν καλύτερα αντιληπτές οι διαφορές:



Εικόνα 54 : Σύγκριση βυθομετρικών χαρτών από Qimera και Python (Bedford Basin 100 kHz 2016)

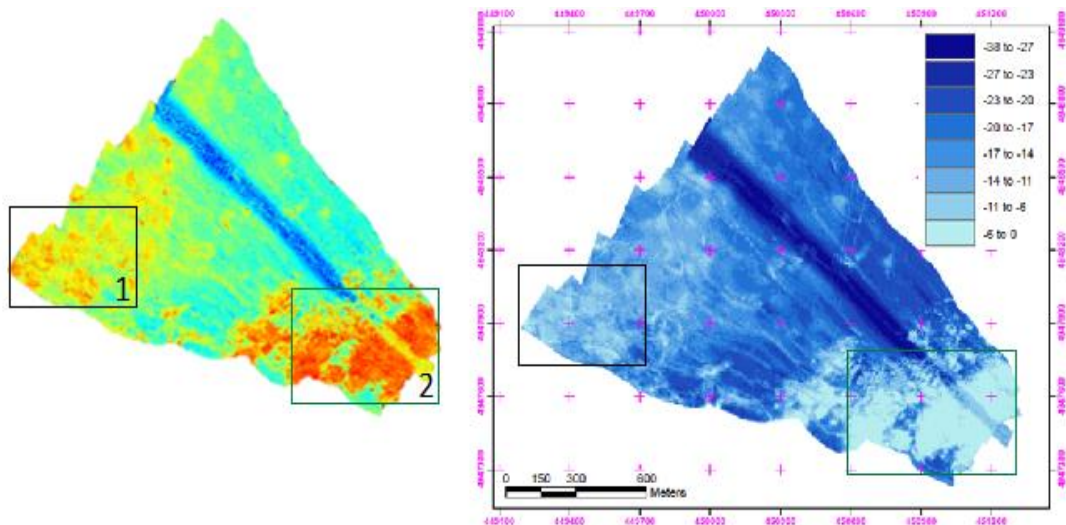
Όπως παρουσιάστηκε και παραπάνω, παρατηρήθηκαν κάποιες διαφοροποιήσεις μεταξύ των δυο μεθόδων. Συγκεκριμένα, εντοπίστηκαν μεταβολές σε τρεις περιοχές ενδιαφέροντος, υλοποιημένες με πλαίσια, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 54. Η πρώτη (πλαίσιο με τον αριθμό 1) αφορά, στην ομαλοποίηση των τιμών της εικόνας που παράχθηκε με χρήση Python. Πιο έντονες μεταβολές, απεικονίζονται στη δεύτερη περιοχή ενδιαφέροντος, όπου αντίστοιχα και σε αυτή παρατηρείται ομαλοποίηση τιμών με χρήση του αλγορίθμου που συντάχθηκε (πλαίσιο με αριθμό 2). Τέλος, παρόμοια αποτελέσματα εντοπίστηκαν και στη τελευταία επιλεγμένη περιοχή.

Επόμενος χάρτης προς αξιολόγηση αφορά την ίδια περιοχή αλλά με συχνότητα καταγραφής 200 kHz. Αρχικά, όσον αφορά στις διαφοροποιήσεις που εντοπίστηκαν, μεταξύ των συχνοτήτων καταγραφής 100 -> 200 kHz παρατηρήθηκε πως, όσο αυξάνεται η συχνότητα καταγραφής, αντιστοίχως αυξάνονται και οι τιμές των βαθών (Εικόνα 55). Για παράδειγμα, για τη συγκεκριμένη χρονολογία, η μέγιστη τιμή βάθους στα 100 kHz παρουσιάζεται ως -37 m ενώ στα 200 kHz ως -38 m. Η διαφορά αυτή μπορεί να εντοπισθεί και από διαβαθμίσεις του μπλε χρώματος, όπου στα 200 kHz παρατηρούνται πιο σκούρες αποχρώσεις σε σχέση με τα 100 kHz. Μια ακόμη βασική διαφορά μεταξύ των δυο είναι πως, ο χάρτης που παράχθηκε από τα δεδομένα που συλλέχθηκαν με συχνότητα καταγραφής 200 kHz, έχει αισθητά μικρότερο ποσοστό θορύβου.



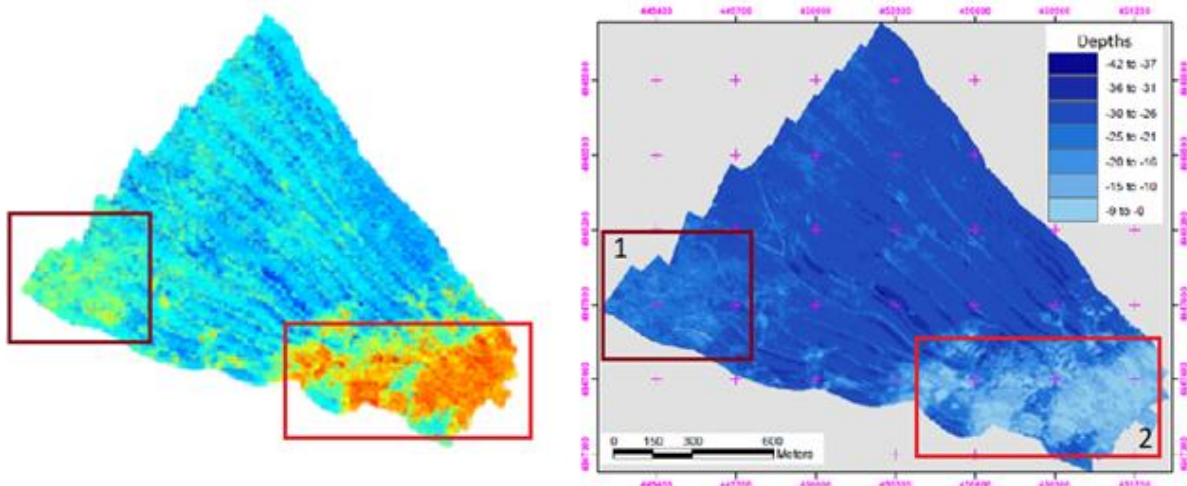
Εικόνα 55 : Σύγκριση βυθομετρικών χαρτών 100 kHz & 200 kHz (Bedford Basin 2016)

Στην Εικόνα 56, παρουσιάζονται οι χάρτες όπως παράχθηκαν από το λογισμικό Qimera και τον αλγόριθμο που συντάχθηκε στην Python. Εντοπίστηκαν δυο περιοχές ενδιαφέροντος όπου παρατηρήθηκαν διαφοροποιήσεις ανάμεσα τους. Αυτές, έχουν να κάνουν με την ομαλοποίηση των τιμών στην αλγοριθμική περίπτωση. Για παράδειγμα, στην πρώτη υποπεριοχή (πλαίσιο 1), στην αριστερή εικόνα παρατηρείται μια περιοχή με έντονες μεταβολές στις τιμές των βαθών, ενώ στην αντίστοιχη δεξιά εικόνα, η περιοχή παρουσιάζει έντονη ομαλοποίηση των τιμών με σταθερό βάθος τα -14 m (σύμφωνα με το υπόμνημα). Η οπτικοποίηση των μεταβολών που προαναφέρθηκαν, παρουσιάζονται παρακάτω:



Εικόνα 56 : Σύγκριση βυθομετρικών χαρτών από Qimera και Python (Bedford Basin 200 kHz 2016)

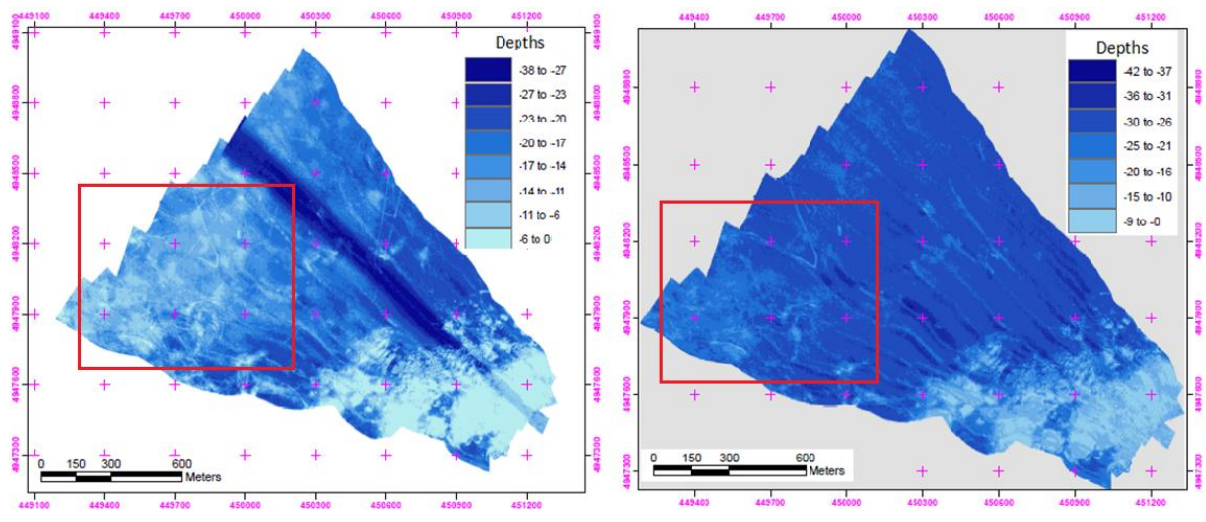
Τελευταία συχνότητα καταγραφής είναι αυτή των 400 kHz για την χρονολογία του 2016. Στην Εικόνα 57, παρουσιάζονται οι χάρτες όπως προέκυψαν από το λογισμικό Qimera και τον αλγόριθμο που συντάχθηκε σε Python:



Εικόνα 57 : Σύγκριση βυθομετρικών χαρτών από Qimera και PythonBedford Basin 400 kHz 2016

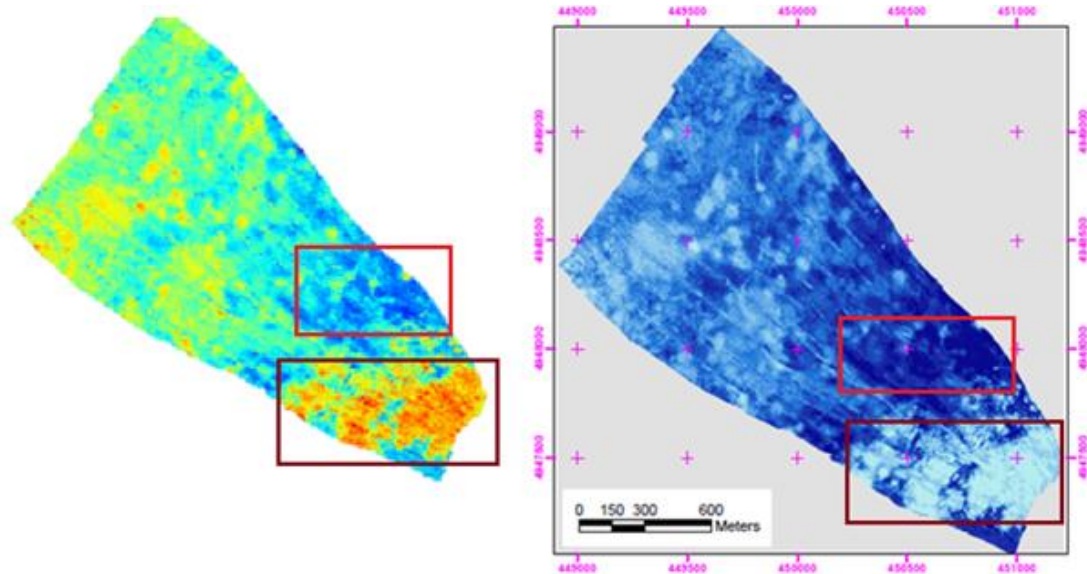
Στη συνέχεια, ως προς τη σύγκριση μεταξύ Qimera και Python, οι βασικές διαφορές εντοπίστηκαν στις δυο πλασιωμένες περιοχές ενδιαφέροντος. Στο αριστερό πλαίσιο παρατηρούνται μικρότερες βυθομετρικές μεταβολές σε σχέση με την προηγούμενη συχνότητα καταγραφής, αλλά και στην τρέχουσα περίπτωση, όπως ήταν αναμενόμενο παρατηρείται ομαλοποίηση (μικρότερη σε μέγεθος αλλά σημαντική) στη δεξιά εικόνα σε σχέση με την αριστερή. Οι τιμές βαθών για τη περιοχή είναι -17 m (σε αντίθεση με την προηγούμενη συχνότητα που υπολογίστηκε περίπου στα -14). Αντίστοιχα, στη δεξιά υποπεριοχή (πλαίσιο με αριθμό 2) απεικονίζεται το ανώτερο βυθομετρικό τμήμα της εικόνας, το οποίο έχει υποστεί ομαλοποίηση, σε σύγκριση με τη δεξιά εικόνα, αλλά όχι στο βαθμό, όπως παρουσιάστηκε στις προηγούμενες συχνότητες καταγραφής.

Στην εικόνα 58 παρατηρείται πως στο δεξί τμήμα της (συχνότητα καταγραφής 400 kHz), οι τιμές των βαθών, σε σχέση με την προηγούμενη συχνότητα καταγραφής (200 kHz, αριστερό τμήμα), είναι αισθητά μεγαλύτερες. Συγκεκριμένα, τα βάθη στη συχνότητα 200 kHz κυμαίνονταν από 0 έως -38m ενώ στην παρούσα συχνότητα το μέγιστο βάθος είναι -42m. Μια ακόμη σημαντική παρατήρηση είναι πως έχει εξαλειφθεί, η μπλε «λωρίδα» με γραμμικό πρότυπο που διέτρεχε όλη την περιοχή στους προηγούμενους δύο χάρτες (100,200kHz), η οποία ήταν **θόρυβος**. Συμπερασματικά, όσο μεγαλύτερη συχνότητα καταγραφής χρησιμοποιείται, σε αντίστοιχο βαθμό παρατηρείται και εξάλειψη του θορύβου.



Εικόνα 58: Σύγκριση βυθομετρικών χαρτών 200 kHz & 400 kHz (Bedford Basin 2016)

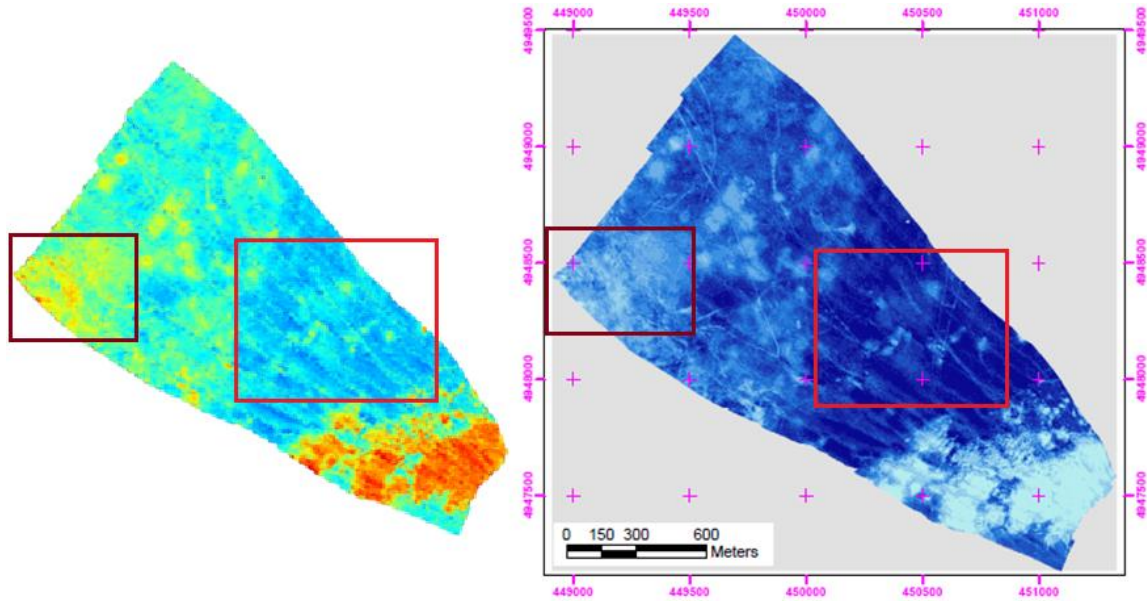
Ως προς τη δεύτερη χρονολογία, για την ίδια περιοχή μελέτης, εντοπίστηκαν και μελετήθηκαν, οι μεταβολές και οι διαφορές μεταξύ των χαρτών που παράχθηκαν σε Qimera και Python. Η πρώτη συχνότητα καταγραφής, όπως και στην προηγούμενη χρονολογία, είναι αυτή των 100 kHz. Παρακάτω παρουσιάζεται η εικόνα 59, στην οποία παρατίθενται οι προαναφερθείσες διαφορές:



Εικόνα 59 : Σύγκριση βυθομετρικών χαρτών από Qimera και PythonBedford Basin 100 kHz 2017

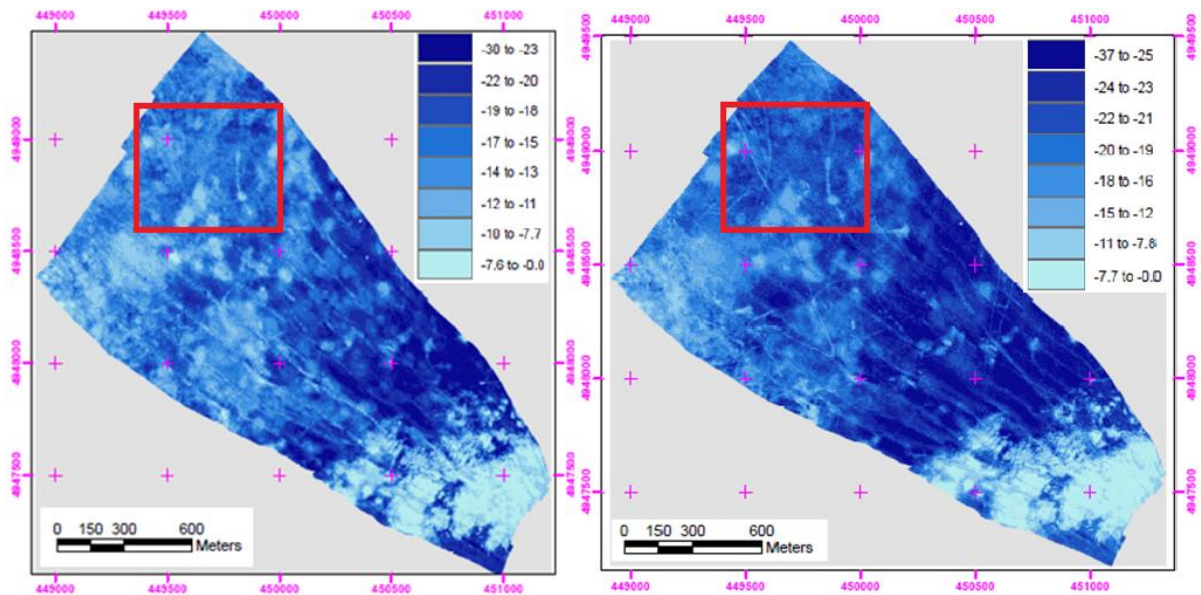
Αρχικά, να αναφερθεί πως για τη χρονολογία 2017, με συχνότητα καταγραφής 100 kHz, οι τιμές των βαθών διαφοροποιούνται σε σχέση με τις αντίστοιχες της προηγούμενης χρονολογίας. Αναλυτικότερα, οι τιμές για την παρούσα εικόνα κυμαίνονται από 0m μέχρι -30m. Για την οπτικοποίηση των μεταβολών μεταξύ του παραγόμενου χάρτη από το λογισμικό Qimera και του αντίστοιχου που συντάχθηκε σε Python σχεδιάστηκαν δυο πλαίσια διαφορετικού χρώματος. Το πρώτο (κόκκινο χρώμα) αποτυπώνει, τη διαφοροποίηση ως προς την απόδοση αλλά και την παρουσίαση μιας ελαφριάς ομαλοποίησης στις τιμές μεταξύ των δυο χαρτών. Ο λόγος εντοπισμού αυτών των αποτελεσμάτων, όπως έχει προαναφερθεί, δικαιολογείται διότι ο αλγόριθμος επεξεργασίας που χρησιμοποιήθηκε είναι αυτός του μέσου όρου. Τέλος, η δεύτερη διαφορά που παρατηρήθηκε, σχετίζεται και σε αυτή την περίπτωση με την ομαλοποίηση των τιμών. Στην αριστερή εικόνα (μπορντό πλαίσιο) παρατηρείται μια σχετικά έντονη εναλλαγή των τόνων του κίτρινου, σε αντίθεση με τη δεξιά, όπου παρατηρείται σαν μια ενιαία περιοχή χωρίς έντονο ανάγλυφο. Ο λόγος για τον οποίο συμβαίνει αυτό είναι ο ίδιος όπως αναλύθηκε παραπάνω.

