



ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΩΝ ΛΙΒΑΔΙΩΝ 'ΡΟΣΙΔΟΝΙΑ ΟΧΕΑΝΙΚΑ' ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΝΕΑΣ ΜΑΚΡΗΣ

ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΙΟΥ ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΟΣ – ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΠΟΥΛΟΣ ΣΕΡΑΦΕΙΜ

Ιούλιος 2020

Πρόλογος / Ευχαριστίες

Η διπλωματική εργασία με τίτλο «Θαλάσσια γεωφυσική χαρτογράφηση των λιβαδιών Posidonia Oceanica στην παράκτια περιοχή της Νέας Μάκρης» είναι αποτέλεσμα παράκτιας ωκεανογραφικής μελέτης στα πλαίσια προπτυχιακού προγράμματος σπουδών, που πραγματοποιήθηκε από τον Δεκέμβρη του 2019 ως τον Ιούνιο του 2020, από τον φοιτητή Χριστόφορο-Αθανάσιο Παπαγεωργίου του τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Εθνικού Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών.

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε σε τρία επιμέρους στάδια:

Το πρώτο από αυτά αποσκοπούσε στη μελέτη της περιοχής ενδιαφέροντος από διεθνή και εγχώρια βιβλιογραφία. Αφορούσε, κυρίως, την αναζήτηση πληροφοριών που σχετίζονται με το βενθονικό οικοσύστημα της Ποσειδωνίας, και δευτερευόντως, την αναζήτηση ήδη υπάρχοντων χαρτών για τον εντοπισμό και την κατανόηση των γεωλογικών και γεωμορφολογικών ιδιαιτεροτήτων της ευρύτερης περιοχής.

Το δεύτερο στάδιο απαρτίζεται από την διαδικασία συλλογής των γεωφυσικών δεδομένων για την χαρτογράφηση των λιβαδιών. Η κύρια μεθοδολογία γεωφυσικής διασκόπησης που εφαρμόστηκε, είναι του ισομετρικού ηχοβολιστή πλευρικής σάρωσης (Side Scan Sonar), σε συνδυασμό με 3 ακόμα μεθοδολογίες χαρτογράφησης (βαθυμετρική αποτύπωση πυθμένα, συλλογή δείγματος πυθμένα και έμπηξη ράβδου σε ιζήματα του πυθμένα) για επαλήθευση και συσχέτισμό των αποτελεσμάτων μεταξύ των μεθοδολογιών.

Το τρίτο στάδιο της διπλωματικής εργασίας, ήταν το πιο έντονο και συνάμα δημιουργικό. Αρχικά πραγματοποιήθηκε η ερμηνεία των δεδομένων, που συλλέχθηκαν και επεξεργάστηκαν για κάθε μεθοδολογία ξεχωριστά, ακολούθησε η γεωαναφορά, ο συσχέτισμός και η επαλήθευση των δεδομένων και τέλος, κατασκευάστηκαν χάρτες για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων, και πιο συγκεκριμένα για την κατηγοριοποίηση του πυθμένα.

Σε αυτό το σημείο κρίνεται σκόπιμο να ευχαριστήσω όσους με βοήθησαν κατά την διάρκεια της εκπόνησης της παρακάτω διπλωματικής εργασίας. Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή, κ. Σεραφείμ Πούλο, ο οποίος με τις καίριες επισημάνσεις και τις εύστοχες παρατηρήσεις του, υπήρξε ανεκτίμητος αρωγός για την εκπόνηση της εργασίας μου, όπως επίσης και το εργαστήριο Φυσικής Γεωγραφίας του τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, του ΕΚΠΑ και την εταιρία Terra-Marine, Ελλάδα για την αφιλοκερδώς διάθεση του γεωφυσικού/τοπογραφικού εξοπλισμού. Ιδιαίτερες ευχαριστίες θέλω να απευθύνω, στον Σπύρο Μαρουλάκη (Marine-Geophysicist Terra-Marine), Πάυλο Σωτηρόπουλο (Geologist-Geophysicist Terra-Marine), Στέλιο Πετράκη (MSc Ωκεανογραφίας) και Παναγιώτη Φουτράκη (PhD Ωκεανογραφίας) για την υποστήριξή τους και την παροχή χρήσιμων συμβουλών καθ' όλη την διάρκεια της διπλωματικής μου εργασίας.