Ως προς τη δεύτερη συχνότητα καταγραφής, αντίστοιχα έγινε η εξής μελέτη:



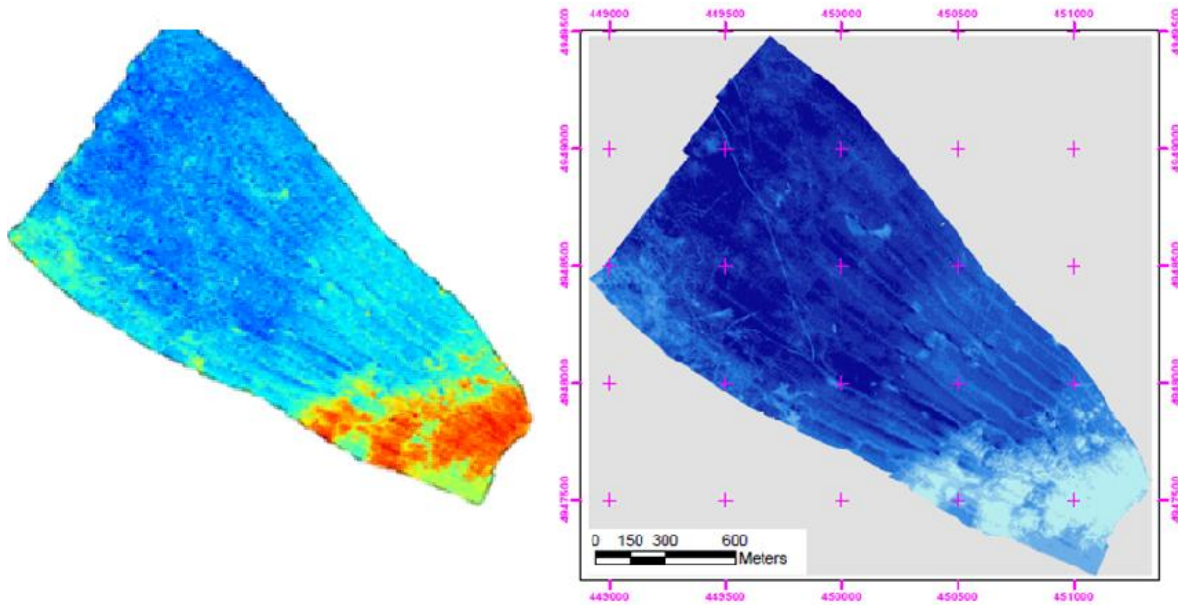
Εικόνα 60 : Σύγκριση βυθομετρικών χαρτών από Qimera και PythonBedford Basin 200 kHz 2017

Για τη συχνότητα καταγραφής 200 kHz, εντοπίστηκαν και σε αυτή την περίπτωση δυο περιοχές ενδιαφέροντος, στις οποίες παρουσιάζονται σχετικά έντονες μεταβολές μεταξύ των δυο εικόνων. Η πρώτη (μπορντό πλαίσιο), αφορά στην ομαλοποίηση των τιμών παρατηρώντας την αριστερή εικόνα σε σχέση με τη δεξιά. Συγκεκριμένα, η δεύτερη παρουσιάζει πιο ομαλοποιημένες τιμές σε σχέση με την αριστερή. Αντίστοιχα αποτελέσματα παρατηρήθηκαν και στην επόμενη περιοχή ενδιαφέροντος που αποδίδεται με κόκκινο πλαίσιο. Σε σύγκριση με την προηγούμενη συχνότητα καταγραφής (100 kHz) (Εικόνα 61), οι διαφορές είναι πως στη μεγαλύτερη συχνότητα, οι τιμές που αποδίδονται είναι αισθητά μεγαλύτερες. Για παράδειγμα, στα 100 kHz οι τιμές κυμαίνονται από 0 έως -30m , ενώ στα 200kHz κυμαίνονται από 0 έως -37m. Επομένως, οι μπλε τόνοι είναι λογικό να αποδίδονται σκουρότεροι στη μεγαλύτερη συχνότητα. Μια ακόμη παρατήρηση είναι πως στο βόρειο τμήμα της εικόνας (στα 200 kHz) παρατηρήθηκε μια ομαλοποίηση στις τιμές και μια απόδοση ενός πιο ήπιου ανάγλυφου σε αντιστοιχία με αυτήν των 100. Παρακάτω απεικονίζονται οι διαφορές αυτές:



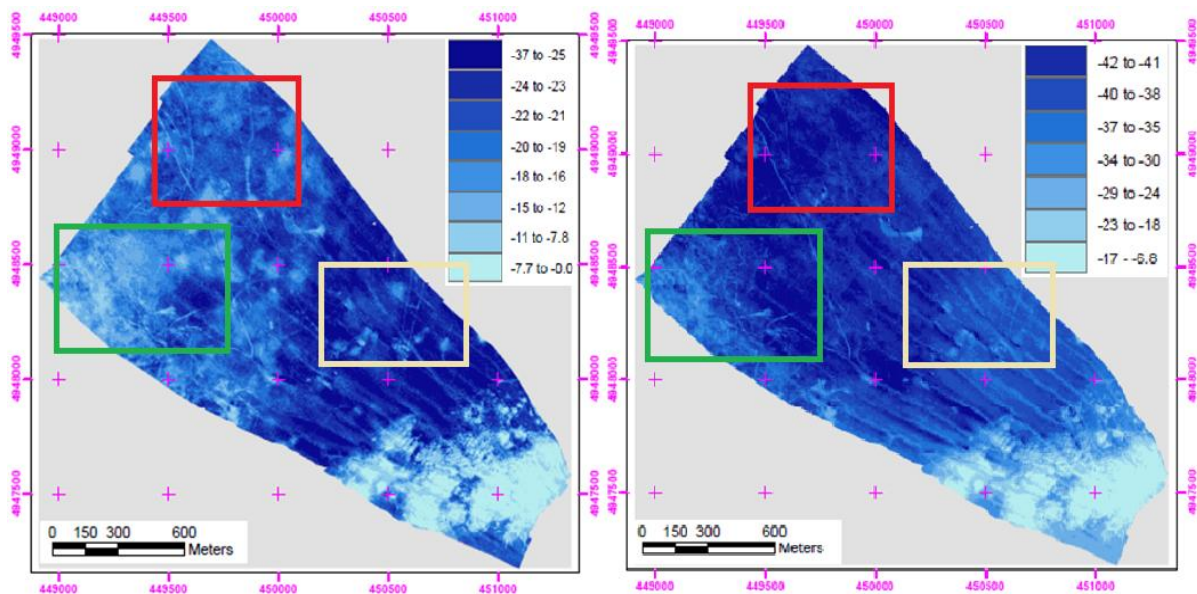
Εικόνα 61 : Σύγκριση βυθομετρικών χαρτών 100 kHz & 200 kHz (Bedford Basin 2017)

Τέλος, ως προς την τελευταία συχνότητας καταγραφής (των 400 kHz), η μελέτη που υλοποιήθηκε παρουσιάζεται παρακάτω:



Εικόνα 62 : Σύγκριση βυθομετρικών χαρτών από Qimera και PythonBedford Basin 400 kHz 2017

Ως προς τη σύγκριση των χαρτών που παρήχθησαν σε Qimera και Python, δεν έχουν σημειωθεί κάποιες διαφορές, διότι αυτές που παρατηρήθηκαν ήταν απειροελάχιστες σε μέγεθος, άρα μικρής σημασίας. Ενδιαφέρον αποκτά η σύγκριση των παραγόμενων εικόνων που προέκυψαν από τα δεδομένα με συχνότητες καταγραφής 200 και 400 kHz. Παρακάτω παρουσιάζεται η εικόνα που αποδίδει τις διαφορές αυτές:

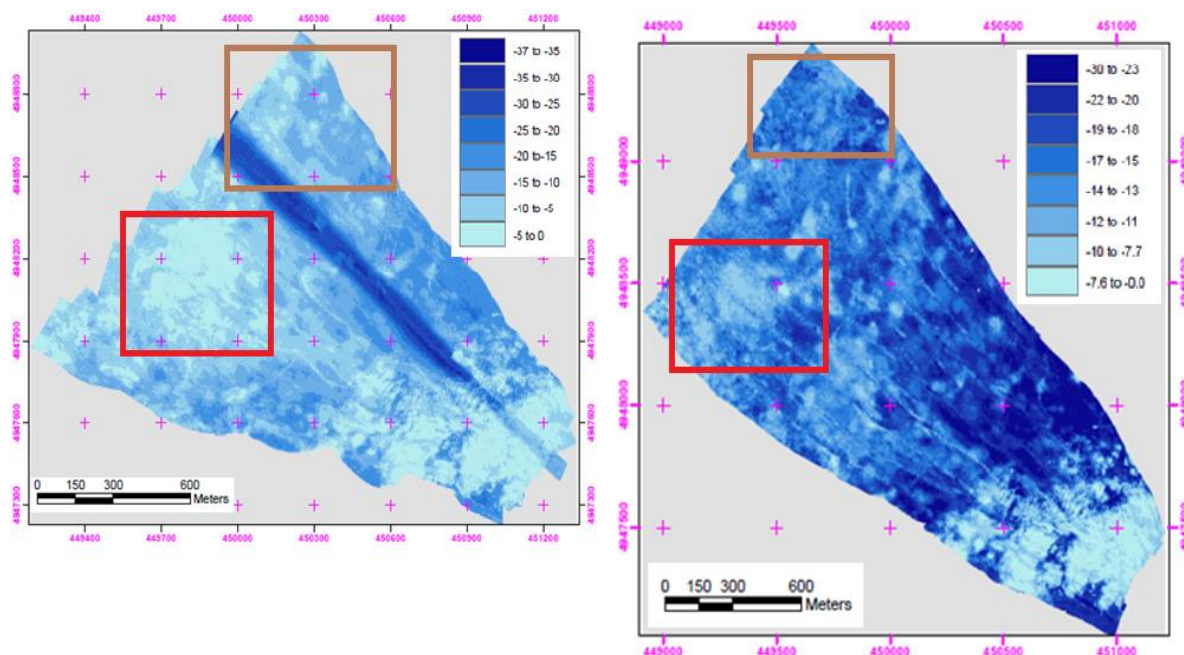


Εικόνα 63 : Σύγκριση βυθομετρικών χαρτών 200 kHz & 400 kHz (Bedford Basin 2017)

Εντοπίστηκαν τρεις περιοχές ενδιαφέροντος, όπου έχουν σχεδιαστεί στην παραπάνω εικόνα με χρωματιστά πλαίσια. Αρχικά, για την πρώτη περιοχή (κόκκινο πλαίσιο), παρατηρήθηκαν πιο σκούροι τόνοι του μπλε στη δεξιά εικόνα σε αντιστοιχία με την αριστερή, δηλαδή υψηλότερες τιμές βαθών. Παρόμοια αποτελέσματα εντοπίστηκαν και στη δεύτερη περιοχή ενδιαφέροντος (πράσινο πλαίσιο). Τέλος, με κίτρινο χρώμα σημειώθηκε μια σημαντική παρατήρηση. Στη πλασιομένη περιοχή παρατηρούνται αντίθετα αποτελέσματα, συγκεκριμένα στη δεξιά εικόνα (400kHz) αποδίδεται ο πυθμένας με ανοιχτότερους τόνους σε σχέση με την αριστερή (200 kHz). Να αναφερθεί πως οι τιμές στα 200 kHz κυμαίνονται από 0 έως -37m, ενώ οι αντίστοιχες στα 400 kHz 0 έως -42m, όπως αναγράφονται και στα αντίστοιχα υπομνήματα.

4.1.4: Παρατήρηση μεταβολών σε βυθομετρικούς χάρτες διαφορετικών χρονολογιών (2016 – 17)

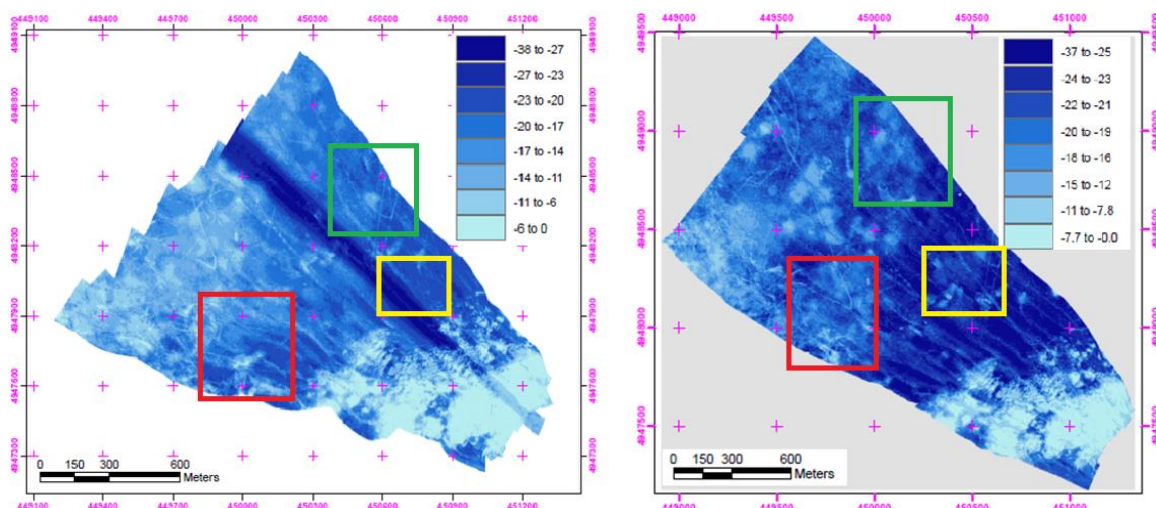
Στη συγκεκριμένη υποενότητα, παρουσιάζεται η σύγκριση και μελέτη για κάθε συχνότητα καταγραφής ξεχωριστά, ως προς τις διαχρονικές μεταβολές από το 2016 στο 2017. Παρακάτω παρουσιάζεται η προαναφερθείσα μελέτη. Αρχικά, ως προς την πρώτη συχνότητα καταγραφής (100 kHz):



Εικόνα 64: Σύγκριση βυθομετρικών χαρτών από δεδομένα με συχνότητα καταγραφής 100 kHz σε βάθος ενός χρόνου (2016-17)

Στην Εικόνα 64, παρουσιάζονται οι προαναφερθείσες μεταβολές. Συγκεκριμένα εντοπίστηκαν δύο περιοχές ενδιαφέροντος, οι οποίες αποδόθηκαν με χρωματιστά πλαίσια. Αρχικά, να αναφερθεί πως οι τιμές στα βάθη για την πρώτη χρονολογία (2016) κυμαίνονται από 0 έως -37m, ενώ στην αντίστοιχη της επόμενης χρονολογίας (δεξιά εικόνα) τα βάθη κυμαίνονται από 0 έως -30m. Η αισθητή διαφορά αυτή, οφείλεται στο γεγονός πως στην πρώτη χρονολογία ο χάρτης, έχει προέλθει από αρκετά θορυβώδη δεδομένα. Αυτή η διαφορά έχει αναλυθεί και σε προηγούμενη ενότητα, και αφορά κυρίως στο κεντρικό της τμήμα (σκούρα μπλε γραμμή). Ως προς την πρώτη περιοχή ενδιαφέροντος (κόκκινο πλαίσιο) για το 2016 (αριστερή εικόνα), τα βάθη κυμαίνονται από -5m, ενώ για το 2017 (δεξιά εικόνα) παρουσιάζονται με τιμές βαθών περίπου -8m. Ως προς τη δεύτερη περιοχή ενδιαφέροντος (καφέ χρώμα) για το 2016 τα βάθη κυμαίνονται από -5m έως -15m, ενώ για το 2017 οι αντίστοιχες τιμές κυμαίνονται από -7 m έως -19m. Η διαφοροποίηση αυτή οφείλεται σε δυο λόγους. Ο πρώτος, συνδέεται με το μέγεθος του φατινίου που επιλέχθηκε για την παραγωγή των χαρτών. Συγκεκριμένα, ο χάρτης χρονολογίας 2017 έχει παραχθεί με μικρότερο μέγεθος φατινίου (17.5 cm), σε αντίθεση με τον χάρτη χρονολογίας 2016 (18.3 cm), παρουσιάζοντας έτσι μεγαλύτερο εύρος διακυμάνσεων. Ο δεύτερος πιθανός λόγος, είναι πως τα πηγαία δεδομένα για την παραγωγή των χαρτών ως προς την πρώτη χρονολογία (2016) είναι αρκετά πιο θορυβώδη σε σχέση με τα αντίστοιχα της χρονολογίας του 2017.

Η δεύτερη συχνότητα καταγραφής είναι αυτή των 200 kHz. Παρακάτω παρουσιάζεται η εικόνα που εντοπίζει τις μεταβολές για τα 200kHz μεταξύ των βυθομετρικών χαρτών 2016 – 17:

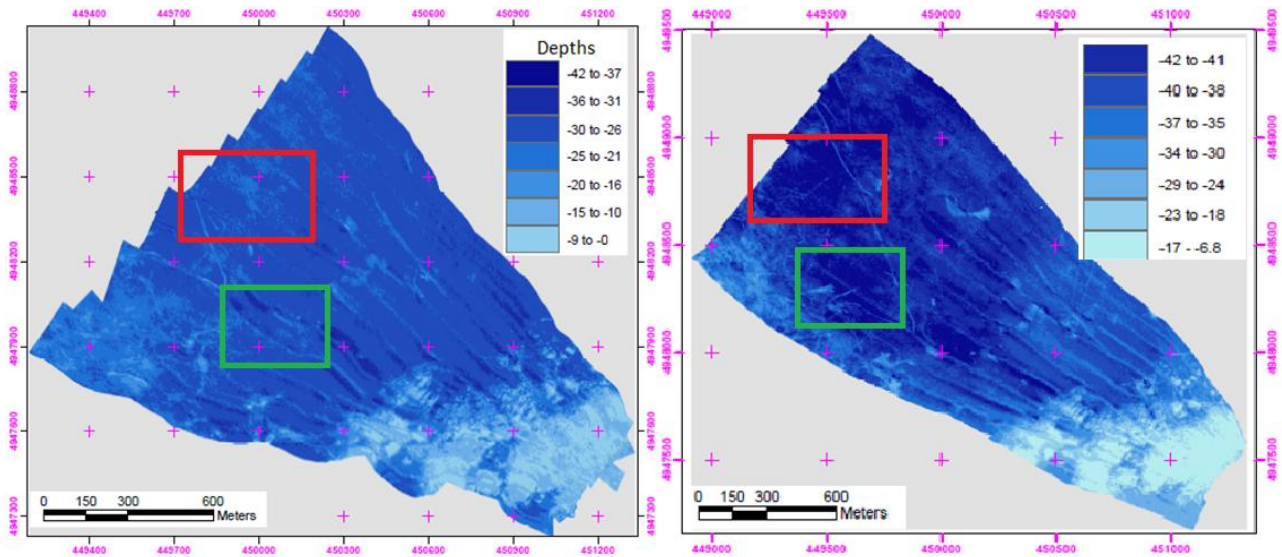


Εικόνα 65: Σύγκριση βυθομετρικών χάρτων από δεδομένα με συχνότητα καταγραφής 200 kHz σε βάθος ενός χρόνου (2016-17)

Στην παραπάνω εικόνα, όπως προαναφέρθηκε, έχουν σχεδιαστεί με χρωματιστά πλαίσια περιοχές ενδιαφέροντος, όπου εντοπίστηκαν διαφορές/μεταβολές ανάμεσα στους δύο χάρτες. Για την πρώτη περιοχή (κόκκινο πλαίσιο), στην αριστερή εικόνα (2016) τα βάθη κυμαίνονται από -15m έως -20m, σε αντίθεση με τη δεξιά (2017), όπου παρατηρώντας και την εναλλαγή των μπλε τόνων στο νότιο τμήμα της υποπεριοχής παρατηρούνται φωτεινότεροι τόνοι. Συγκεκριμένα οι τιμές των βαθών κυμαίνονται από -15m έως -18m Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα, πως τα βάθη μειώνονται από την χρονολογία του 2016 στην 2017 για την κόκκινη περιοχή. Όσον αφορά στη δεύτερη περιοχή (πράσινο πλαίσιο), στην αριστερή εικόνα τα βάθη κυμαίνονται περίπου από -10m έως -20m, με τα μικρότερα βάθη να εντοπίζονται στο κέντρο της υποπεριοχής. Αντίθετα με την δεξιά εικόνα, οι λευκοί τόνοι, άρα οι χαμηλότερες τιμές βαθών, καλύπτουν μεγαλύτερο μέρος της περιοχής, σε σχέση με την προηγούμενη. Αναλυτικά, τα βάθη κυμαίνονται περίπου στα -15m, και στο νοτιοανατολικό τμήμα παρατηρήθηκαν τα βαθύτερα τμήματα κοντά στα -22m. Τέλος, (με κίτρινο πλαίσιο) έχει σχεδιαστεί η τελευταία περιοχή ενδιαφέροντος. Στην αριστερά εικόνα (2016) παρατηρείται ένας ομοιόμορφος πυθμένας χωρίς έντονες μεταβολές στα βάθη με τιμές κοντά στα -20m. Στον αντίποδα, στη δεξιά εικόνα (2017) παρατηρείται ένας πυθμένας με σχετικά έντονες εναλλαγές (στα βάθη). Οι προαναφερθείσες εναλλαγές κυμαίνονται από τα -15m έως τα -18m περίπου. Μια γενική παρατήρηση, είναι πως σε διάστημα ενός χρόνου παρατηρήθηκαν βυθομετρικές εναλλαγές κυρίως από βαθύτερα τμήματα σε ρηχότερα.

Τέλος, ως προς την μελέτη της τελευταίας συχνότητας καταγραφής (400 kHz), η εικόνα που απεικονίζει τις εντονότερες μεταβολές παρουσιάζεται στην Εικόνα 66.

Στην Εικόνα 66, έχουν σχεδιαστεί δυο περιοχές ενδιαφέροντος, που παρουσιάζουν τις εντονότερες μεταβολές σε βάθος ενός χρόνου. Για την πρώτη περιοχή (κόκκινο πλαίσιο), στην αριστερή εικόνα (2016), απεικονίζονται εναλλαγές βαθών με τιμές κοντά στα -35m, όπως παρατηρείται σύμφωνα με το υπόμνημα. Αντίθετα, στην αντίστοιχη περιοχή της δεξιάς εικόνας (2017), εντοπίστηκαν τιμές βαθών κοντά στα -38m. Αντίστοιχα, για τη δεύτερη πλαισιωμένη περιοχή (πράσινο πλαίσιο), στην αριστερή εικόνα εντοπίστηκαν τιμές βαθών με μέση τιμή περίπου τα -36m, σε αντίθεση με τη δεξιά, όπου οι τιμές είναι μεγαλύτερες, περίπου -38m. Μια γενική παρατήρηση, είναι πως εντοπίστηκαν βαθύτερα τμήματα, στον χάρτη χρονολογίας 2017 σε αντιστοιχία με τον χάρτη 2016 (για την παρούσα συχνότητα καταγραφής).



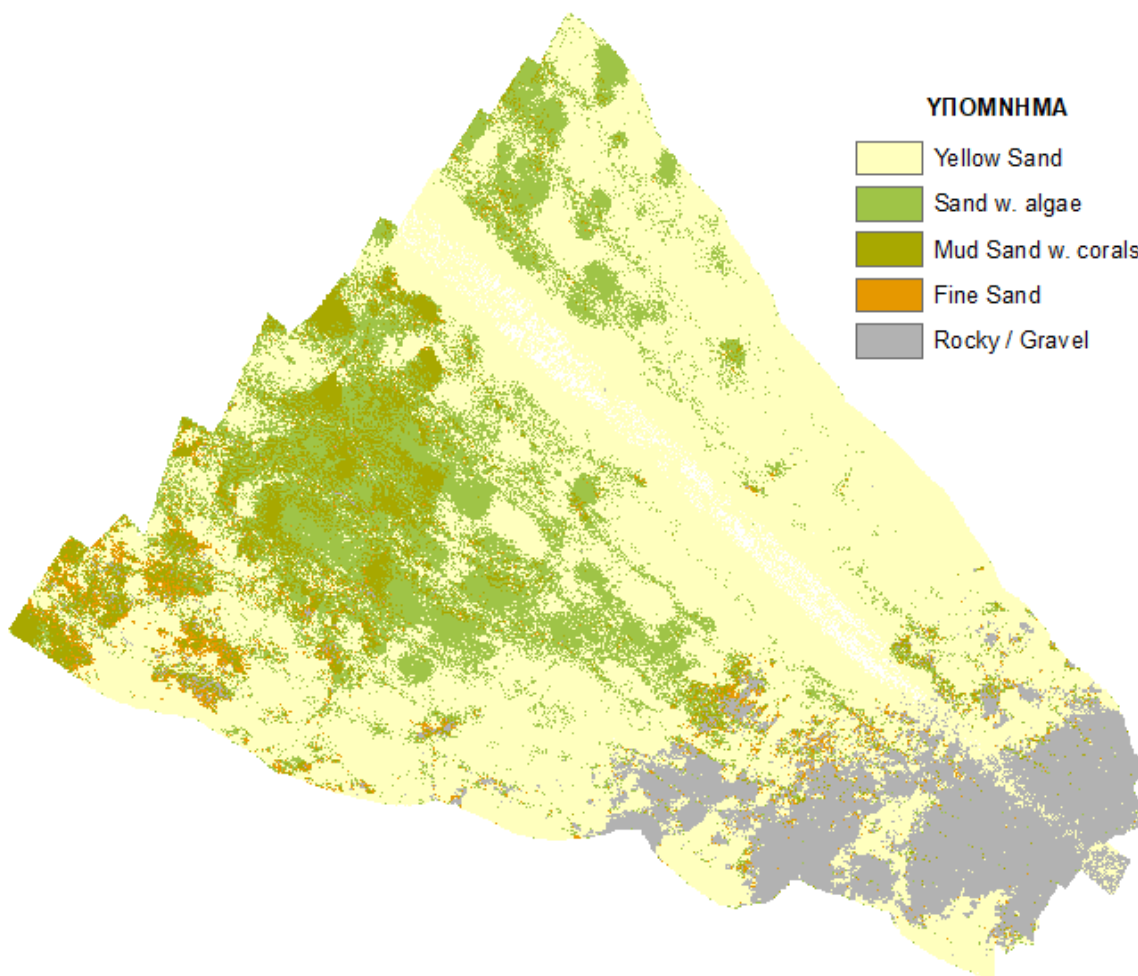
Εικόνα 66: Σύγκριση βυθομετρικών χαρτών από δεδομένα με συχνότητα καταγραφής 400 kHz σε βάθος ενός χρόνου (2016-17)

4.2 Αποτελέσματα Μοντέλων Ταξινόμησης Ανά Περιοχή

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ταξινόμησης που δημιουργήθηκαν για κάθε περιοχή ξεχωριστά. Για τις δυο πρώτες περιοχές (Bedford Basin & Patricia Bay), χρησιμοποιήθηκε η μηχανή εκμάθησης SVM-Linear, για την χαρτογράφηση του πυθμένα τους, με τυχαίο ποσοστό εκπαίδευσης 70%. Αντίστοιχα, για την υλοποίηση της προαναφερθείσας διαδικασίας ως προς τη τρίτη περιοχή (NewBex-Portsmouth), χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος Random Forest, για την εκπαίδευση των δεδομένων, με ποσοστό εκμάθησης 70%. (training data). Κάθε ταξινομημένος χάρτης συνοδεύεται και από τον αντίστοιχο πίνακα σύγχυσης του (Confusion Matrix), όπου παρατίθεται η ολική ακρίβεια (Overall Accuracy) αλλά και το ποσοστό επιτυχίας κάθε κατηγορίας. Τέλος, να τονιστεί πως για κάθε περιοχή πραγματοποιείται αναλυτική μελέτη αυτής και σχολιασμός τυχόν λαθών.

4.2.1 Bedford Basin 2016

Τα αποτελέσματα για την περιοχή Bedford Basin το 2016 παρουσιάζονται παρακάτω:



Εικόνα 67 : Ταξινόμηση περιοχής SVM - Linear Bedford Basin 2016 (70 % training)

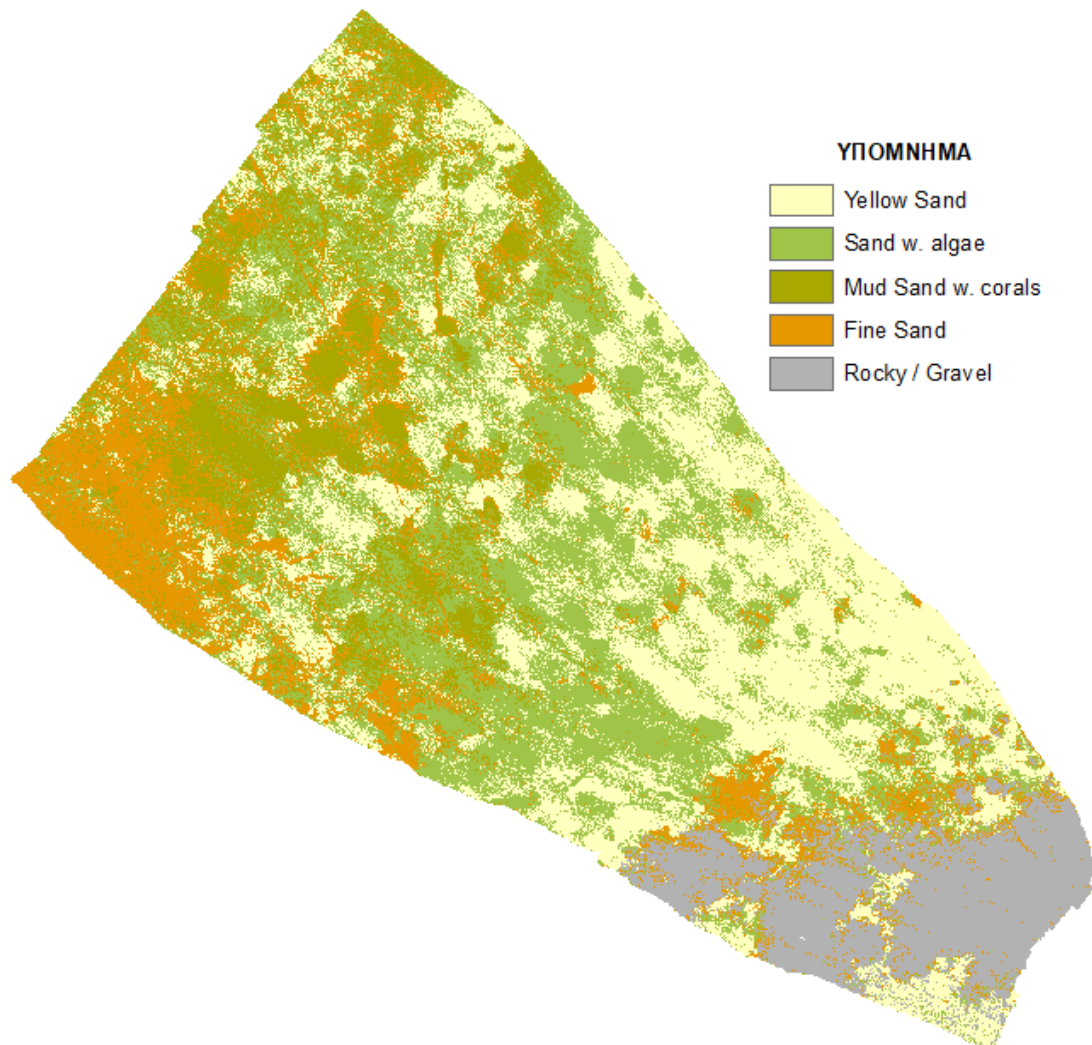
Prediction	Yellow Sand	Sand with algae	M.S.C.	Fine Sand	Rocky/Gravel
Yellow Sand	98%	4%	0%	0%	0%
Sand with algae	2%	90%	1%	1%	0%
Mud Sand with corals (M.S.C)	0%	6%	80%	3%	0%
Fine Sand	0%	1%	19%	96%	9%
Rocky / Gravel	0%	0%	0%	0%	91%
Overall Accuracy = 90%					

Categories	UA	PA	# Pixels
Yellow Sand	98%	99%	2.186.107
Sand with algae	90%	92%	561.052
Mud Sand with corals (M.S.C)	80%	91%	404.840
Fine Sand	96%	25%	184.876
Rocky / Gravel	91%	100%	384.527

Πίνακας 4: Ακρίβεια Ταξινόμησης SVM – Linear, Bedford Basin 2016

4.2.2 Bedford Basin 2017

Τα αποτελέσματα για την περιοχή Bedford Basin το 2017 παρουσιάζονται παρακάτω:



Εικόνα 68 : Ταξινόμηση περιοχής SVM - Linear Bedford Basin 2017 (70 % training)

Prediction	Yellow Sand	Sand with algae	M.S.C.	Fine Sand	Rocky / Gravel
Yellow Sand	97%	5%	0%	0%	0%
Sand with algae	3%	92%	0%	0%	0%
Mud Sand with corals (M.S.C)	0%	2%	98%	10%	0%
Fine Sand	0%	1%	2%	90%	0%
Rocky / Gravel	0%	0%	0%	0%	100%
Overall Accuracy = 96%					

Categories	UA	PA	# Pixels
Yellow Sand	97%	98%	726.670
Sand with algae	92%	94%	341.968
Mud Sand with corals (M.S.C)	98%	91%	535.967
Fine Sand	90%	96%	370.125
Rocky / Gravel	100%	100%	468.989

Πίνακας 5: Ακρίβεια Ταξινόμησης SVM – Linear Bedford Basin 2017

Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων & Μεταβολών

Ως προς την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων για την πρώτη περιοχή, να τονισθεί πως η ταξινόμηση των κατηγοριών και η πρόβλεψη πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το γραμμικό αλγόριθμο (SVM-Linear). Από το σύνολο των δεδομένων αναφοράς, το 70% χρησιμοποιήθηκε για την εκπαίδευση του ταξινομητή, ενώ το υπόλοιπο 30% για έλεγχο.

Πιο αναλυτικά, για την πρώτη χρονολογία (2016), τα αποτελέσματα της ταξινόμησης παρουσιάζονται στον Πίνακα 4. Στο άνω τμήμα του, περιέχονται τα ποσοστά των κατηγοριών που ταξινομήθηκαν σωστά κατά την διαδικασία της πρόβλεψης (διαγώνιος). Όπως μπορεί να παρατηρηθεί, τα ποσοστά ακρίβειας κυμαίνονται από 80% (Mud Sand w. corals) έως 98% (Yellow Sand).

Στη συνέχεια, στο κάτω τμήμα του Πίνακα 4, παρουσιάζονται τα ποσοστά των κατηγοριών, τα οποία έχουν ταξινομηθεί σωστά, ως προς τα δεδομένα αναφοράς (ground truth). Τα ποσοστά του συγκεκριμένου πίνακα ξεκινάνε από 25% (για την κατηγορία Fine Sand) και φτάνουν σε ποσοστό μέχρι 100% (για την κατηγορία Rocky / Gravel). Το χαμηλό ποσοστό της κατηγορίας (Fine Sand, 25%) δικαιολογείται, διότι ο αριθμός των φατνίων (pixel) που ψηφιοποιήθηκαν για την κατηγορία είναι αισθητά μικρότερος σε σχέση με τις υπόλοιπες (τελευταίος πίνακας).

Τέλος, ως προς το οπτικό αποτέλεσμα, μεγαλύτερο ποσοστό, ως προς τη συνολική εικόνα καταλαμβάνει η πρώτη κατηγορία (Yellow Sand). Η δεύτερη (Sand w. Algae) παρατηρείται διάσπαρτα και πληθωρικά κυρίως στο κεντρικό τμήμα της εικόνας αλλά και στο βορειοανατολικό της κομμάτι. Ως προς την τρίτη κατηγορία, εντοπίστηκε κυρίως στο κεντρικό τμήμα, όπως και η δεύτερη, και όπως γίνεται αντιληπτό παρατηρείται ανάμειξη μεταξύ των δύο αυτών κατηγοριών. Επίσης, να αναφερθεί πως ένα μικρό τμήμα της προαναφερθείσας κατηγορίας παρατηρείται και στο βορειοδυτικό κομμάτι της εικόνας σε συνδυασμό με την τέταρτη κατηγορία (Fine Sand), που απεικονίζεται με το μικρότερο ποσοστό στην εικόνα. Επίσης εντοπίζεται ανάμεσα στις κατηγορίες 1 και 3. Τέλος, ως προς την τελευταία (Χαλίκια/Βράχια), η οποία οπτικοποιείται στο νοτιοανατολικό τμήμα της συνολικής εικόνας σε μεγάλο ποσοστό σε συνδυασμό με την πρώτη και τέταρτη κατηγορία. Στο σημείο αυτό να τονισθεί πως η συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης ήταν **90%** (Overall Accuracy)

Αρχικά, να τονισθεί πως επειδή οι πηγαίες εικόνες είχαν διαφορετική χωρική ανάλυση μεταξύ τους και κατά συνέπεια το τελικό αποτέλεσμα θα ήταν λανθασμένο, χρησιμοποιήθηκαν **διαφορετικά** δεδομένα αναφοράς (ground truth) για κάθε χρονολογία.

Έτσι, ως προς τη δεύτερη χρονολογία (2017), τα αποτελέσματα της ταξινόμησης παρουσιάζονται στον Πίνακα 5. Στο άνω τμήμα του, περιέχονται τα ποσοστά των κατηγοριών που ταξινομήθηκαν σωστά κατά τη διαδικασία της πρόβλεψης (διαγώνιος). Όπως μπορεί να παρατηρηθεί τα ποσοστά ακρίβειας κυμαίνονται από 90% (για την κατηγορία Fine Sand) έως 100% (ως προς την κατηγορία Rocky / Gravel). Να σημειωθεί πως τα ποσοστά των κατηγοριών για τη χρονολογία 2017 είναι καλύτερα ποσοστιαία, σε αντιστοιχία με του 2016.

Στη συνέχεια, στο κάτω τμήμα του Πίνακα 5 παρουσιάζονται τα ποσοστά των κατηγοριών που έχουν ταξινομηθεί σωστά, ως προς τα δεδομένα αναφοράς (ground truth). Συγκεκριμένα, το ποσοστό ακρίβειάς τους ξεκινά από 91% για την τρίτη κατηγορία και φτάνει μέχρι και το 100% για την πέμπτη.

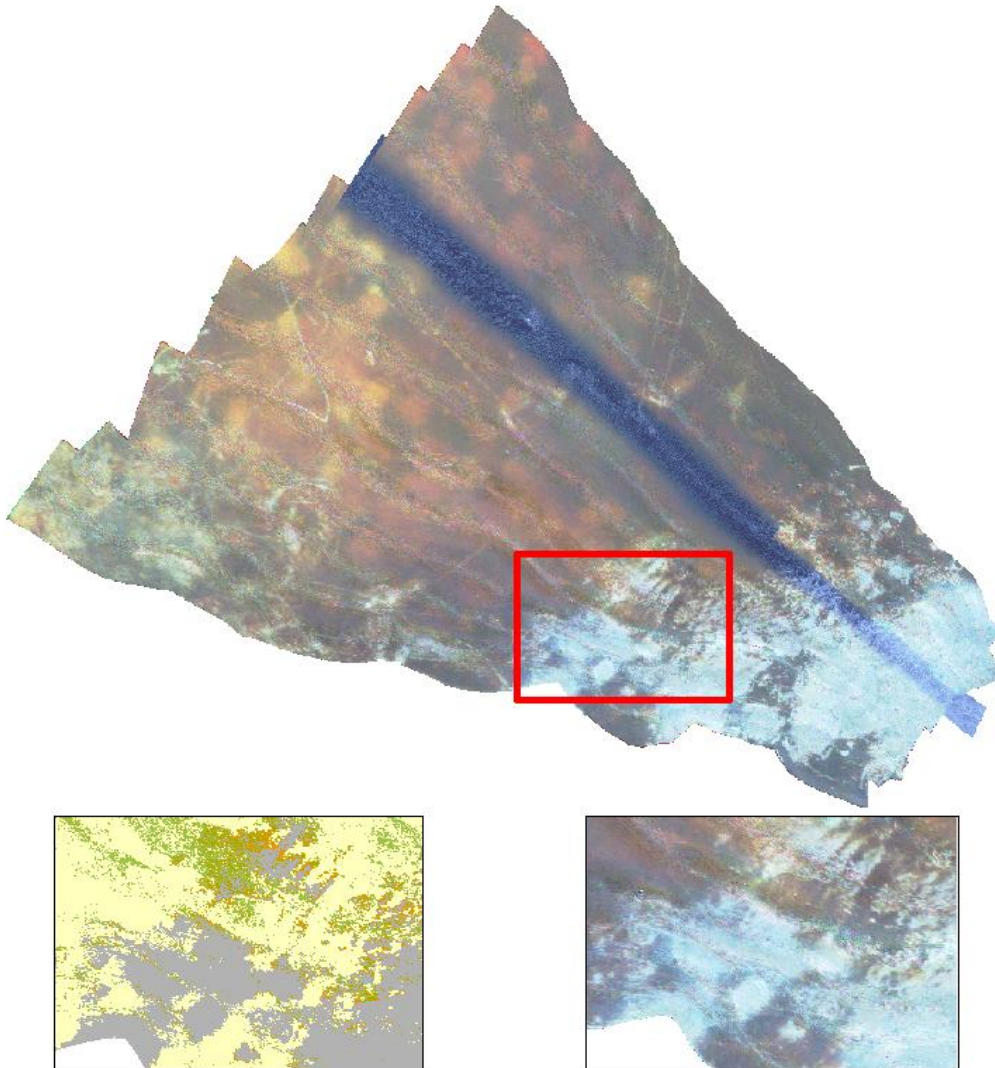
Σε αντίθεση με την προηγούμενη χρονολογία, η τέταρτη κατηγορία (Fine Sand) έχει εντοπιστεί σε ικανοποιητικό ποσοστό (96% έναντι 25%). Αυτό συμβαίνει διότι έγινε δικαιότερη κατανομή των περιοχών εκπαίδευσης ανάμεσα στις πέντε κατηγορίες, προσέχοντας να αντιπροσωπεύονται όλες με μια σχετική ισοτιμία. Τέλος, ως προς το οπτικό αποτέλεσμα, και σε σύγκριση με την προηγούμενη χρονολογία, παρατηρείται αύξηση της έκτασης που καταλαμβάνει η δεύτερη και η τέταρτη κατηγορία, που συνοδεύεται από την αντίστοιχη μείωση στην έκταση που καταλαμβάνει η πρώτη.

Στο σημείο αυτό να τονισθεί πως η συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης ήταν **96%**.

Αφού παρουσιάστηκε παραπάνω η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, επόμενο βήμα είναι να παρουσιασθούν τα βασικότερα λάθη που προέκυψαν, κατά τη διαδικασία της ταξινόμησης. Τα λάθη εντοπίστηκαν,

συγκρίνοντας την πηγαία εικόνα, έχοντας ως οδηγό τα αρχικά δοθέντα σημεία, με τον ταξινομημένο χάρτη. Έτσι, τα αποτελέσματα, ύστερα από την έρευνα που υλοποιήθηκε παρουσιάζονται παρακάτω:

Όσον αφορά την πρώτη χρονολογία, λόγω της ακρίβειας της ταξινομημένης εικόνας, τα λάθη ήταν ελάχιστα. Ένα κρίθηκε ως το κυριότερο, και αφορά την τελευταία κατηγορία (χαλίκια / βράχια), όπου στο νοτιοανατολικό τμήμα (όπως παρουσιάζεται και στην παρακάτω εικόνα) της πηγαίας εικόνας εντοπίζεται έντονη η παρουσία της προαναφερθείσας κατηγορίας, σε αντίθεση με την ταξινομημένη στην ίδια περιοχή όπου παρατηρείται ασθενέστερη. Παρακάτω παρουσιάζεται το πρόβλημα που προαναφέρθηκε:



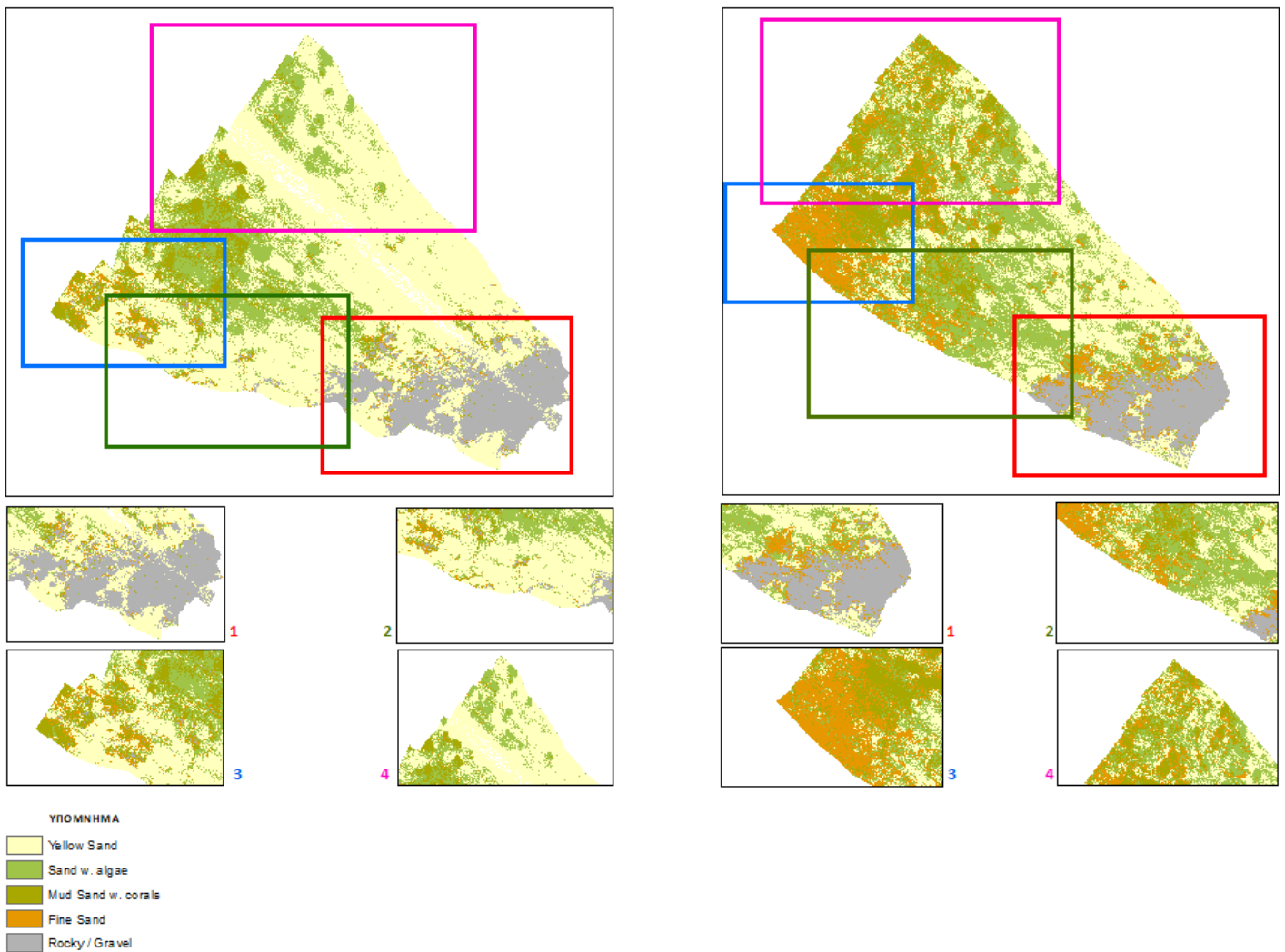
Εικόνα 69 : Απεικόνιση βασικότερων σφαλμάτων ταξινόμησης 2016 Bedford Basin

Όσον αφορά τη χρονολογία αυτή λόγω της ακρίβειας της ταξινόμησης (96%), είναι σχεδόν αδύνατο να παρατηρηθεί κάποιο κρίσιμο λάθος, όπως στην προηγούμενη χρονολογία.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΤΩΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΜΕΝΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ ΜΕΤΑΞΥ 2016-17

Το τελευταίο βήμα για την ολοκλήρωση της μελέτης της πρώτης περιοχής, αφορά τη σύγκριση των δυο χρονολογιών, καθώς και την παρουσίαση των μεταβολών μεταξύ τους.