Σας ευχαριστώ πολύ,

Παπαγεωργίου Χριστόφορος - Αθανάσιος

The first rule of sustainability is to align with natural forces, or at least not try to defy them

Paul Hawken

Περιεχόμενα

| | | |
|-------|---|----|
| 1. | ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 8 |
| 2. | ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ..... | 10 |
| 2.1 | Παγκόσμια κατανομή των θαλάσσιων λιβαδιών..... | 10 |
| 2.2 | Γενικά χαρακτηριστικά του είδους Posidonia Oceanica | 10 |
| 2.3 | Οικολογική σημασία | 11 |
| 2.4 | Νομοθετικό πλαίσιο προστασίας της P.Oceanica..... | 13 |
| 2.5 | Τρόποι χαρτογράφησης των λιβαδιών (πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα) | 13 |
| 3. | ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ..... | 15 |
| 3.1 | Φυσικό-γεωγραφία περιοχής Νέας Μάκρης..... | 15 |
| 3.2 | Γεωλογία ευρύτερης περιοχής..... | 16 |
| 3.3 | Παράκτια γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά..... | 17 |
| 3.4 | Υδρογραφικό Καθεστώς..... | 20 |
| 3.5 | Τρωτότητα της περιοχής..... | 21 |
| 4. | ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ..... | 23 |
| 4.1 | Συλλογή δεδομένων και επεξεργασία | 23 |
| 4.2 | Βυθομετρικός Ηχοβολιστής Μονής Δέσμης – Single Beam Echo Sounder..... | 27 |
| 4.3 | Ισομετρικός ηχοβολιστής πλευρικής σάρωσης (SIDE SCAN SONAR)..... | 29 |
| 4.4 | Δειγματοληψία ιζημάτων πυθμένα και μέθοδος έμπηξης ράβδου | 30 |
| 4.5 | Γενική διάταξη σκάφους | 31 |
| 5. | ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ..... | 32 |
| 5.1 | Αποτελέσματα βυθομετρίας – SINGLE BEAM ECHO SOUNDER..... | 32 |
| 5.1.1 | Διόρθωση ταχύτητας ήχου..... | 32 |
| 5.1.2 | Υπολογισμός παλίρροιας | 33 |
| 5.1.3 | Βαθυμετρική αποτύπωση | 33 |
| 5.2 | Κυματικό καθεστώς | 40 |
| 5.3 | Αποτελέσματα Ηχοβολιστή Πλευρικής Σάρωσης..... | 45 |
| 5.4 | ΔΕΙΜΓΑΤΟΛΗΨΙΕΣ..... | 49 |
| 5.5 | Μωσαϊκό Κατηγοριοποίησης Πυθμένα | 51 |
| 5.6 | Συζήτηση..... | 53 |
| 6. | ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ | 55 |