Αναλυτικά, παρακάτω παρουσιάζονται οι βασικές μεταβολές που παρατηρήθηκαν και ύστερα ακολουθεί η ανάλυση αυτών:



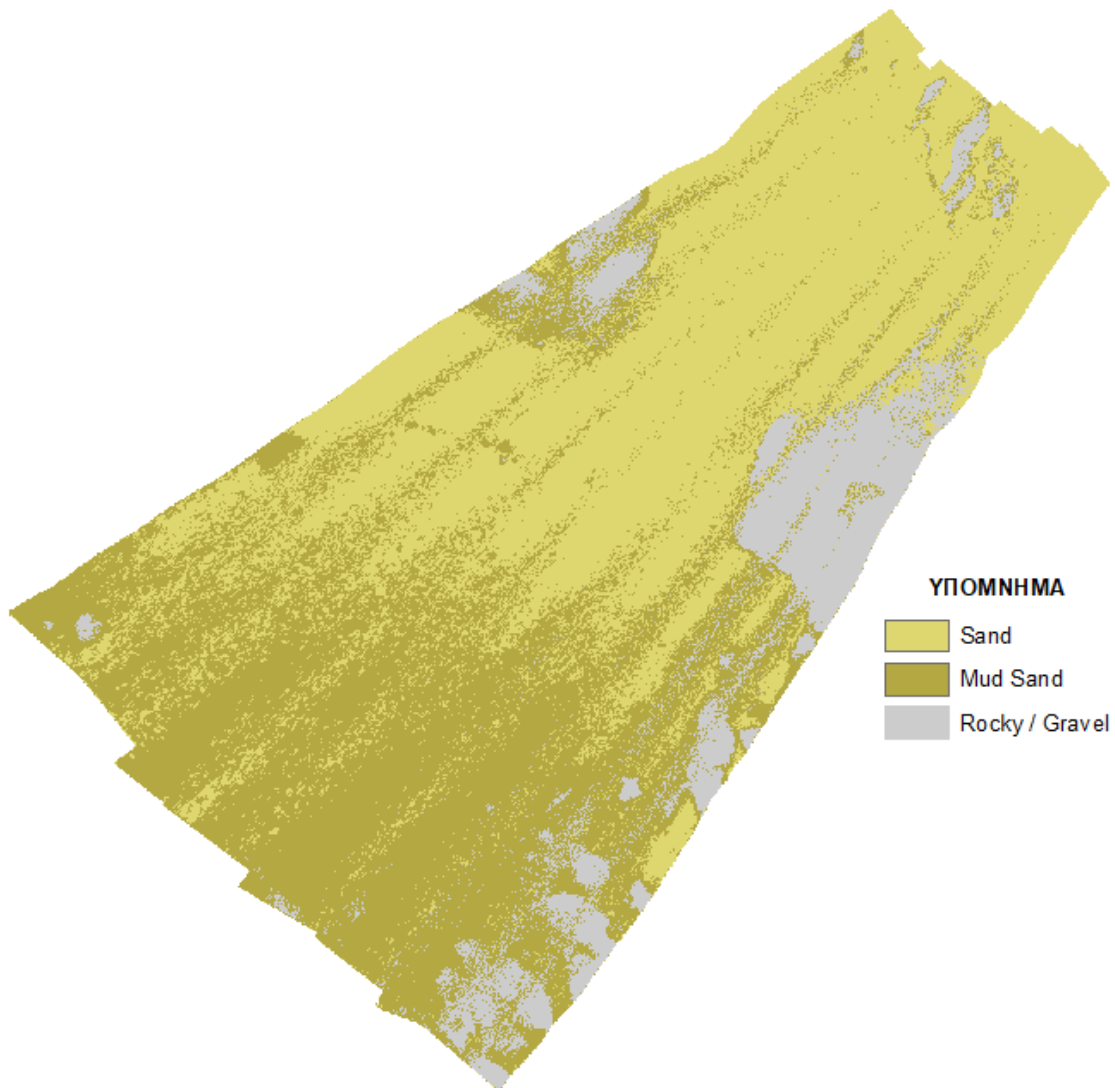
Εικόνα 70 : Ανίχνευση Μεταβολών μεταξύ των ταξινομημένων εικόνων 2016-17 Bedford Basin

Στην εικόνα 70, έχουν εντοπιστεί τέσσερις βασικές μεταβολές μεταξύ των χρονολογιών 2016-17. Η πρώτη (με τον αριθμό 1 (κόκκινο)), συνδέεται άμεσα με τη μεταβολή της τελευταίας κατηγορίας. (χαλίκια/βράχια). Παρατηρήθηκε αύξηση της κάλυψης της, σε βάθος ενός χρόνου (2016-17), με έντονη μεταβολή κυρίως στο βορειοδυτικό τμήμα της μαρκαρισμένης περιοχής (κόκκινης). Στη συνέχεια, όσον αφορά τη δεύτερη βασική διαφορά, στο νότιο-κεντρικό τμήμα της συνολικής εικόνας (πράσινο πλαίσιο), εντοπίστηκε μείωση της πρώτης κατηγορίας (κίτρινη άμμος) κατά μεγάλο ποσοστό, και κάλυψη αυτής, από έναν συνδυασμό της δεύτερης και τρίτης κατηγορίας. Ως προς την τρίτη βασική διαφορά, δυτικό τμήμα της συνολικής εικόνας (μπλε πλαίσιο), παρουσιάστηκε αύξηση κάλυψης της τέταρτης κατηγορίας (Fine Sand), με ταυτόχρονη μείωση της πρώτης (Yellow Sand). Τέλος, στο βόρειο τμήμα της πηγαίας εικόνας (ροζ πλαίσιο), εντοπίστηκε μείωση της κίτρινης άμμου και επικάλυψή της, από ένα συνδυασμό των κατηγοριών 2,3 και 4.

Επομένως, γίνεται αντιληπτό, πως μεταξύ των δυο χρονολογιών, παρατηρούνται έντονες αλλαγές που χρειάζονται περαιτέρω γεωλογική έρευνα αλλά και μελέτη της φύσης των μεταβολών αυτών.

4.2.2 Patricia Bay

Τα αποτελέσματα για την περιοχή Patricia Bay παρουσιάζονται παρακάτω:



Εικόνα 71: Ταξινόμηση περιοχής SVM – Linear Patricia Bay (70 % Training)

Prediction	Sand	Mud Sand	Gravel / Rocky
Sand	91%	0%	0%
Mud Sand	9%	98%	12%
Gravel / Rocky	0%	2%	88%
Overall Accuracy = 94 %			

Categories	UA	PA	# Pixels
Sand	91%	100%	1.451.287
Mud Sand	98%	88%	1.836.189
Gravel / Rocky	88%	95%	623.620

Πίνακας 6: Ακρίβεια Ταξινόμησης SVM – Linear Patricia Bay

Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

Ως προς την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων για τη δεύτερη περιοχή, να τονισθεί πως η ταξινόμηση των κατηγοριών και η πρόβλεψη των αποτελεσμάτων, έγινε χρησιμοποιώντας το γραμμικό αλγόριθμο (εργαλείο SVM-Linear). Από το σύνολο των δεδομένων αναφοράς, το 70% χρησιμοποιήθηκε για την εκπαίδευση του ταξινομητή, ενώ το υπόλοιπο 30% για έλεγχο.

Πιο αναλυτικά, τα αποτελέσματα της ταξινόμησης παρουσιάζονται στον Πίνακα 3. Στο άνω τμήμα του, περιέχονται τα ποσοστά των κατηγοριών που ταξινομήθηκαν σωστά κατά τη διαδικασία της πρόβλεψης (διαγώνιος). Όπως μπορεί να παρατηρηθεί τα ποσοστά ακρίβειας κυμαίνονται από 88% (για την κατηγορία Gravel / Rocky) έως 98% (ως προς την κατηγορία Mud Sand).

Στη συνέχεια, στο κάτω τμήμα του Πίνακα 6, παρουσιάζονται τα ποσοστά των κατηγοριών, που έχουν ταξινομηθεί σωστά, ως προς τα δεδομένα αναφοράς (ground truth). Τα ποσοστά του παραπάνω πίνακα ξεκινάνε από 95 % για την κατηγορία (Gravel / Rocky) και φτάνουν σε ποσοστό μέχρι 100% (για την κατηγορία Sand).

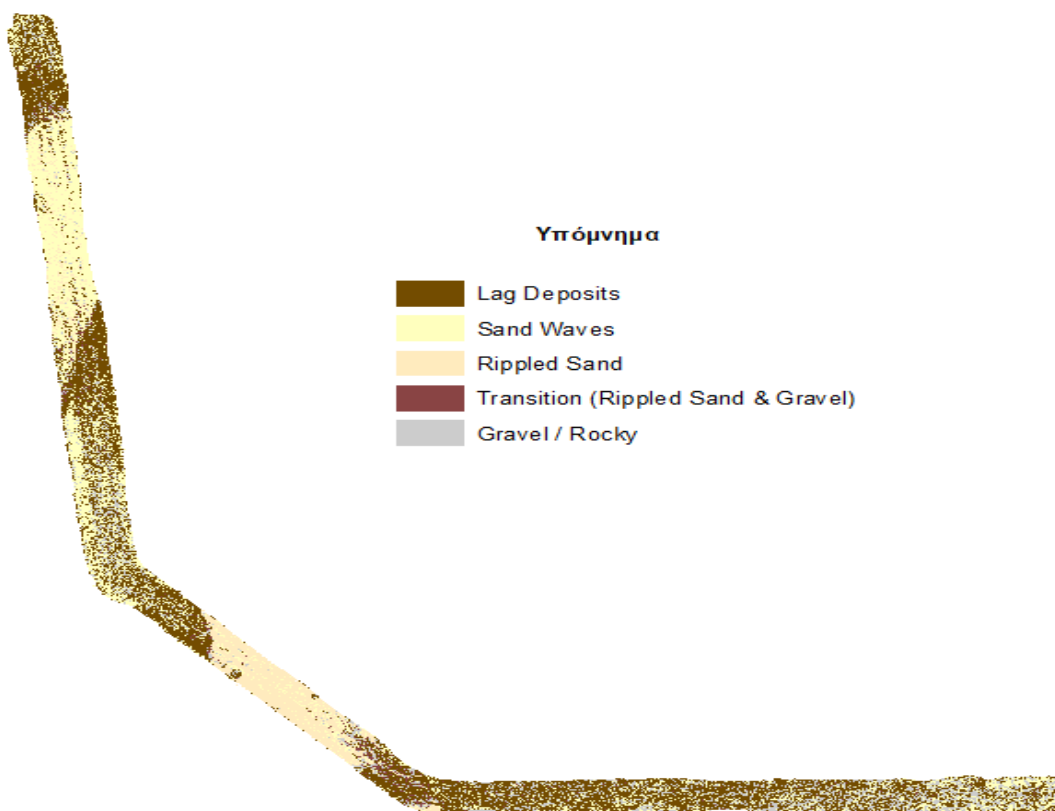
Τέλος, ως προς το οπτικό αποτέλεσμα, η κύρια κατηγορία που καλύπτει την περιοχή, είναι αυτή της πρώτης (Sand). Στη συνέχεια, σε μικρότερο ποσοστό απεικονίζεται η δεύτερη (Mud Sand), κυρίως στο νότιο τμήμα της εικόνας και τέλος, η τελευταία κατηγορία (Gravel / Rocky) απεικονίζεται κυρίως στα άκρα της εικόνας σε συνδυασμό με τις άλλες δυο κατηγορίες.

Στο σημείο αυτό να τονισθεί πως η συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης ήταν **94%**.

Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη υποενότητα, η ακρίβεια της παρούσας ταξινόμησης υλοποιήθηκε με ένα αρκετά καλό ποσοστό επιτυχίας. Παρατηρώντας παράλληλα και το αποτέλεσμα και συγκρίνοντάς το και με την πηγαία εικόνα, σημαντικές διαφορές δεν παρατηρήθηκαν για τους προαναφερθέντες λόγους.

4.2.3 NewBex – Portsmouth Harbor

Τα αποτελέσματα για την περιοχή NewBex – Portsmouth Harbor παρουσιάζονται παρακάτω:



Εικόνα 72 : Ταξινόμηση περιοχής Random Forest NewBex/Portsmouth (70 % training)

Prediction	Lag Deposits	Sand Waves	Rippled Sand	Transition	Rocky / Gravel
Lag Deposits	56%	16%	0%	19%	14%
Sand Waves	20%	67%	6%	6%	23%
Rippled Sand	0%	2%	94%	1%	0%
Transition (Rippled Sand & Gravel)	3%	0%	0%	51%	2%
Rocky / Gravel	21%	15%	0%	23%	61%
Overall Accuracy = 65%					

Categories	UA	PA	# Pixels
Lag Deposits	56%	72%	2.711.043
Sand Waves	67%	71%	3.503.266
Rippled Sand	94%	94%	1.092.732
Transition (Rippled Sand & Gravel)	51%	18%	172.996
Rocky / Gravel	61%	32%	1.907.404

Πίνακας 7: Ακρίβεια Ταξινόμησης SVM – Linear NewBex

Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

Ως προς την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων για την τρίτη περιοχή, να τονισθεί πως η ταξινόμηση των κατηγοριών και η πρόβλεψη των αποτελεσμάτων έγινε χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο Random Forest, με τυχαίο ποσοστό εκμάθησης 70%. Για την παρούσα περιοχή δεν χρησιμοποιήθηκε ο γραμμικός αλγόριθμος (SVM – Linear), για το λόγο ότι δεν παρουσίαζε σωστά αποτελέσματα (χαμηλή ακρίβεια). Πιο αναλυτικά, η περιοχή αποτελούνταν (όπως αναφέρθηκε και στην περιγραφή των περιοχών), από επτά υποτιμήματα που είχαν αρκετά χαρακτηριστικά. Έτσι ένας απλός γραμμικός αλγόριθμος δεν μπορούσε να τα διακρίνει, στην επιθυμητή ακρίβεια. Για το λόγο αυτό, έγινε η επιλογή του R.F διότι, όπως αναφέρθηκε και στην θεωρία, περιλαμβάνει σύνθετους μαθησιακούς υπολογισμούς, που επιφέρουν καλύτερα αποτελέσματα, τις περισσότερες φορές.

Πιο αναλυτικά, στον πίνακα 7, στο άνω του τμήμα, παρουσιάζονται τα ποσοστά των κατηγοριών που ταξινομήθηκαν σωστά κατά την διαδικασία της πρόβλεψης (διαγώνιος). Όπως μπορεί να παρατηρηθεί, κυμαίνονται από 51% (για την κατηγορία Transition) έως 94% ακρίβεια (για την κατηγορία Rippled Sand).

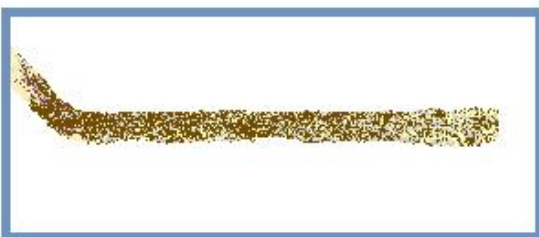
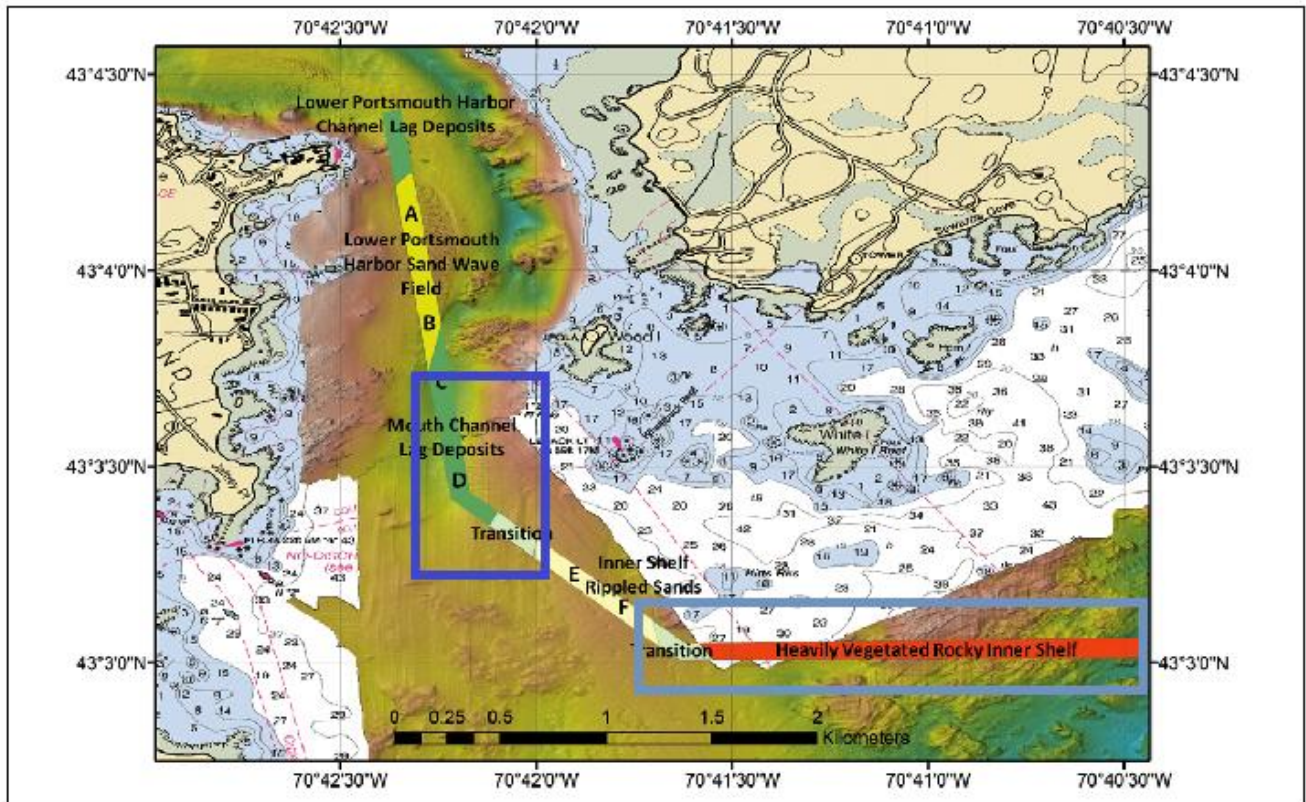
Στην συνέχεια, στο κάτω τμήμα του ίδιου πίνακα (7), απεικονίζονται τα ποσοστά των κατηγοριών, που έχουν ταξινομηθεί σωστά, ως προς τα δεδομένα αναφοράς (ground truth). Τα ποσοστά ξεκινάνε από 18 % (για την κατηγορία Transition) και φτάνουν σε ποσοστό μέχρι 94% (για την κατηγορία Rippled Sand). Όπως προαναφέρθηκε, η τέταρτη κατηγορία παρατηρείται σε χαμηλό αρκετά ποσοστό. Αυτό συμβαίνει για δυο κύριους λόγους. Ο πρώτος, αφορά τον αριθμό των φαινών που πάρθηκαν, ο οποίος είναι αρκετά μικρότερος σε σχέση με τον αντίστοιχο, των υπόλοιπων κατηγοριών. Ο δεύτερος λόγος, αφορά στο ότι η συγκεκριμένη κατηγορία (Transition) δημιουργήθηκε, ως συμπληρωματική, στις κατηγορίες Rippled Sand & Gravel.

Τέλος, ως προς το οπτικό αποτέλεσμα, η κύρια κατηγορία που καλύπτει την περιοχή, είναι αυτή της πρώτης (Lag Deposits), που απεικονίζεται κυρίως στο πάνω τμήμα της εικόνας αλλά και στο κεντρικό. Στη συνέχεια, σε αμέσως μικρότερο ποσοστό, απεικονίζεται η δεύτερη κατηγορία σε συνδυασμό με την τρίτη. (Sand Waves & Rippled Sand). Η πρώτη εξ'αυτών εντοπίζεται στο βόρειο τμήμα της συνολικής εικόνας, κάτω από την πρώτη κατηγορία (Lag Deposits). Έντονα εμφανίζεται επίσης και στο κεντρικό τμήμα, σε συνδυασμό πάλι με την πρώτη καθώς και στο νοτιοανατολικό τμήμα σε συνδυασμό με τις κατηγορίες 1, 4 και 5. Ως προς την τρίτη κατηγορία εντοπίζεται κυρίως στο νοτιοδυτικό τμήμα της συνολικής εικόνας, ανάμεσα από την κατηγορία 1, κυρίως στο νότιο τμήμα. Τέλος, η τελευταία κατηγορία (Gravel / Rocky) παρουσιάζεται σε συνδυασμό με τη τέταρτη στο νοτιοανατολικό τμήμα.

Ως προς την ορθότητα του αποτελέσματος, έχοντας ως γνώμονα τον αρχικό βυθομετρικό χάρτη (θεωρία της περιοχής), οι παρατηρήσεις που εντοπίστηκαν αναγράφονται παρακάτω:

Στο σημείο αυτό, να τονισθεί πως η ολική ακρίβεια της ταξινόμησης έγινε σε **ποσοστό 65%**

Όπως αναφέρθηκε και στην παραπάνω υποενότητα, εντοπίστηκαν κάποια σημαντικά λάθη κατά την διαδικασία ταξινόμησης της εικόνας. Στην παρούσα ενότητα, αναλύονται περισσότερο τα σφάλματα αυτά. Παρακάτω παρουσιάζεται ο βασικός χάρτης που τα απεικονίζει:



Υπόμνημα

- Lag Deposits
- Sand Waves
- Rippled Sand
- Transition (Rippled Sand & Gravel)
- Gravel / Rocky

Εικόνα 73 : Χάρτης Αποτύπωσης βασικότερων σφαλμάτων κατά την ταξινόμηση NewBex/Portsmouth

Αρχικά, το πρώτο κύριο σφάλμα αποτυπώνεται με το σκούρο μπλε πλαίσιο, όπου για την πλαισιομένη περιοχή παρατηρείται πως έχει ταξινομηθεί ως Lag Deposits σε συνδυασμό με την κατηγορία Sand Waves,

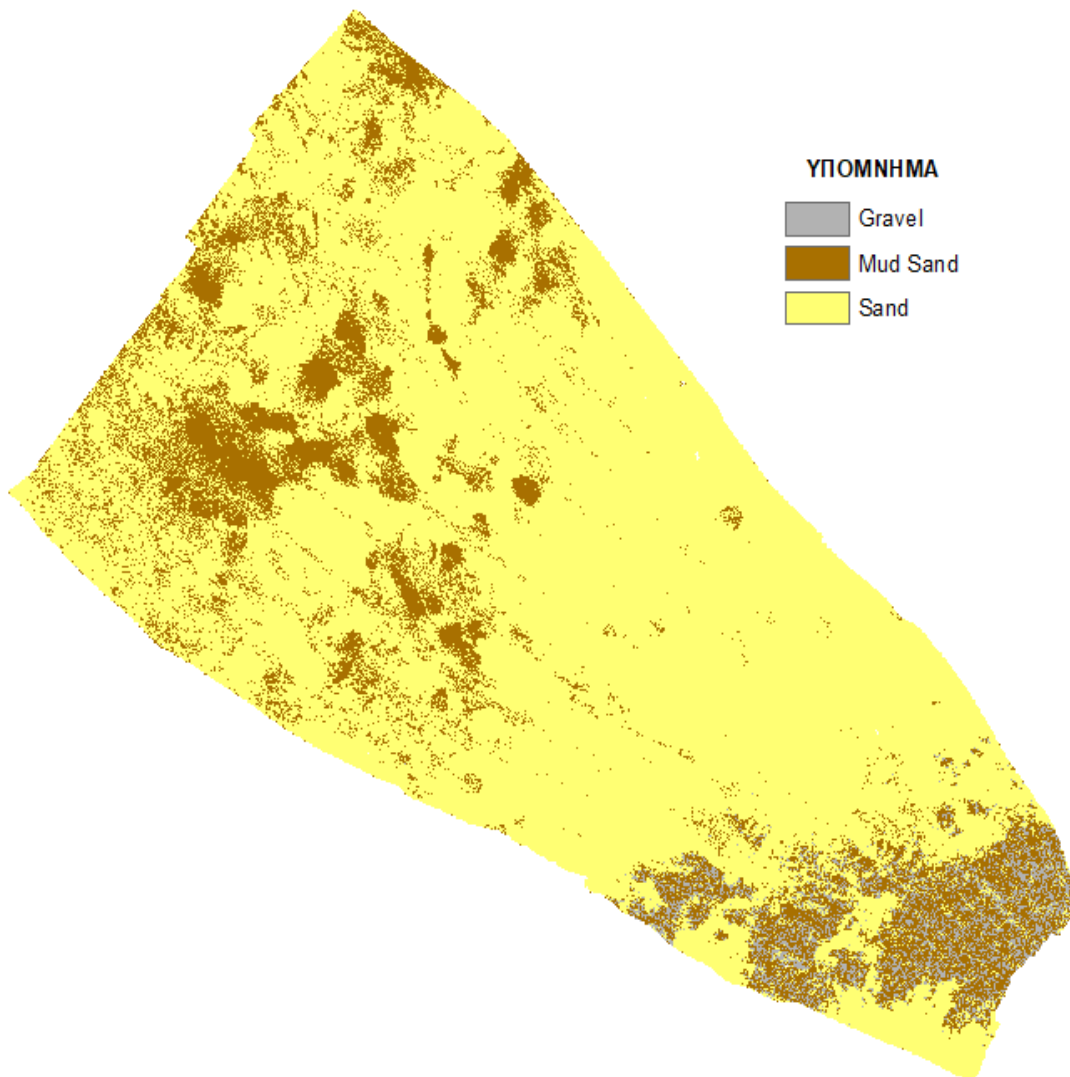
πράγμα λανθασμένο, με βάση τον κύριο χάρτη. Η περιοχή αυτή, θα έπρεπε να έχει αποτυπωθεί εξολοκλήρου ως Lag Deposits. Τέλος, όσον αφορά το τελευταίο και κυριότερο σφάλμα έχει να κάνει με το τελευταίο κομμάτι (ανοιχτό μπλε πλαίσιο), όπου έχει ταξινομηθεί σχεδόν εξολοκλήρου, λάθος. Αντί να έχει χαρακτηριστεί η περιοχή ως Gravel / Rocky, τη θέση της έχει πάρει κυρίως η πρώτη κατηγορία (Lag Deposits) σε συνδυασμό με τη δεύτερη (Sand Waves).

4.3 Αποτελέσματα από το Γενικευμένο Μοντέλο

Στο παρόν κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ταξινόμησης, τα οποία έχουν προκύψει εφαρμόζοντας το γενικευμένο μοντέλο (Κεφάλαιο 3.4.7). Το μοντέλο αυτό, εκπαιδεύτηκε για την χαρτογράφηση του πυθμένα και των τριών περιοχών μελέτης. Η εκπαίδευση αυτή έγινε χρησιμοποιώντας το τυχαίο 70% ποσοστό από τα δεδομένα και το υπόλοιπο 30% λειτούργησε ως πυλώνας για τον έλεγχο των αποτελεσμάτων. Τα ποσοστά ακριβείας τα οποία επιτεύχθηκαν παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες (Πίνακας 8, 9 & 10, Confusion Matrix) συνοδευόμενα και από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Τα προαναφερθέντα παρουσιάζονται παρακάτω για κάθε περιοχή ξεχωριστά:

4.3.1 Bedford Basin

Τα αποτελέσματα για την περιοχή Bedford Basin το 2017 παρουσιάζονται παρακάτω:



Εικόνα 74 : Ταξινόμηση περιοχής Random Forest Bedford Basin 2017 (70 % training)

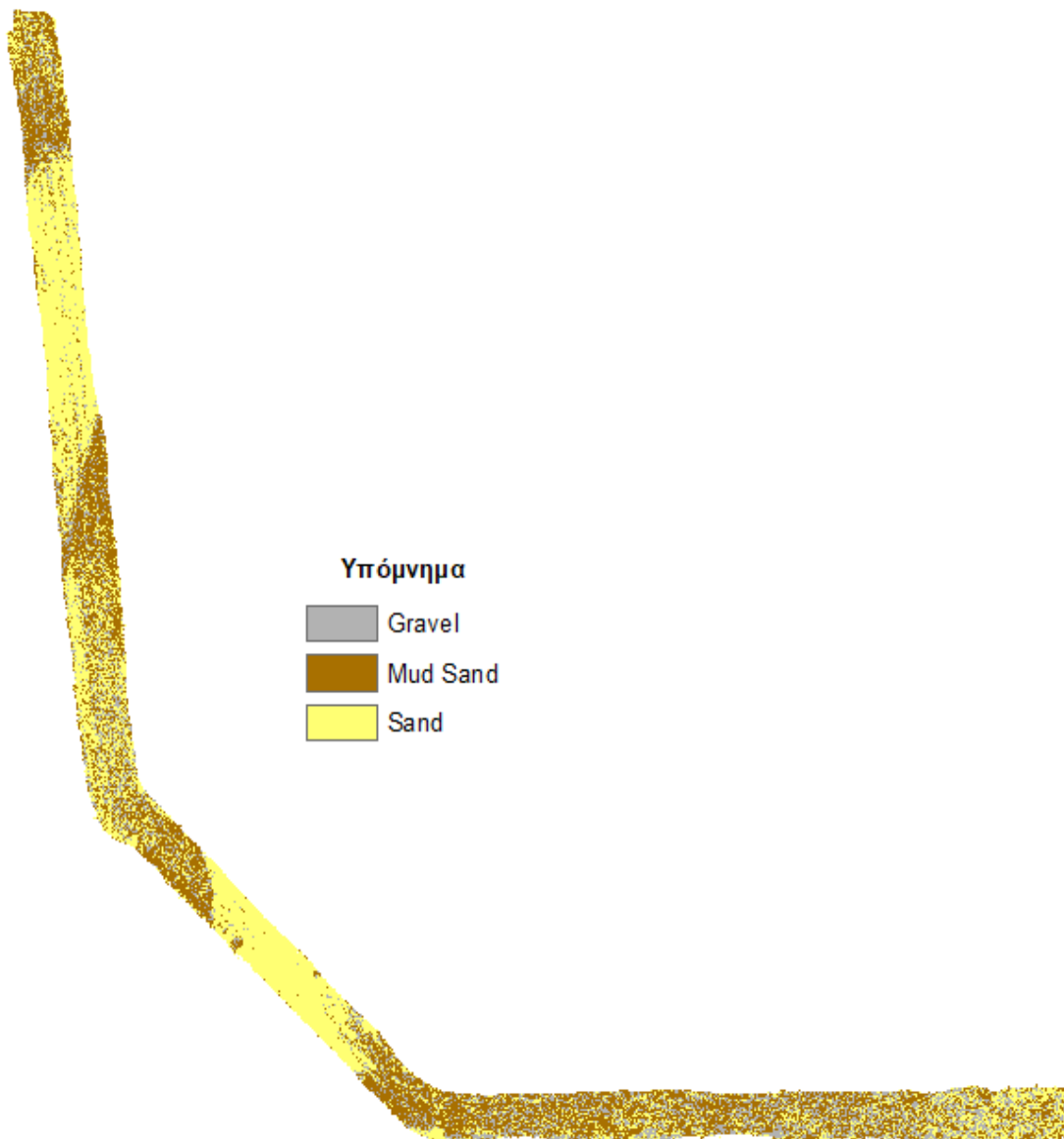
Prediction	Sand	Mud Sand	Gravel / Rocky
Sand	97%	2%	0%
Mud Sand	2%	63%	0%
Gravel / Rocky	1%	35%	100%
Overall Accuracy = 86 %			

Categories	UA	PA	# Pixels
Sand	97%	99%	7.486.048
Mud Sand	63%	95%	5.256.195
Gravel / Rocky	100%	34%	3.000.013

Πίνακας 8: Ακρίβεια Ταξινόμησης Random Forest χρησιμοποιώντας ενιαίο μοντέλο Bedford Basin 2017

4.3.3 NewBex / Portsmouth

Τα αποτελέσματα για την περιοχή NewBex – Portsmouth Harbor παρουσιάζονται παρακάτω:



Εικόνα 75: Ταξινόμηση περιοχής Random NewBex(70 % Training)

Prediction	Sand	Mud Sand	Gravel / Rocky
Sand	75%	21%	21%
Mud Sand	13%	58%	27%
Gravel / Rocky	12%	21%	53%
Overall Accuracy = 65 %			

Categories	UA	PA	# Pixels
Sand	75%	80%	7.486.048
Mud Sand	58%	67%	5.256.195
Gravel / Rocky	53%	33%	3.000.013

Πίνακας 10: Ακρίβεια Ταξινόμησης Random Forest χρησιμοποιώντας ενιαίο μοντέλο NewBex/Portsmouth

4.3.4 Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

Ως προς την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, για το συνολικό μοντέλο που δημιουργήθηκε, να τονισθεί πως για την επεξεργασία των δεδομένων, αλλά και για την υλοποίηση της διαδικασίας εκμάθησής τους, χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος Random Forest με τυχαίο ποσοστό εκμάθησης 70%.

Η επιλογή του, τέθηκε ως η καταλληλότερη για την δημιουργία του μοντέλου αυτού, αφού είχαν υλοποιηθεί διάφορα πειράματα και διαφορετικοί αλγόριθμοι, όπως για παράδειγμα ο γραμμικός αλγόριθμος (SVM – Linear), ώστε να υλοποιηθεί σύγκριση μεταξύ των δυο.

Ένα άλλο στοιχείο που θα πρέπει να τονισθεί, είναι πως κατά την εισαγωγή των δεδομένων στο μοντέλο για την πρώτη περιοχή (Bedford Basin), επιλέχθηκε να εισαχθεί ως αντιπροσωπευτική της, αυτή του 2017. Ο λόγος είναι πως η συγκεκριμένη εικόνα σε σχέση με την προηγούμενη της, έχει καλύτερη χωρική ανάλυση και αισθητά μειωμένο θόρυβο.

Όσον αφορά τους πίνακες σύγχυσης (confusion matrix):

Όπως και στις προηγούμενες ταξινομήσεις, ο πρώτος πίνακας (άνω τμήμα) παριστάνει τα ποσοστά των κατηγοριών που ταξινομήθηκαν σωστά κατά την διαδικασία της πρόβλεψης (διαγώνιος). Όπως μπορεί να παρατηρηθεί, για την πρώτη περιοχή (**Bedford Basin 2017**) τα ποσοστά κυμαίνονται από 63% (για την κατηγορία Mud Sand) έως 100% ακρίβεια (ως προς την κατηγορία Gravel / Rocky).

Στην συνέχεια ως προς τη δεύτερη περιοχή (**Patricia Bay**), τα ποσοστά κυμαίνονται από 90% (για την κατηγορία Gravel / Rocky) έως 99% ακρίβεια (ως προς τις κατηγορία Sand & Mud Sand).

Τέλος, ως προς την τρίτη περιοχή (**NewBex – Portsmouth**), τα ποσοστά κυμαίνονται από 53% (για την κατηγορία Gravel / Rocky) έως 75% ακρίβεια (ως προς την κατηγορία Sand).

Στην συνέχεια, ο δεύτερος πίνακας (κάτω υποπίνακας), απεικονίζει τα ποσοστά των κατηγοριών, που έχουν ταξινομηθεί σωστά, ως προς τα δεδομένα αναφοράς (ground truth). Αναλυτικότερα, ως προς την πρώτη περιοχή (**Bedford Basin 2017**), τα ποσοστά αυτού ξεκινάνε από 34% για την κατηγορία (Gravel / Rocky) και φτάνουν σε ποσοστό μέχρι 99% (για την κατηγορία Sand). Όσον αφορά τη δεύτερη περιοχή (**Patricia Bay**), τα ποσοστά του πίνακα ξεκινάνε από 95% για την κατηγορία (Sand) και φτάνουν σε ποσοστό μέχρι 99% (για τις άλλες δυο κατηγορίες). Τέλος, ως προς την τελευταία περιοχή, (**NewBex – Portsmouth**), τα ποσοστά κυμαίνονται από 33% για την κατηγορία (Gravel / Rocky) και φτάνουν σε ποσοστό μέχρι 80%.

Τελευταία κομμάτι και σημαντικότερο έχει να κάνει με το οπτικό αποτέλεσμα που προέκυψε αλλά και με την ορθότητα αυτού για κάθε περιοχή, ύστερα από τις ενοποιήσεις και ανασχηματισμούς των κατηγοριών σε νέες.

Πιο αναλυτικά, όσον αφορά την πρώτη περιοχή (**Bedford Basin 2017**), οι κατηγορίες 1,2 και 4 (αρχικές), που ενώθηκαν και κατατάχθηκαν στην γενική κατηγορία Sand απεικονίζονται, συγκρίνοντας το και με τις προηγούμενες ταξινομήσεις, με αρκετά καλό ποσοστό ακρίβειας σχεδόν ακριβώς με την αρχική ταξινόμηση.

Η μόνη διαφορά που παρατηρείται είναι πως η κατηγορία Gravel / Rocky έχει μειωθεί σε έκταση σε σύγκριση με την αρχική ταξινόμηση, η οποία έχει αναμειχθεί αρκετά με την δεύτερη κατηγορία (Mud Sand). Τέλος, να τονισθεί πως η ολική ακρίβεια της ταξινόμησης έγινε με **ποσοστό 86%**.

Στην συνέχεια, ως προς τη δεύτερη περιοχή, (**Patricia Bay**), το οπτικό της αποτέλεσμα, σε σύγκριση με την αρχική ταξινόμηση που έγινε στην προηγούμενη υποενότητα, παρατηρείται έντονη αύξηση της κατηγορίας 2 (Mud Sand) καθώς και της τρίτης (Gravel / Rocky). Πιθανοί λόγοι για το αποτέλεσμα αυτό είναι είτε λόγω του διαφορετικού αλγορίθμου που χρησιμοποιήθηκε, είτε λόγω των δεδομένων εκπαίδευσης. Να τονισθεί, πως η ολική ακρίβεια της ταξινόμησης έγινε με **ποσοστό 97%**.

Τέλος, ως προς την τελευταία περιοχή (**NewBex – Portsmouth**), παρατηρείται σχεδόν το ίδιο οπτικό αποτέλεσμα, σύμφωνα με τις προηγούμενες ταξινομήσεις, με κύριο σφάλμα και σε αυτή τη μέθοδο, την κατηγορία (Gravel / Rocky). Δηλαδή, δεν ταξινομείται εξολοκλήρου στο νοτιοανατολικό τμήμα της συνολικής εικόνας, παρά παρουσιάζεται ως συνδυασμός μεταξύ των κατηγοριών 2&3. Επιπροσθέτως, να τονισθεί πως και η τρίτη κατηγορία (Sand) έχει αστοχήσει (σε μικρότερο ποσοστό), διότι απεικονίζεται στο κεντρικό τμήμα, πράγμα λανθασμένο. Εκείνο το τμήμα θα έπρεπε να καλύπτεται εξολοκλήρου από τη δεύτερη κατηγορία (Mud Sand).

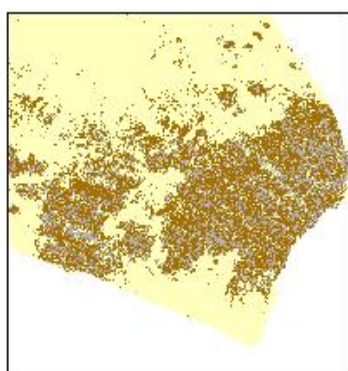
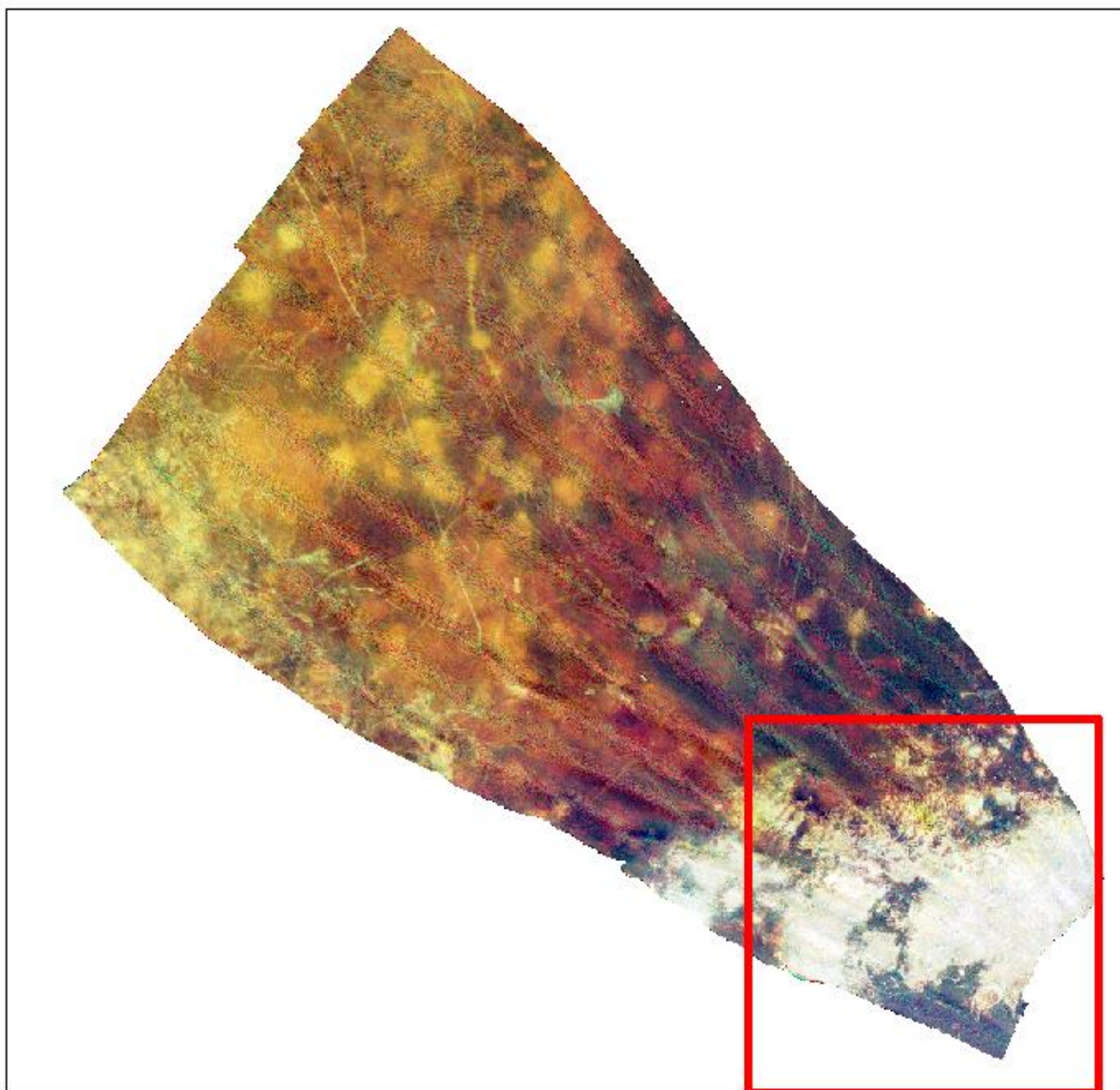
Η ολική ακρίβεια της ταξινόμησης **ποσοστό 65%**.