Βιβλιογραφία

Πίνακας Εικόνων

| | |
|--|----|
| Εικόνα 1.1: Διάταξη του ισομετρικού ηχοβολιστή πλευρικής σάρωσης κατά τη διάρκεια εικονικής χαρτογράφησης (Πηγή: Özdaş H., 2016)..... | 8 |
| Εικόνα 2.1.1: Λεπτομερής απεικόνιση μορφολογίας και γεωγραφικής διασποράς των α) <i>Zostera Marina</i> , b) <i>Zostera Noltii</i> , c) <i>Posidonia Oceanica</i> and d) <i>Cymodocea Nodosa</i> (Borum, et al., 2004)..... | 10 |
| Εικόνα 2.2.2: Ανάπτυξη και δομή της <i>Posidonia Oceanica</i> , (από Borum , 2004). | 11 |
| Εικόνα 2.3.1: Φωτογραφία από κατεστραμμένα τμήμα λιβαδιών ποσειδωνίας: | 12 |
| Εικόνα 3.1.1 : Φυσιογραφικός Χάρτης Περιοχής Μελέτης (σε κόκκινο πλαίσιο) – Νέα Μάκρη | 15 |
| Εικόνα 3.2.1: Ευρύτερος γεωλογικός χάρτης της περιοχής της Νέας Μάκρης | 17 |
| Εικόνα 3.3.1: Βόρειο τμήμα του κόλπου μαραθώνα. - Πηγή: tripinview.com | 18 |
| Εικόνα 3.3.2: Νότιο τμήμα του κόλπου μαραθώνα. - Πηγή: tripinview.com | 18 |
| Εικόνα 3.3.3: Παράκτιος γεωμορφολογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής μελέτης – Κόλπος Μαραθώνα..... | 19 |
| Εικόνα 3.4.1:Χάρτης υδρογραφικών δικτύων και λεκάνες απορροής των χειμάρρων της πεδιάδας του Μαραθώνα. | 20 |
| Εικόνα 3.5.1: Δείκτης τρωτότητας της περιοχής του Κόλπου του Μαραθώνα. Στο χάρτη εμφανίζονται και οι 8 μεταβλητές(παρουσίαση αποτελεσμάτων με σχετική απόσταση μεταξύ τους, για λόγους παρουσίασης) που δρουν για τον υπολογισμό του CVI. | 22 |
| Εικόνα 4.1.1 Single Beam Sonar _Airmar Echorange SS510 (200kHz)..... | 23 |
| Εικόνα 4.1.2 Sound Velocity Profiler _Monitor SVP | 23 |
| Εικόνα 4.1.3 Side Scan Sonar - Tritech Starfish 450F | 23 |
| Εικόνα 4.1.4: Trimble R6 GPS Receiver | 24 |
| Εικόνα 4.1.5: Van Veen Grab Sampler - Εικόνα 4.1.6: Έμπηξη ράβδου στον πυθμένα . | 24 |
| Εικόνα 4.1.7: Απόσπασμά από την επεξεργασία των βαθυμετρικών δεδομένων | 25 |
| Εικόνα 4.1.8: Απόσπασμα από την επεξεργασία ηχογραφίματος, στην δεξιά μεριά της ηχογραφίας, εμφανίζεται κατά μήκος συλλογής των δεδομένων να υπάρχει ένα γραμμικό στοιχείο, πιθανόν κάποιο καλώδιο (Bottom Tracking)..... | 26 |
| Εικόνα 4.1.9: Απόσπασμα από την επεξεργασία ηχογραφίματος, του βόρειου αποσπάσματος της περιοχής μελέτης, απεικονίζοντας κενά στα λιβάδια Ποσειδωνίας(Bottom Tracking) | 27 |
| Εικόνα 4.2.1: Αναπαράσταση βυθομετρικής διερεύνησης | 28 |
| Εικόνα 4.2.2: Παρουσίαση περιοχής μελέτης και προσχεδιασμένες γραμμές πλοήγησης για την βυθομετρική έρευνα. | 28 |
| Εικόνα 4.3.1: Αναπαράσταση δισδιάστατης (2D) απεικόνισης του πυθμένα με τη χρήση ισομετρικού ηχοβολιστή πλευρικής σάρωσης..... | 29 |
| Εικόνα 4.4.1 (Αριστερά): Μέθοδος έμπηξης ράβδου στο θαλάσσιο πυθμένα (ROD 9) | |
| Εικόνα 4.4.2 (Δεξιά): Μέθοδος δειγματοληψίας ιζημάτων πυθμένα με την χρήση δειγματολήπτη μορφής δράγας τύπου Van Veen. | 30 |
| Εικόνα 5.1.1.1: Προφίλ της ταχύτητας του ήχου σε σχέση με το βάθος..... | 32 |
| Εικόνα 5.1.2.1: Διάγραμμα μοντέλου λειτουργίας της μεθόδου RTK-Tides..... | 33 |
| Εικόνα 5.1.3.1: Δορυφορική εικόνα με τις γραμμές πλοήγησης για την βαθυμετρική αποτύπωση της περιοχής εμπρός από την Ν. Μάκρη. | 34 |
| Εικόνα 5.1.3.2: Χάρτης Ισοβαθών – Νέα Μάκρη | 35 |
| Εικόνα 5.1.3.3: Βαθυμετρικός χάρτης χρωματικής κλίμακας – Νέα Μάκρη..... | 36 |