Αναλυτική μελέτη των βασικών σφαλμάτων ταξινόμησης και στις τρεις περιοχές

Όσον αφορά την πρώτη περιοχή, όπως τονίστηκε και στην προηγούμενη ενότητα, παρουσιάζεται ένα κύριο σφάλμα στην ταξινόμηση. Αυτό αφορά τη δεύτερη κατηγορία του ενιαίου μοντέλου (Mud Sand), η οποία έχει καλύψει κατά ένα σημαντικό ποσοστό την περιοχή των βράχων/χαλικιών, νοτιοανατολικό κυρίως τμήμα της πηγαίας εικόνας. Παρακάτω παρουσιάζεται ο χάρτης οπτικοποιώντας το προαναφερθέν σφάλμα.

Με βάση την Εικόνα 76, στο άνω μέρος της, απεικονίζεται η πηγαία RGB εικόνα (Bedford Basin 2017). Αντίστοιχα, στο κάτω της μέρος παρουσιάζεται το κομμάτι της ταξινομημένης εικόνας που παρουσιάζει το κυριότερο σφάλμα. Όπως μπορεί να παρατηρηθεί, η μαρκαρισμένη υποπεριοχή (κόκκινο πλαίσιο), θα έπρεπε να έχει ταξινομηθεί ως Gravel / Rocky, αλλά στη συγκεκριμένη περίπτωση, εφαρμόζοντας το ενιαίο μοντέλο, έχει αποδοθεί ως ένας συνδυασμός των κατηγοριών 2 και 3.

Για τη δεύτερη περιοχή, πραγματοποιήθηκε αναλυτική μελέτη ως προς την παρουσία σημαντικών σφαλμάτων κατά την ταξινόμηση, συγκρίνοντας το παραχθέν αποτέλεσμα με τους πηγαίους χάρτες, αλλά δεν παρατηρήθηκε κάποιο κύριο σφάλμα κατά την απόδοση.

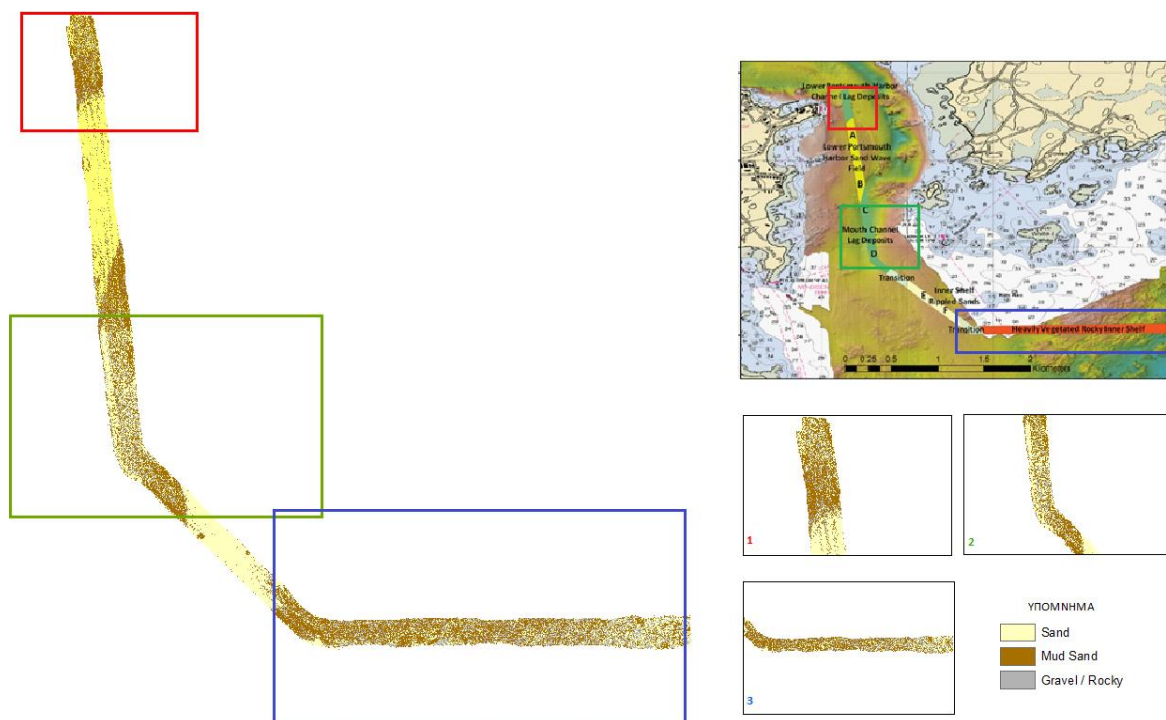


ΥΠΟΜΝΗΜΑ

-  Sand
-  Mud Sand
-  Gravel / Rocky

Εικόνα 76: Χάρτης απεικόνισης σφαλμάτων κατά την ταξινόμηση της περιοχής Bedford Basin, χρησιμοποιώντας το ενιαίο μοντέλο

Όσον αφορά τη τελευταία περιοχή, υλοποιήθηκε αντίστοιχα αναλυτική μελέτη. Τα κυριότερα σφάλματα απεικονίζονται στην Εικόνα 77. Ύστερα ακολουθεί αναλυτικός σχολιασμός:



Εικόνα 77: Χάρτης απεικόνισης σφαλμάτων κατά την ταξινόμηση της περιοχής NewBex - Portsmouth, χρησιμοποιώντας το ενιαίο μοντέλο

Στην Εικόνα 77, απεικονίζονται τα κυριότερα σφάλματα κατά την ταξινόμηση της περιοχής Portsmouth, χρησιμοποιώντας το ενιαίο μοντέλο. Πάνω δεξιά, παρουσιάζεται ο βασικός χάρτης που απεικονίζει τις αρχικές κατηγορίες. Αριστερά του, παρουσιάζεται ο χάρτης μετά την ταξινόμηση, που απεικονίζει τις τρεις κατηγορίες και τέλος, στο κάτω-δεξιά τμήμα παρουσιάζονται τα λάθη που εντοπίστηκαν (1, 2 και 3) σε πλασιομένες περιοχές. Συγκεκριμένα, το πρώτο κύριο σφάλμα, εντοπίστηκε στο πρώτο κομμάτι της συνολικής περιοχής (κόκκινο πλαίσιο), που σύμφωνα με τον πηγαίο χάρτη αλλά και με τις ενοποιήσεις των κατηγοριών, η περιοχή αυτή, θα έπρεπε να παρουσιάζεται ενιαία ως Λασπώδης Άμμος (Mud Sand), σε αντίθεση όμως απεικονίζεται ως ένας συνδυασμός των κατηγοριών 1, 2 και 3 (Sand/Mud Sand & Gravel). Επόμενο βασικό σφάλμα της ταξινόμησης, εντοπίστηκε στο κεντρικό τμήμα της συνολικής εικόνας (πράσινο πλαίσιο), όπου και αυτό αντίστοιχα θα έπρεπε να έχει ταξινομηθεί εξολοκλήρου ως Λασπώδης Άμμος. Αντ'αυτού παρουσιάζεται ως συνδυασμός των προαναφερθέντων κατηγοριών. Τέλος, στο νοτιοανατολικό κομμάτι της συνολικής εικόνας (μπλε πλαίσιο) παρουσιάζεται ένα σημαντικό σφάλμα. Αναλυτικότερα, με βάση τον πηγαίο χάρτη, η περιοχή αυτή θα έπρεπε να έχει ταξινομηθεί εξολοκλήρου ως Gravel / Rocky, σε αντίθεση όμως έχει απεικονισθεί ως συνδυασμός των δυο άλλων κατηγοριών, πράγμα λανθασμένο.

Κεφάλαιο 5: Συζήτηση, Συμπεράσματα & Προτάσεις

Από την ποσοτική και ποιοτική αξιολόγηση των πειραματικών αποτελεσμάτων προκύπτουν συγκεκριμένα συμπεράσματα σε σχέση με τις δυνατότητες χαρτογράφησης με τα πολυφασματικά πολυδεσμικά δεδομένα και τους αλγορίθμους μηχανικής μάθησης που επιλέχθηκαν.

Συγκεκριμένα, όσον αφορά το πρώτο σκέλος της εργασίας, παραγωγή βυθομετρικών χαρτών, εφαρμόστηκαν διάφορα είδη μεθοδολογιών, προκειμένου να επιτευχθεί η μείωση του αριθμού των σημείων που περιγράφουν την περιοχή, αλλά και ομαλοποίηση αυτών. Ο στόχος για μικρό σχετικά υπολογιστικό κόστος επιτεύχθηκε, σε έναν βαθμό, αφού εντοπίστηκαν αρκετές υποπεριοχές (Κεφάλαιο 4.1.3, 4.1.4), όπου παρατηρήθηκε σημαντική εξομάλυνση στον πυθμένα. Επίσης, ο αριθμός των σημείων που περιέγραφαν κάθε περιοχή, μειώθηκε σημαντικά, αφού για την παραγωγή των βυθομετρικών χαρτών εφαρμόστηκε ο αλγόριθμος εξομάλυνσης μέσου όρου (Κεφάλαιο 3.3.1). Για παράδειγμα για την πρώτη περιοχή Bedford Basin, με συχνότητα καταγραφής 100kHz, ο αρχικός αριθμός των σημείων ήταν 80 εκατομμύρια, και έπειτα από την εφαρμογή του, ο αριθμός αυτός μειώθηκε στα 8 εκατομμύρια (ήτοι μείωση 1/10). Να επισημανθεί, πως παρόλο που τα σημεία μειώθηκαν σημαντικά, δεν αλλοιώθηκε ούτε το ανάγλυφο του πυθμένα, ούτε παρατηρήθηκε κάποια εξαφάνιση/αλλοίωση υποπεριοχών με έντονο υποθαλάσσιο ανάγλυφο. Ύστερα από την υλοποίηση του πρώτου σκέλους της παρούσας εργασίας, προτείνονται τα εξής:

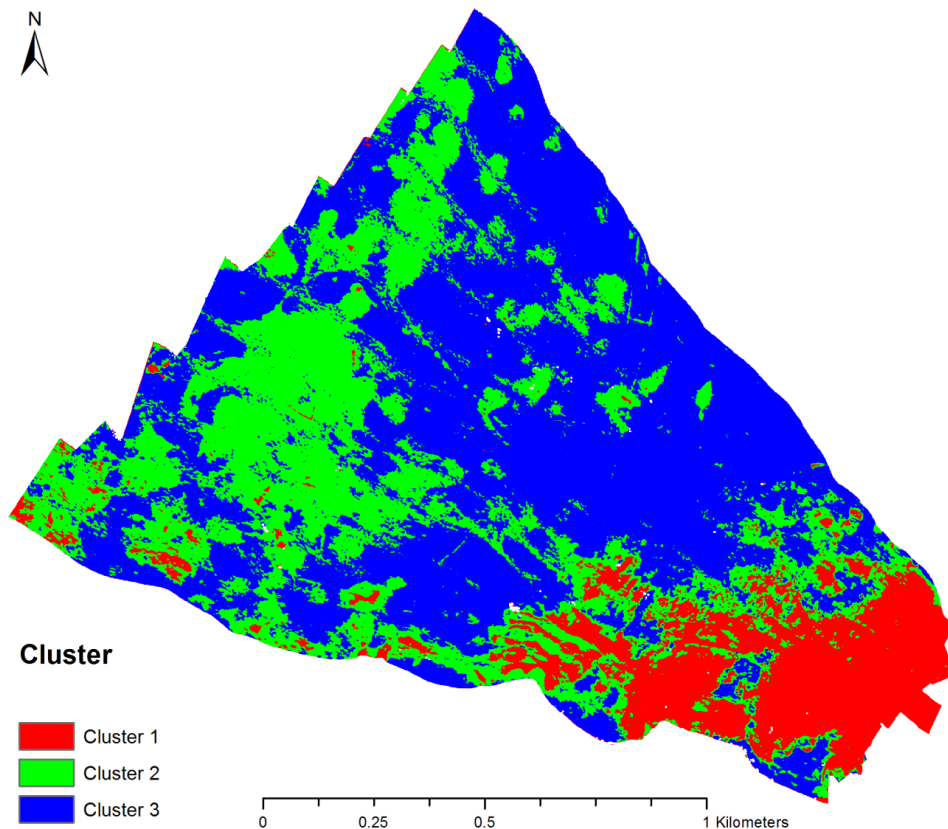
Αρχικά, το ποσοστό θορύβου στα πηγαία δεδομένα είναι σημαντικό. Για παράδειγμα, για τη χρονολογία 2016 της πρώτης περιοχής (για τα 100, 200kHz), είχε εντοπιστεί μια γραμμική περιοχή στο βόρειο τμήμα της, το οποίο ήταν θόρυβος. Η ανάλυση των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο μπορεί να βοηθήσει σημαντικά για τον εντοπισμό τέτοιων περιοχών και ίσως την εκ νέου αποτύπωσή τους. Επίσης, η εφαρμογή υπολογιστικά πιο σύνθετων αλγορίθμων για τη μείωση του θορύβου και την ανακατασκευή με διατήρηση των ακμών/ανάγλυφου θα ήταν χρήσιμο να εφαρμοστεί και αξιολογηθεί. Τέλος, ως προς τη σύγκριση διαχρονικών δεδομένων στην περιοχή Bedford Basin (2016 και 2017) η παρόμοια χωρική ανάλυση κατά την καταγραφή παίζει σημαντικό ρόλο στην αντιστοίχιση αλλά και στη σύγκριση, ανίχνευση μεταβολών μεταξύ των δυο χρονικών στιγμών.

Σχετικά με τις διαδικασίες ταξινόμησης για τη χαρτογράφηση των επιφανειακών υλικών του πυθμένα, τα πειραματικά αποτελέσματα οδήγησαν σε σχετικά υψηλά και πολύ υψηλά ποσοστά ακρίβειας. Στην πρώτη περιοχή (Bedford Basin) η ταξινόμηση πραγματοποιήθηκε με ποσοστά ακρίβειας της τάξης των **90%** και **96%**. Ως προς τη δεύτερη περιοχή (Patricia Bay), η ταξινόμηση του πυθμένα, έγινε με ποσοστό ακρίβειας **94%** και τέλος η τελευταία (NewBex / Portsmouth) πραγματοποιήθηκε με **65%** ακρίβεια. Οι πιθανοί λόγοι για την παρουσία σχετικά χαμηλών ποσοστών ακρίβειας ως προς τη τελευταία περιοχή είναι οι εξής: Αρχικά, η συνολική πηγαία εικόνα ήταν διαμερισμένη, όπως έχει προαναφερθεί, σε επτά υποτμήματα. Μελετώντας φασματικά κάθε κατηγορία για κάθε τμήμα της συνολικής περιοχής, εντοπίστηκαν διαφοροποιήσεις μεταξύ τους σε κάθε τμήμα. Αποτέλεσμα αυτού ήταν η ανάμειξη και η λανθασμένη κατηγοριοποίηση κυρίως της πρώτης και τελευταίας κατηγορίας. Συγκεκριμένα, όπως παρουσιάστηκε και στις ενότητες 4.3.4 & 4.2.1 (Portsmouth/Harbor) οι προαναφερθείσες κατηγορίες (Lag Deposits/Sand & Rocky) αποτυπώθηκαν σε λανθασμένα σημεία (σύμφωνα με τους χάρτες αναφοράς) ή δεν εντοπίστηκαν στον επιθυμητό βαθμό. Ένας άλλος πιθανός λόγος, είναι πως τα πηγαία δεδομένα εμφάνιζαν σημαντικό θόρυβο, με αποτέλεσμα η διαδικασία εκπαίδευσης τους να παρουσίαζε σημαντικά λάθη. Τέλος, καθώς φασματικά οι κατηγορίες παρουσιάζουν αρκετές συσχετίσεις, στον παραγόμενο ταξινομημένο χάρτη υπάρχει έντονο και το φαινόμενο της ανάμειξης μεταξύ των κατηγοριών.

Με βάση τη μελέτη και αξιολόγηση των παραπάνω αποτελεσμάτων, για τη βελτίωση των αποτελεσμάτων προτείνονται τα εξής: Αρχικά, να πραγματοποιηθεί μια πιο αποτελεσματική διαδικασία εξομάλυνσης του θορύβου τους, ώστε η εφαρμογή του αλγορίθμου ταξινόμησης πάνω σε αυτές, να οδηγήσει σε μεγαλύτερα επίπεδα ακρίβειας. Στη συνέχεια, ως προς τη τρίτη περιοχή μελέτης με το χαμηλότερο ποσοστό ακρίβειας, προτείνεται η αξιολόγηση και άλλων αλγορίθμων μηχανικής μάθησης βαθιάς αρχιτεκτονικής όπως μέθοδο βαθιάς μάθησης (deep learning).

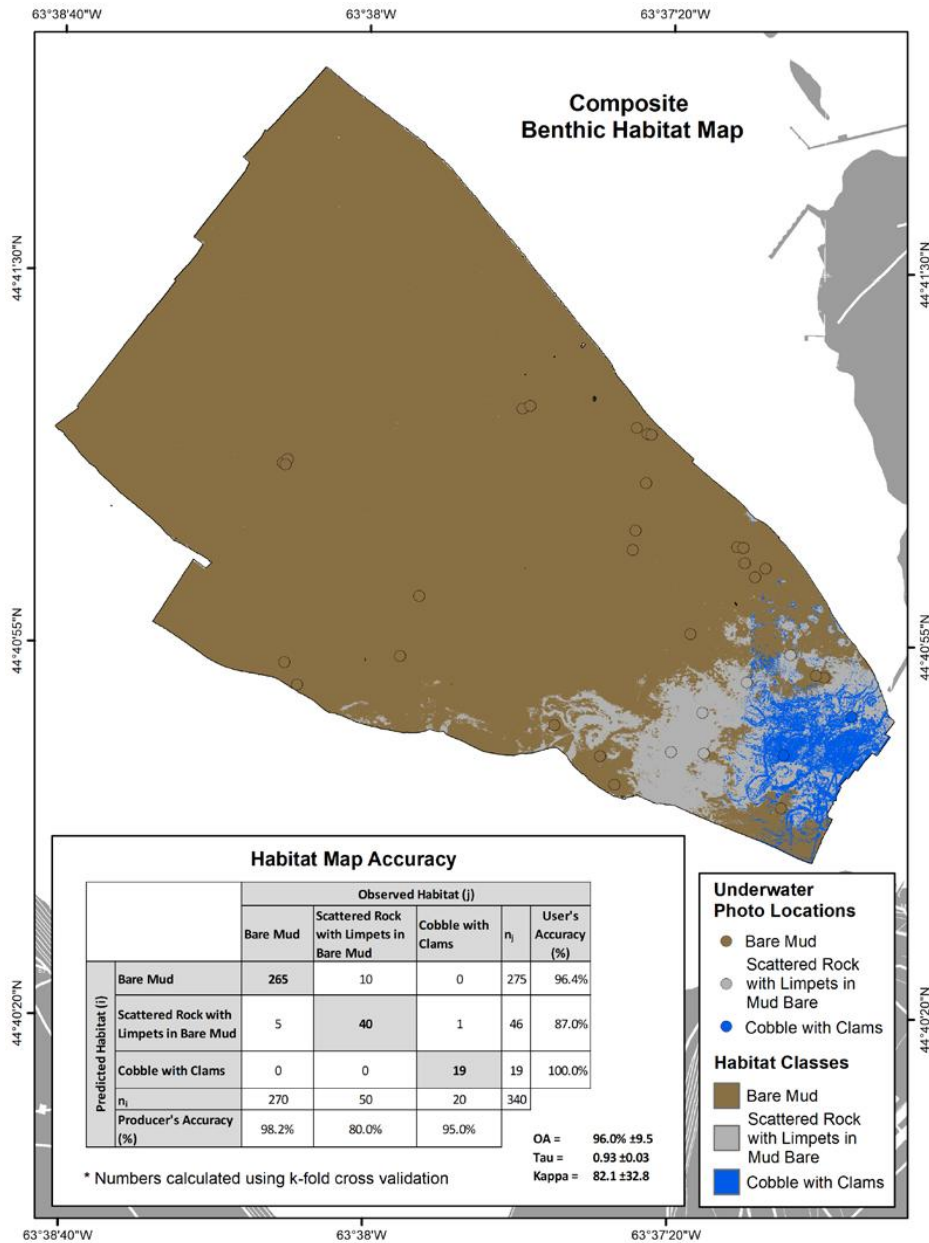
Τέλος, παρουσιάζονται συγκριτικά τα αποτελέσματα και οι μεθοδολογίες από τις αντίστοιχες εργασίες με τα ίδια δεδομένα του διεθνούς διαγωνισμού.

Συγκεκριμένα, η πρώτη παρόμοια μελέτη (**Hasan and Ierodiaconou, 2018**), αφορούσε την ταξινόμηση της περιοχής Bedford Basin, χρονολογίας 2016. Η περιοχή διαχωρίστηκε σε τρεις κατηγορίες (Cluster 1->3), χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο K-means, εκ των οποίων η πρώτη ονομάστηκε βραχώδης (Gravel), η δεύτερη λεία άμμος (Soft Sand) και η τρίτη λασπώδης άμμος (Mud). Να τονιστεί πως στην παρούσα μελέτη δεν αναγραφόταν κάποιος πίνακας ακριβείας της ταξινόμησης. Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης που πραγματοποιήθηκε από την προαναφερθείσα μελέτη παρουσιάζεται παρακάτω:



Εικόνα 78: Αποτέλεσμα Ταξινόμησης (Hasan and Ierodiaconou, 2018)

Η δεύτερη μελέτη που πραγματοποιήθηκε (**Costa, 2018**), αφορούσε την ίδια περιοχή, αλλά τη χρονολογία 2017. Η διαδικασία ταξινόμησης της πραγματοποιήθηκε διαμερίζοντας την σε τρεις κατηγορίες. Η πρώτη ονομάστηκε λασπώδης άμμος (Mud), η δεύτερη βράχια (Gravel) και η τελευταία βότσαλα με όστρακα (Cobble with clams). Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης, από τους συγκεκριμένους ερευνητές, παρουσιάζεται παρακάτω (Εικόνα 79):



Εικόνα 79: Αποτέλεσμα Ταξινόμησης (Costa, 2018)

Ως προς την αξιολόγηση και σύγκριση των αποτελεσμάτων των παραπάνω μελετών, με τα αντίστοιχα της παρούσας εργασίας, αρχικά να αναφερθεί σχετικά με την πρώτη, πως οι κατηγορίες ήταν λιγότερες (3 έναντι 5) σε σύγκριση με την τρέχουσα μελέτη. Επίσης, συγκρίνοντας τους ταξινομημένους χάρτες (Εικόνα 78, Εικόνα 67) παρατηρείται πως το αποτέλεσμα της εικόνας 78 οπτικοποιείται γενικευμένο ως προς την απόδοση της μορφολογίας του πυθμένα, έναντι του χάρτη Εικόνας 67, όπου χρησιμοποιήθηκαν περισσότερες κατηγορίες για εκπαίδευση. Τέλος, όσον αφορά την αξιολόγηση της δεύτερης μελέτης να σημειωθεί πως και σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν τρεις κατηγορίες για την ταξινόμησή της. Όπως είναι εμφανές και στην Εικόνα 79, ο χάρτης παρουσιάζεται γενικευμένος με τον αντίστοιχο της παρούσας εργασίας. Επίσης, το βόρειο τμήμα της προαναφερθείσας εικόνας (79), αποτυπώνεται εξολοκλήρου ως ενιαία λασπώδης άμμος έναντι της παρούσας μελέτης όπου οπτικοποιείται ως ένας συνδυασμός πολλαπλών κατηγοριών (Εικόνα 68). Τέλος, αξιολογώντας τους πίνακες σύγχυσης, το επίπεδο ακριβείας που επιτεύχθηκε από τη μελέτη του B. Costa ήταν 96%. Ίδιο επίπεδο επιτεύχθηκε και με τη παρούσα μελέτη, με τη διαφορά πως ο αριθμός των κατηγοριών ήταν μεγαλύτερος.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. A. J Kenny, I. Cato, M. Desprez, G. Fader, R.T.E. Scuttenhelm, J Side (2003). An overview of seabed-mapping technologies in the context of marine habitat classification
2. Albert E. Theberge Jr. and Norman Z. Cherkis (22 May 2013). "A Note on Fifty Years of Multi-beam". Hydro International. Alexandre C.G. Schimel, Daniel Ierodiaconou, achlan Hulands, David M. Kennedy (2015). Accounting for uncertainty in volumes of seabed change measured with repeat multibeam sonar surveys
3. Alejo Concha, Paulo Drews-Jr, Mario Campos and Javier Civera. Real-Time Localization and Dense Mapping in Underwater Environments from a Monocular Sequence
4. A. Levin and R.Szeliski (2004). Visual Odometry and map correlation
5. Alexandre C. G. Schimel, Jonathan Beaudoin, Iain M. Parnum, Tim Le Bas · Val Schmidt, Gordon Keith · Daniel Ierodiaconou (2018). Multibeam sonar backscatter data processing
6. A. Mallios, P.Ridao, D.Ribas and E. Hernandez (2014). Scan matching SLAM in underwater environments
7. Angelos Mallios, Pere Ridao, David Ribas, Marc Carreras. Towards autonomous exploration in confined underwater environments
8. Angelos Mallios (2018). Recent advances in underwater vehicles localization and mapping
9. Antina Prinzie, Dirk Van den Poel (2008). Random Forest for multiclass classification: Random MultiNomial Logit
10. Augustin J-M, Edy C, Savoye B, Le Drezen E (1994). Sonar mosaic computation from multibeam echo sounder.
1. Ayoung Kim (2012). Active Visual SLAM with Exploration for Autonomous Underwater Navigation
2. Benjamin R. Biffard (2003), Seabed Remote Sensing by Single-Beam Echosounder: Models, Methods and Applications
3. B. Costa (2018), Mapping Marine Habitats Using Machine Learning and Multispectral Multibeam Data
4. Bo He, Yang Liu, Diya Dong, Yue Shen , Tianhong Yan and Rui Nian (2015). Simultaneous Localization and Mapping with Iterative Sparse Extended Information Filter for Autonomous Vehicles
5. Christian De Moustier, Haruyoshi Matsumoto (1992). Seafloor acoustic remote sensing with multibeam echo-sounders and bathymetric sidescan sonar systems
6. C.M. Roelfsema, S.R. Phinn, N. Udy & P.Maxwell (2010). An integrated field and remote sensing approach for mapping Seagrass Cover, Moreton Bay, Australia
7. Craig J. Brown, Philippe Blondel (2008). Developments in the application of multibeam sonar backscatter for seafloor habitat mapping
8. Craig J. Brown, Stephen J. Smith, Peter Lawton, John T. Anderson (2011). Benthic habitat mapping: A review of progress towards improved understanding of the spatial ecology of the seafloor using acoustic techniques
9. D. Alexandrou, D. Pantartzis (1993). A methodology for acoustic seafloor classification
10. Daniel Ierodiaconou, Alexandre C. G. Schimel, David Kennedy, Jacquomo Monk, Grace Gaylard, Mary Young, Markus Diesing, Alex Rattray (2017). Combining pixel and object based image analysis of ultra-high resolution multibeam bathymetry and backscatter for habitat mapping in shallow marine waters
11. Dartnell, Petter; Gardner, James V. (2004). Predicting Seafloor Facies from Multibeam Bathymetry and Backscatter Data

12. David Ribas, Pere Ridao, Juan Domingo Tardos and Jose Neira. Underwater SLAM in a Marina Environment
13. D. Ierodiamonou , J.Monk,A.Rattray, L.Laurenson, V.L.Versace (2009). Comparison of automated classification techniques for predicting benthic biological communities using hydroacoustics and video observations
14. Daniel Ierodiamonou, Alexandre C.G. Shimel, David Kennedy, Jacquomo Monk, Grace Gaylard, Mary Young, Markus Diesing, Alex Rattray (2017), Combining pixel and object based image analysis of ultra-high resolution multibeam bathymetry and backscatter for habitat mapping in shallow marine waters
15. Daniel Moreno, Antoni Burguera, Gabriel Oliver. SSS-SLAM: An Object Oriented Matlab Framework for Underwater SLAM using Side Scan Sonar
16. Davide Scaramuzza. Tutorial on Visual Odometry
17. David W. Caress (2018), MB-System Seafloor Mapping Software
18. de Oliveira Junior AM, Hughes Clarke J (2007). Recovering wide angular sector multibeam backscatter to facilitate seafloor classification.
19. D. Ierodiamonou, J. Monk, A. Rattray, L. Laurenson, V. L. Versace (2011). Comparison of automated classification techniques for predicting benthic biological communities using hydroacoustics and video observations
20. E. Osuna, R. Freund, F. Girosit (2002). Training support vector machines: an application to face detection
21. Francisco Eugenio, Javier Marcello, Javier Martin (2015). High-Resolution Maps of Bathymetry and Benthic Habitats in Shallow-Water Environments Using Multispectral Remote Sensing Imagery
22. Franco Hidalgo, Thomas Bräunl (2015). Review of Underwater SLAM Techniques
23. Giorgio Grisetti, Rainer Kümmerle, Cyrill Stachniss, Wolfram Burgard. A Tutorial on Graph-Based SLAM
24. H. Gary Greene, Mary M Yoklavich, Richard M Starr, Victoria M O'Connell, W.Waldo Wakefield, Deidre E. Sullivan, James E McRea Jr. , Gregor M Cailliet (1999). A classification scheme for deep seafloor habitats
Une classification des habitats benthiques profonds
25. Hill NA, Lucieer V, Barrett NS, Anderson TJ, Williams SB (2014). Filling the gaps: predicting the distribution of temperate reef biota using high resolution biological and acoustic data. Estuar Coastal
26. Jay Gao (2009). Bathymetric mapping by means of remote sensing: methods, accuracy and limitations
27. J. Niemeyer, F. Rottensteiner, U. Soergel (2012). CONDITIONAL RANDOM FIELDS FOR LIDAR POINT CLOUD CLASSIFICATION IN COMPLEX URBAN AREAS
28. J.S. Collier, C.J. Brown (2004), Correlation of sidescan backscatter with grain size distribution of surficial seabed sediments
29. J. Scott Ferguson, Daniel A. Chayes (1995), Use a Generic Sensor Format to store multibeam data
30. John T. Anderson D. Van Holliday Rudy Kloser Dave G. Reid Yvan Simard (2008). Acoustic seabed classification: current practice and future directions
31. Josep Aulinas, Yvan R.Petillot, Xavier Llado, Joaquim Salvi, Rafael Garcia. Vision-Based Underwater SLAM for the SPARUS AUV
32. John L. Heaton, Glen Rice, and Thomas C. Weber (2017). An extended surface target for high-frequency multibeam echo sounder calibration
33. J.S. Colliera , C.J. Brown (2005). Correlation of sidescan backscatter with grain size distribution of surficial seabed sediments

34. J.S. Collier, C.J. Brown (2005) Correlation of sidescan backscatter with grain size distribution of surficial seabed sediments
35. J. Tardos, J. Neira, P. Newman and J. Leonard (2002). Robust mapping and localization in indoor environments using sonar data
36. Karel Zimmermann. Introduction to Visual Odometry
37. Keith Primdahl, Itai Katz, Oren Feinstein, Yi Lang Mok, Hendrik Dahkamp, David Stavens, Michael Montemerlo and Sebastian Thrun. Change Detection From Multiple Camera Images Extended to Non-Stationary Cameras
38. Lamarche G, Lurton X (2017). Recommendations for improved and coherent acquisition and processing of backscatter data from seafloor-mapping sonars. *Mar Geophys Res.* <http://doi.org/10.1007/s11001-017-9315-6>
39. Laura Tološi Thomas Lengauer (2011). Classification with correlated features: unreliability of feature ranking and solutions
40. L. Atallah, P.J. Probert Smith, C.R. Bates (2002). Wavelet analysis of bathymetric sidescan sonar data for the classification of seafloor sediments in Hopvågen Bay - Norway
41. Leidos Corporation (2016). Generic Sensor Format Specification
42. Luciano Fonseca, Larry Mayer (2007). Remote estimation of surficial seafloor properties through the application Angular Range Analysis to multibeam sonar data
43. Loder, J. W., C.G. Hannah, B.D. Petrie, and E.A. Gondalez (2003) Hydrographic and transport variability on the Halifax section. *Journal of Geophysical Research*, 108, C11, doi: 10.1029/2001JC001267
44. L. Paull, S Saeedi, M. Seto and H. Li (2014). AUV navigation and localization: A review
45. M.R.PozzaJ.I.BoyceW.A.Morris (2004). Lake-based magnetic mapping of contaminated sediment distribution, Hamilton Harbour, Lake Ontario, Canada
46. Neil C. Mitchell, John E.Hughes Clarke (1994). Classification of seafloor geology using multibeam sonar data from the Scotian Shelf
47. Oceans engineering for today's technology and tomorrow's preservation.' Proceedings, p II/433–II/438
48. U.S. Hydrographic Conference. Norfolk, VA
49. Pan Guofu (1997). Remote Acoustic Classification of Seafloor Sediments: A Review
50. Patrick McGarey (2015). Visual Odometry (VO)
51. Pierre Geurts, Damien Ernst, Louis Wehenkel (2005). Extremely randomized trees
52. R.J. Kloser, N. J. Bax, T. Ryan, A. Williams and B. A. Barker (2001). Remote Sensing of seabed types in the Australian South East Fishery; development and application of normal incident acoustic techniques and associated 'ground truthing'
53. Roman, C.N., Singh, H. (2007). A Self-consistent bathymetric mapping algorithm
54. Roman Shapovalov, Alexander Velizhev, Olga Barinova. Non-associative markov networks for 3d point cloud classification
55. Rong-En Fan, Kai-Wei Chang, Cho-Jui Hsieh, Xiang-Rui Wang, Chih-Jen Lin (2008). LIBLINEAR: A Library for Large Linear Classification

56. Rozaimi Che Hasan, Daniel Ierodionou (2018), Automated backscatter classification using texture and pseudo training data
57. R. Szeliski and H.Y. Shum (1997). Creating full view panoramic image mosaics and texture-mapped models
58. Smith, P. C. and F.B. Schwing (1991) Mean circulation and variability on the eastern Canadian continental shelf. *Continental Shelf Research*, 11, 977-1012.
59. Stefan B. Williams, Paul Newman, Julio Rosenblatt, Gamini Dissanayake, Hugh Durrant-Whyte (2006). *Autonomous Underwater Navigation and Control*
60. Stephan Weiss. *Visual Odometry (Features, Tracking, Essential Matrix and RANSAC)*
61. Stephan Weiss. *Dealing with Scale*
62. Strobl, Boulesteix, Augustin (2005). Unbiased split selection for classification trees based on the Gini Index
63. S. Williams and I. Mahon (2004). Simultaneous localisation and mapping on the great barrier reef
64. Tardos, J.D, Neira, K. Newman, P.M, Leonardm J.J (2002). Robust mapping and localization in indoor environments using sonar data
65. Thiago S. F. Silva, Maycira P. F., Costa, John M. Melack, Evelyn M. L. M. Novo (2007). Remote Sensing of aquatic vegetation: theory and applications
66. Thomas C. Weber, Larry G. Ward (2015). Observations of backscatter from sand and gravel seafloors between 170 and 250 kHz
67. Tim Kam Ho. *Random Decision Forest*
68. Tim Kam Ho. *The Random Subspace Method for Constructing Decision Trees*
69. Trevor Hastie, Robert Tibshirani, Jerome Friedman (2009). *The elements of Statistical Learning*
70. Toby Haynes, (1998). *A Primer on Digital Beamforming*
71. Ute ChristinaHerzfeldChris A.Higginson (1996). Automated geostatistical seafloor classification—Principles, parameters, feature vectors, and discrimination criteria
72. Vincent Lecours, Rodolphe Devillers, David C. Sheimeder, Vanessa L. Lucieer, Craig J. Brown, Evan N. Edinger (2015). Spatial scale and geographic context in benthic habitat mapping: review and future directions
73. Vincent Lecours, Rodolphe Devillers, Vanessa L. Lucieer, and Craig J. Brown (2017). Artefacts in Marine Digital Terrain Models: A Multiscale Analysis of Their Impact on the Derivation of Terrain Attributes
74. Vincent Lecours, Rodolphe Devillers, Vanessa L. Lucieer, and Craig J. Brown (2017). Artefacts in Marine Digital Terrain Models: A Multiscale Analysis of Their Impact on the Derivation of Terrain Attributes

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α - Στοιχεία και Πεδία της Βιβλιοθήκης GSF

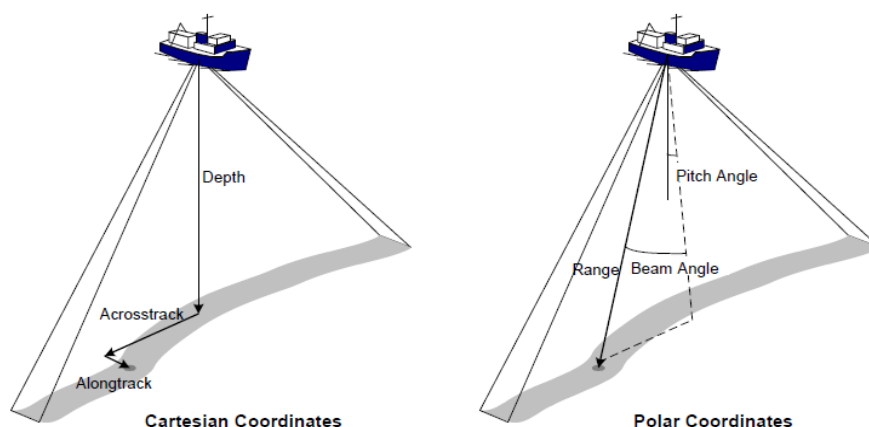
Ακρίβεια

Τα αρχεία δεδομένων που συνδέονται άμεσα με τη μορφή GSF, θα μπορούσαν να είναι οποιασδήποτε ακρίβειας. Παρ' όλ' αυτά, η οριζοντιογραφική και βυθομετρική/υψομετρική ακρίβεια τους πρέπει να είναι καθορισμένη από μια τυποποιημένη μέθοδο.

Τα οριζοντιογραφικά δεδομένα είναι ανηγμένα στο παγκόσμιο Γεωδαιτικό Σύστημα αναφοράς, το ελλειψοειδές WGS 84. Να τονιστεί πως κατά την εισαγωγή τους στη βάση δεδομένων, το αρχικό σύστημα αναφοράς και το καταγραφέν θα πρέπει να ταυτίζονται για την αποφυγή τυχόν γεωγραφικών μετατοπίσεων. Ως προς τα βυθομετρικά δεδομένα, θετικά στοιχεία που αντιπροσωπεύουν το πραγματικό βάθος, έχουν ως σύστημα αναφοράς το γεωειδές WGS'84.

Προσδιορισμός θέσης

Ο προσδιορισμός της θέσης γίνεται σε σχέση με το σκάφος που βρίσκεται στην επιφάνεια της θάλασσας. Τα είδη συντεταγμένων που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της είναι δύο, πολικές και καρτεσιανές συντεταγμένες. Όσον αφορά τις πολικές, το σκάφος απεικονίζεται στο κέντρο της σφαίρας. Ο προσδιορισμός γίνεται μετρώντας, μέσω ηχητικών κυμάτων, την απόσταση μεταξύ σκάφους μέχρι τον πυθμένα αλλά και την γωνία καταγραφής. Η γωνία αυτή συνήθως παραμένει σταθερή σε μέγεθος. Η εικόνα που αποδίδει την παραπάνω περιγραφή παρουσιάζεται παρακάτω (Εικόνα-80):



Εικόνα 80-Προσδιορισμός θέσης

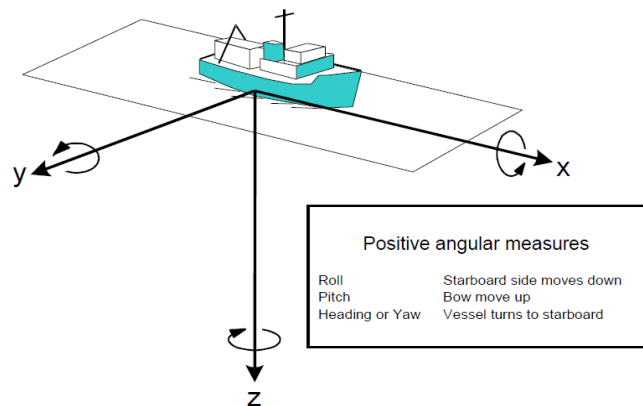
Όσον αφορά τις καρτεσιανές, μέσω ακουστικών κυμάτων προσδιορίζεται το βάθος καθώς και τα σημεία όπου παρατηρείτε αλλαγή κλίσης στον βυθό.

(Σημείωση: Κατά την υλοποίηση της μεθόδου των πολλαπλών δεσμών που χρησιμοποιείται, υλοποιείται ένας συνδυασμός των δυο συστημάτων συντεταγμένων)

Σύστημα συντεταγμένων που χρησιμοποιεί το σκάφος

Πάνω σε ένα πλοίο είναι τοποθετημένοι διάφοροι δέκτες (sensors). Η πορεία που ακολουθεί το σκάφος καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων είναι αυτή κατά τον άξονα των x. Ο άξονας των z είναι τοποθετημένος προς τα κάτω. Ο λόγος που η τοποθέτηση του είναι αυτή, είναι διότι μέσω της μεθόδου αυτής τα βάθη θα απεικονίζονται ως θετικοί αριθμοί με μέγιστο αριθμό, το μέγιστο βάθος. Τέλος, όσον αφορά τον άξονα των y, είναι τοποθετημένος με θετική φορά όπως προκύπτει από το σύστημα του δεξιού χεριού. Επιπροσθέτως η αρχή των αξόνων, μπορεί να τοποθετηθεί σε δυο σημεία. Είτε στο κέντρο του σκάφους είτε στο κέντρο του ανιχνευτή/αισθητήρα (sonar). Όπως προαναφέρθηκε, τα βάθη απεικονίζονται ως θετικά στοιχεία, σύμφωνα με τη προαναφερθείσα τοποθέτηση των αξόνων. Ως προς την πορεία/διαδρομή που ακολουθεί το σκάφος, διακρίνονται δυο περιπτώσεις σχετικά με το πρόσημό της. Όταν το σκάφος κινείται προς τα εμπρός σε σχέση

με την αρχική θέση αναφοράς του, τότε διαγράφει θετική πορεία ενώ όταν συμβαίνει το αντίθετο (προς τα πίσω), τότε διαγράφεται αρνητική πορεία. Στην Εικόνα 81, απεικονίζονται τα προαναφερθέντα:



Εικόνα 81-Σύστημα συντεταγμένων που χρησιμοποιεί το σκάφος

Μορφές δεδομένων

Οι μορφές δεδομένων που χρησιμοποιούνται στη συγκεκριμένη μορφή αρχείων είναι:

1. Μορφή κειμένου (text form)
2. Δυαδική μορφή αρχείων (binary integers)
3. Γεωγραφικές συντεταγμένες
4. Βαθών (Depths)
5. Ημερομηνιών (Dates)
6. Χρόνου (Time)
7. Μορφή γωνιακών μετρήσεων (angular measures)

Μορφή κειμένου (text form)

Όσον αφορά την πρώτη μορφή, η απόδοσή τους γίνεται σε μορφή αρχείων «ASCII» και συνήθως έχουν σταθερό μήκος, σε αντίθεση με τα σχόλια που τοποθετούνται όπου υπάρχει μεταβλητό μήκος.

Δυαδική μορφή (binary integer)

Ως προς την ακέραιη δυαδική μορφή που χρησιμοποιείται, ο λόγος χρήσης της, είναι για εξοικονόμηση χώρου αποθήκευσης. Στη βιβλιοθήκη, η καταγραφή των δεδομένων αποθηκεύεται/καταγράφεται κυρίως σε μορφή πινάκων. Αφού υλοποιηθεί η διαδικασία υπολογισμού του μεγέθους του πίνακα, πραγματοποιείται η εξής μετατροπή:

$$\langle \text{μήκος} - \text{ακεραίου} \rangle * \langle \text{αριθμό των ακεραίων} \rangle$$

Για παράδειγμα, για έναν τύπο αρχείου τύπου binary signed, και έστω πως η μορφή του είναι "2*3" μας υποδεικνύει έναν πίνακα 2 byte με τρία στοιχεία.

Απόδοση με την μορφή γεωγραφικών συντεταγμένων

Η τρίτη μορφή, είναι αυτή των γεωγραφικών συντεταγμένων, που μπορεί να περιγραφεί από δυο υπομορφές. Η πρώτη αφορά στην απόδοση των γεωγραφικών συντεταγμένων με μορφή κειμένου και η δεύτερη σε δυαδική μορφή.

Όσον αφορά τη πρώτη (text form), η απεικόνισή της γίνεται σύμφωνα με την παρακάτω παράσταση:

$$\pm DDD MM mmmm \pm DD MM mmmm$$

Το D=μοίρες, M = λεπτά και m = 0,0001 λεπτά.

Το πρώτο σκέλος της παράστασης αφορά το γεωγραφικό μήκος, ενώ το δεύτερο το γεωγραφικό πλάτος.

Ο προσδιορισμός των γεωγραφικών συντεταγμένων σε δυαδική μορφή γίνεται ως εξής:

Η αποθήκευση του γεωγραφικού μήκους γίνεται χρησιμοποιώντας δύο 4-byte signed integers, τα οποία αντιπροσωπεύουν δέκα εκατομμύρια βαθμούς. Να σημειωθεί πως το γεωγραφικό πλάτος παρουσιάζεται θετικό στο βόρειο ημισφαίριο και το γεωγραφικό μήκος στο ανατολικό ημισφαίριο αντίστοιχα.

Καταγραφή των βυθομετρικών δεδομένων

Η καταγραφή των χαρακτηριστικών που χρησιμοποιούνται στα βυθομετρικά δεδομένα, γίνεται συνήθως σε μέτρα (m) ή εκατοστά (cm). Επίσης, συνηθίζεται κατά τη διαδικασία αυτή να χρησιμοποιείται μια σταθερή ταχύτητα ηχητικών κυμάτων της τάξης των 1500 m/sec.

Καταγραφή της ημερομηνίας καταγραφής

Για την καταγραφή της ημερομηνίας χρησιμοποιείται η παρακάτω μορφή κωδικοποίησης:

CCYY MM DD

CCYY-> Έτος

MM-> Μήνας

DD-> Ημέρα

Καταγραφή χρόνου

Η μορφή δεδομένων GSF έχει ως κύριο παράγοντά της το χρόνο, διότι έχει σημαντικό αντίκτυπο στα ακουστικά δεδομένα. Πιο αναλυτικά, για τον προσδιορισμό του χρόνου χρησιμοποιείται συνήθως ένα σύστημα ονόματι P.S.A.P., το οποίο χρησιμοποιεί ένα συνδυασμό μεταξύ τριών παραμέτρων:

- 1) Χρόνο αναφοράς
- 2) Δευτερόλεπτα που έχουν περάσει από το σημείο αναφοράς
- 3) Αριθμός νάνο-δευτερολέπτων που έχουν περάσει από την αρχή του τρέχοντος δευτερολέπτου.

Οι τιμές του χρόνου που αναγράφονται, θα πρέπει να είναι ανηγμένες στο παγκόσμιο σύστημα αναφοράς U.T.C.

Καταγραφή γωνιακών μετρήσεων

Οι γωνιακές μετρήσεις αποθηκεύονται και σε signed μορφή αλλά και σε unsigned (2 byte). Επιπροσθέτως, οι γωνιακές μετρήσεις χωρίζονται στις εξής τέσσερις κατηγορίες:

- α) Header και πορεία
- β) Εκτροπή
- γ) Περιστροφή (Roll)
- δ) Κλίση

Το header αναφέρεται στην κατεύθυνση του τόξου του σκάφους και η πορεία και η κατεύθυνση, αναφέρονται στην κίνηση του σκάφους μέσα στο νερό. Και για τα δύο παραπάνω στοιχεία μετρώνται με κύριο άξονα το βορρά και έτσι μπορεί να προσδιοριστεί η στροφή του σκάφους περί τον άξονα Z.

Η εκτροπή προσδιορίζεται σύμφωνα με τη γωνία που προαναφέρθηκε στην προηγούμενη υποενότητα. Ένας άλλος τρόπος προσδιορισμού της είναι να ελεγχθεί το μέγεθος της ταλάντωσης του γυροσκοπίου, το οποίο βρίσκεται τοποθετημένο πάνω στον εξοπλισμό του σκάφους. Η γωνία κυμαίνεται μεταξύ -180° μέχρι $+180^\circ$.

Η στροφή (roll), περιγράφει τη γωνία εκείνη του σκάφους περί τον άξονα των x. Η παράμετρος αυτή προσδιορίζεται από ειδικούς αισθητήρες (sensors) που βρίσκονται και αυτοί τοποθετημένοι πάνω στο σκάφος. Αντίστοιχα, και σε αυτήν την περίπτωση, το μέγεθος της γωνίας κυμαίνεται από -180° μέχρι $+180^\circ$.

Η κλίση συνδέεται άμεσα με τη στροφή του σκάφους περί τον άξονα των γ. Μετρείται και αυτή από ειδικούς αισθητήρες του σκάφους και οι τιμές της γωνίας κυμαίνονται από -180° μέχρι $+180^\circ$.

Εγγραφές

Κάθε εγγραφή εμπεριέχει κάποια βασικά στοιχεία, που είναι απαραίτητα για την πληρότητά της, όπως:

- Όνομα
- Περιγραφή στοιχείου
- Τύπο αρχείου (text, binary exc.)
- Μέτρηση (Count)

Items in ***Bold Italics*** are the labels for the header

<i>Field Name</i>	<i>Field Description</i>	<i>Field Type</i>	<i>Count</i>
RECORD_POSITION	Position of record in file, in bytes	I	4
RECORD_LENGTH	Length of record, in bytes	I	4

Name for each field in the file, as specified in the file header
 Description for each field in the file, as specified in the header. Items in ***Bold*** (not shown) are common to all DoDBL raster data sets and specify the actual field entry.
 Field Type and Count for each field in the file, as specified in the header.

Εικόνα 82: Απαραίτητα στοιχεία για θεώρηση μιας εγγραφής ως πλήρη

Δομές δεδομένων

Όπως κάθε βιβλιοθήκη, έτσι και η αυτή (G.S.F.), για να εξασφαλιστεί η πληρότητά της, θα πρέπει να παρέχονται τα παρακάτω:

1. Αρχεία ευέλικτα στη μεταφορά
2. Μεταδεδομένα (Metadata), που περιγράφουν το περιεχόμενο και τη φύση μια δεδομένης δομής δεδομένων
3. Αρχεία που εμπεριέχουν τα ίδια τα δεδομένα

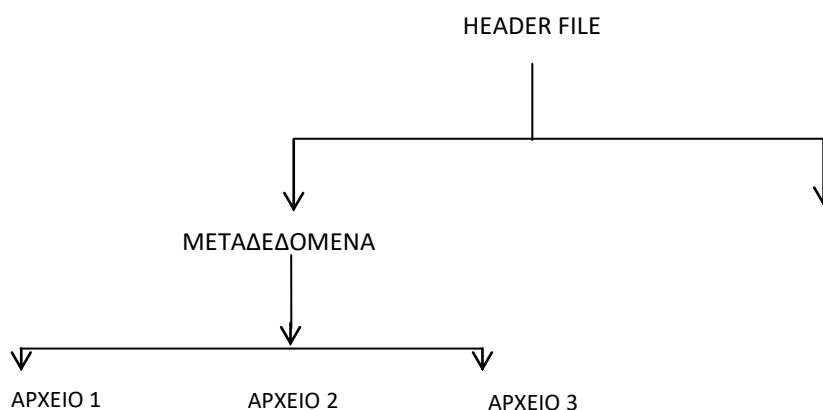
Το πρώτο στοιχείο δεν περιγράφει ποια δεδομένα είναι προς μεταφορά, αλλά καταγράφεται η μεταφορά των δεδομένων, ποιος χειρισμός χρησιμοποιείται κλπ.

Όσον αφορά τα μεταδεδομένα, περιλαμβάνουν στοιχεία περιγραφής για τα ίδια τα δεδομένα, όπως ο χρόνος καταγραφής τους, ο χώρος που καταλαμβάνουν.

Γενικά, η οργάνωση των αρχείων GSF πραγματοποιείται με βάση το χρόνο καταγραφής του κάθε στοιχείου. Ο δέκτης καταγράφει, δεδομένα τα οποία αντιπροσωπεύουν μια ορισμένη χρονική στιγμή. Το σύνολο τους, αποτελείται από πολλαπλά αρχεία, που πρέπει να διασπαστούν.

Header File

Παρακάτω παρουσιάζεται ένα πρώτο διάγραμμα που περιγράφει τη δομή ενός header αρχείου:



Δεδομένου ότι το είδος των αρχείων αυτών είναι άμεσα συνδεδεμένο με τον τύπο των δεδομένων, έχει ως αποτέλεσμα την διευκόλυνση μεταφοράς τους, στα διάφορα συστήματα επεξεργασίας (J. Scott Ferguson et al., (1995)).

Τα περιεχόμενα ενός header file είναι:

- Όνομα του αρχείου
- Περιγραφή του αρχείου
- Τύπο του αρχείου

Όνομα αρχείου: Εκδοχή (Version)

Περιγραφή: Αριθμό της εκδοχής (Version number)

Τύπος: Είναι σε μορφή κειμένου (text form)

Μεταδεδομένα (Metadata)

Η ενότητα αυτή περιλαμβάνει όλες τις περιπτώσεις ανταλλαγής της DoDBL, που περιέχουν πληροφορίες ως προς την ποιότητα υπολογισμών, την έκταση των περιοχών καταγραφής καθώς και την κατηγοριοποίηση (classification) κάθε τύπου δεδομένων. Κύριος σκοπός των μεταδεδομένων, είναι η διατήρηση της μορφής τους καθώς και των περιγραφικών τους χαρακτηριστικών (David W. Caress (2018)).

Αρχείο δεδομένων

Αυτό το είδος αρχείου περιέχει δεδομένα, που είναι άμεσα συνδεδεμένα με το χρόνο. Το header file, είναι το πρώτο στοιχείο που καταγράφεται σε αυτό το είδος αρχείων. Αν παραλειφθεί το παραπάνω στάδιο, τότε τα δεδομένα δε θα εκχωρηθούν στη σωστή σειρά, με αποτέλεσμα την αδυναμία υλοποίησης κάποιων συναρτήσεων (πρόσθεση, επεξεργασία παραμέτρων).

Η πρώτη λέξη κάθε εγγραφής περιγράφει το μέγεθος του τμήματος της καταγραφής. Η δεύτερη αποτελεί το σημείο αναγνώρισης «flag», δηλαδή ένα επιλεγμένο πεδίο και ένα πεδίο αναγνώρισης εγγραφής.

Πιο αναλυτικά όσον αφορά **το πεδίο αναγνώρισης** (flag), παρουσιάζεται ως το πρώτο bit της λέξης κάθε εγγραφής. Αν πάρει την τιμή 1, τότε γίνεται η αναγνώριση της.

Το δεύτερο τμήμα, **διαδικασία καταχώρησης** της αναγνωρισμένης εγγραφής, λειτουργεί ως εξής:

Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει έναν αριθμό, που είναι μοναδικός κατά την διαδικασία δόμησης. Το αρχείο αυτό χωρίζεται σε δυο υποτμήματα, αυτό της καταγραφής και αυτό του τύπου των δεδομένων, με απώτερο σκοπό τη διευκόλυνση κατανομής τους.

Το δεύτερο σκέλος αφορά τον τύπο των αρχείων αυτών. Κάθε καταχώριση με μέγεθος 12-bit περιλαμβάνει και μια μορφή. Σκοπός του σταδίου αυτού είναι να καταγραφούν κωδικοί σε μορφή αριθμών ανάλογα με το είδος των δεδομένων.

Το επόμενο στάδιο είναι αυτό του ελέγχου (checksum), που αποτελείται και αυτό από ένα σημείο ελέγχου flag, μεγέθους 32 bit. Η διαδικασία αυτή υλοποιείται **MONO** σε δεδομένα που έχει υλοποιηθεί το στάδιο αναγνώρισης τους. Έπειτα, το στάδιο ελέγχου (checksum) αναπαρίσταται από έναν αριθμό, που αντιπροσωπεύει το άθροισμα των bytes μεταξύ του checksum και το τέλος της εγγραφής. Το στάδιο αυτό συμβάλλει στην αξιόπιστη επεξεργασία των GSF δεδομένων.

Τέλος, η καταγραφή των δεδομένων, υλοποιείται έπειτα από το στάδιο της αναγνώρισης και έχει έναν περιορισμό. Θα πρέπει η εγγραφή να είναι πολλαπλάσια σε μέγεθος των 4-bytes. Τα 0->3 bytes μεταφέρονται στο τέλος της εγγραφής.

Αφού υλοποιήθηκε και η εξήγηση του τρόπου αναγνώρισης, το επόμενο κομμάτι της δομής ενός αρχείου GSF, αφορά τη **μέθοδο καταγραφής του**. Η βιβλιοθήκη υποστηρίζει δύο μεθόδους:

- ✓ Μέθοδος πολλαπλών δεσμών (multi-beam)
- ✓ Μέθοδος μονής δέσμης (single-beam)

Γενικά, τα στοιχεία που περιλαμβάνονται είναι:

- ✓ Ένα «σήμα» (ring), που υποδηλώνει τα πολλαπλά δέσμης δεδομένα (multibeam)
- ✓ Ένα σήμα που υποδηλώνει πως τα δεδομένα είναι μονής δέσμης (single beam)
- ✓ Ένα αρχείο που καταγράφονται οι χρονικές και χωρικές ακραίες τιμές
- ✓ Ταχύτητα ήχου
- ✓ Ένα σφάλμα πλοήγησης, με βάση το οποίο εκτιμάται το σφάλμα θέσης
- ✓ Μια καταγραφή θέσης
- ✓ Καταγραφή παραμέτρων αν υλοποιήθηκε η καταγραφή τους
- ✓ Καταγραφή μιας παραμέτρου του δέκτη για να παρατηρηθεί η κατάσταση που βρισκόταν κατά τη λήψη των δεδομένων
- ✓ Ένα σχόλιο για την επισήμανση των δεδομένων
- ✓ Προηγούμενα αρχεία που βοηθούν στον έλεγχο

Μια γενική επισήμανση είναι πως όλα τα δεδομένα θα πρέπει να είναι συγχρονισμένα με το χρόνο.

Το 4^ο στάδιο της ενότητας αυτής, αφορά την **καταγραφή του Header File**. Συγκεκριμένα, η εγγραφή γίνεται προσδιορίζοντας το όνομα του πεδίου (field), μια περιγραφή του καθώς και το είδος του.

Το 5^ο στάδιο αφορά τη **βαθυμετρική καταγραφή**, η οποία χωρίζεται στις εξής βασικές κατηγορίες:

- ✓ Την καταγραφή του ring που αφορά το header
- ✓ Καταγραφή του συντελεστή κλίμακας
- ✓ Καταγραφή του πίνακα που εμπεριέχει στοιχεία σε σχέση με το βάθος
- ✓ Μονή δέσμη καταγραφής
- ✓ Διαδικασία υλοποίησης μιας συνοπτικής καταγραφής
- ✓ Καταγραφή της ταχύτητας του ήχου
- ✓ Καταγραφή παραμέτρων του δέκτη
- ✓ Καταγραφή σφαλμάτων
- ✓ Καταγραφή δεδομένων έτσι όπως έχουν προκύψει από το σκάφος

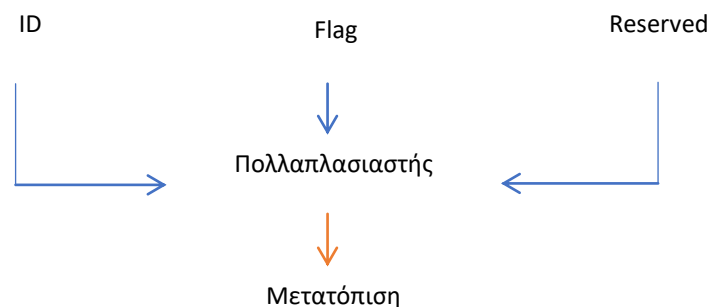
Πιο αναλυτικά, ως προς την καταγραφή του σήματος του header, η διαδικασία αποτελείται από τα εξής στοιχεία:

- ✓ Χρόνο
- ✓ Θέση σκάφους
- ✓ Στάσεις που ενδεχομένως πραγματοποιήθηκαν
- ✓ Πορεία
- ✓ Ταχύτητα
- ✓ Αριθμό δεσμών

Στο είδος αυτό καταγραφής, χρησιμοποιούνται δυο είδη σημείων ελέγχου (flags). Κάθε flag έχει και διάφορα σήματα (rings), που ορίζουν τη χρησιμότητα των αρχείων αυτών. Τα σήματα αυτά αποτελούνται από μέγεθος 16 bits. Αν το πρώτο στοιχείο (bit = 0) δεν εμπεριέχει κάποια καταγραφή τότε σημαίνει πως το σήμα αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη διαδικασία επεξεργασίας των δεδομένων. Αντίθετα, τότε το σήμα θεωρείται ακατάλληλο. Τα υπόλοιπα 15 bits χρησιμεύουν στην καταγραφή του λόγου για τον οποίο πάρθηκαν σημεία ελέγχου (flags) για το τρέχον σήμα.

Με βάση τις κατηγορίες του 5^{ου} σταδίου, η δεύτερη έχει να κάνει με την καταγραφή του συντελεστή κλίμακας (scale factor). Η διαδικασία αυτή εμπεριέχει το σύνολο των ενεργειών, με βάση τις οποίες γίνεται η επεξεργασία της ανάλυσης των τιμών του πίνακα, με απώτερο σκοπό όλα τα δεδομένα να κωδικοποιηθούν σε signed & unsigned μορφή. Ένας άλλος λόγος είναι πως με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται μια σταθερή ακρίβεια.

Παρακάτω παρουσιάζεται ο τρόπος και η θέση που τοποθετούνται τα στοιχεία κάθε εγγραφής:



Στη συνέχεια, η τρίτη κατηγορία της ενότητας των βαθυμετρικών καταγραφών, αφορά στην καταγραφή του πίνακα που περιλαμβάνει όλα τα στοιχεία που είναι άμεσα συνδεδεμένα με το είδος αυτό. Ο πίνακας αυτός περιέχει αρκετά στοιχεία όπως το γεωγραφικό μήκος, πλάτος και ταχύτητα πλοίου συνοδευόμενη με τα σφάλματα. Τα στοιχεία αυτά αποτελούν διάφορα σήματα (rings).

Ενδεικτικά αναφέρονται:

- ✓ Υποπίνακας καταγραφής βάθους για κάθε τιμή δέσμης μέσα στο σήμα
- ✓ Υποπίνακας που περιέχει αποστάσεις κατά μήκος της διαδρομής για κάθε ακτίνα που πάρθηκε μέσα στο σήμα
- ✓ Χρόνος μεταφοράς
- ✓ Γωνία δέσμης
- ✓ Πίνακας που περιέχει τις βαθμονομημένες τιμές δέσμης
- ✓ Μέσο εύρος μεταξύ των τιμών του πλάτους της δέσμης
- ✓ Καταγραφές ηχούς στο κάτω μέρος της δέσμης
- ✓ Ποιότητα καταγραφής

Η τέταρτη κατηγορία αφορά αποκλειστικά στη μέθοδο καταγραφής με μονή δέσμη (single beam). Η διαδικασία αυτή συνδέεται με την καταγραφή δεδομένων με μια μόνο δέσμη (ξεπερασμένη γενικά μέθοδος), όπου μέσω αυτής γίνεται μέτρηση στοιχείων όπως θέση σκάφους, γεωγραφικό μήκος και πλάτος.

Η πέμπτη κατηγορία αφορά τη διαδικασία υλοποίησης μιας συνοπτικής καταγραφής, όπου στην ουσία γίνεται μια καταμέτρηση του περιεχομένου των αρχείων. Η μέθοδος αυτή διευκολύνει το χρήστη στην αξιοποίηση κάποιου υποσύνολου των δεδομένων και όχι την ολότητα του. Μέσω της συνοπτικής παρουσίασης των αρχείων, ο χρήστης έχει μια συγκεντρωτική εικόνα αυτών και συνεπώς μπορεί να αντιληφθεί τα αρχεία ενδιαφέροντος του.

Η έκτη κατηγορία αφορά τη μέτρηση της ταχύτητας του ήχου. Το στάδιο αυτό περιλαμβάνει όλα τα στοιχεία που είναι απαραίτητα για τον υπολογισμό της (όπως χρόνος παρατήρησης, γεωγραφικό μήκος και πλάτος αλλά και αριθμό σημείων που συμμετέχουν στην παρατήρηση) (Leidos Corporation, 2016).

Η έβδομη κατηγορία αφορά τις παραμέτρους του δέκτη. Αναλυτικά, περιέχει όλα τα στοιχεία εκείνα που συνδέονται άμεσα με τον ίδιο το δέκτη αλλά και με τα περιγραφικά του χαρακτηριστικά. Συγκεκριμένα, τη μέτρηση της χρονικής στιγμής ενεργοποίησης του κατά τη διάρκεια καταγραφής αλλά και την αντίστοιχη ως προς την απενεργοποίησή του.

Η προτελευταία κατηγορία αφορά την καταγραφή σφαλμάτων. Χωρίζεται σε δυο υποκατηγορίες. Στη μέτρηση των οριζοντιογραφικών σφαλμάτων (γεωγραφικό μήκος και πλάτος) καθώς επίσης και στη μέτρηση των σφαλμάτων που αφορούν την πλοήγηση/πορεία (οριζοντιογραφικά σφάλματα, κατακόρυφα τα οποία έχουν προέλθει από τη προαναφερθείσα διαδικασία).

Και για τα δυο είδη η αποθήκευση των στοιχείων, γίνεται μέσω αντιστοίχισης, χρησιμοποιώντας έναν κωδικό (ID), όπου μέσω αυτού διευκολύνεται ο διαχωρισμός μεταξύ των σφαλμάτων που αντιστοιχούν σε κάθε τιμή/αρχείο.

Η τελευταία κατηγορία αφορά δεδομένα που σχετίζονται με το σκάφος. Το αρχείο αυτό περιλαμβάνει έναν πίνακα με όλες τις μετρήσεις που έχουν ληφθεί από τον αισθητήρα που βρίσκεται πάνω στο σκάφος καθώς και με στοιχεία που αφορούν το ίδιο το σκάφος (πορεία, βήμα).