| | |
|--|-----------|
| Εικόνα 5.1.3.4: Χάρτης Κλίσεων, παράκτιας ζώνης της Νέας Μάκρης. | 37 |
| Εικόνα 5.1.3.5: Βαθυμετρικός χάρτης περιοχής με 3 εγκάρσιες τομές αναγλύφου | 39 |
| Εικόνα 5.1.3.6: Εγκάρσια τομή Α-Α' | 39 |
| Εικόνα 5.1.3.7: Εγκάρσια τομή Β-Β' | 39 |
| Εικόνα 5.1.3.8: Εγκάρσια τομή C-C' | 39 |
| Εικόνα 5.2.1: Χάρτης με το κομβικό σημείο προσομοιώσεων για το οποίο παρουσιάζονται αναλυτικά στατιστικά αποτελέσματα (κόκκινος κύκλος) για την παραλία Αγ. Ιωάννης | 40 |
| Εικόνα 5.2.2: Οπτικοποίηση των μέγιστων μηκών ανάπτυξη ανεμογενών κυμάτων (fetches) στην περιοχή μελέτης. | 41 |
| Εικόνα 5.2.3: ροδόγραμμα κυμάτων (αριστερά) και ανέμου (δεξιά) για την περιοχή του Αγίου Ιωάννη | 42 |
| Εικόνα 5.2.4: Βαθυμετρικός χάρτης της περιοχής μελέτης, με κόκκινη γραμμή απεικονίζεται το μέγιστο βάθος μετακίνησης ιζημάτων του πυθμένα (closure depth) | 44 |
| Εικόνα 5.3.1: Χάρτης της περιοχής μπροστά από τη Νέα Μάκρη, στον οποίο παρουσιάζονται τα όρια της περιοχής μελέτης, οι οδεύσεις καταγραφής του σκάφους και οι ηχογραφίες του ηχοβολιστή πλευρικής σάρωσης | 45 |
| Εικόνα 5.3.2 (αριστερά): Όριο (με κόκκινη γραμμή) λιβαδιού Ποσιδωνείας σε αμμώδες περιβάλλον | 46 |
| Εικόνα 5.3.3 (δεξιά): Όριο (με πράσινη γραμμή) λιβαδιού Ποσιδωνείας σε αμμώδες περιβάλλον | 46 |
| Εικόνα 5.3.4: Χαρακτηριστική εμφάνιση (με μπλε γραμμή) ακτολίθου μέσα σε αμμώδη ιζήματα και λιβαδιού Ποσιδωνείας σε αμμώδες περιβάλλοντα και όριο (με κόκκινη γραμμή) Ρ. Oceanica και περιβάλλοντα αμμώδη ιζήματα | 47 |
| Εικόνα 5.3.5: Μεγέθυνση του βόρειου τμήματος της περιοχής μελέτης, βλέποντας στις ηχογραφίες, έντονες και γεωμετρικές υφέσεις στα λιβάδια Ποσιδωνείας, ύστερα από επεξεργασία των δεδομένων και την εφαρμογή της μεθόδου της θεωρητικής παρεμβολής μεταξύ κενών των ηχογραφιών. | 47 |
| Εικόνα 5.3.6: Μωσαϊκό πλευρικού ηχοβολιστή για την περιοχή Νέα Μάκρη και σημεία δειγματοληψίας ιζήματος και ράβδου διεϊσδυσης | 48 |
| Εικόνα 5.4.1(αριστερά): Φωτογραφία κατά την διαδικασία έμπηξης ράβδου στη θέση 5 | 50 |
| Εικόνα 5.4.2(δεξιά): Φωτογραφία κατά την διαδικασία έμπηξης ράβδου στη θέση 8 .50 | 50 |
| Εικόνα 5.4.3(αριστερά): Φωτογραφία δείγματος που συλλέχθηκε από τη θέση 9 | 50 |
| Εικόνα 5.4.4(δεξιά): Φωτογραφία από την διαδικασία αρπαγής ιζήματος(τύπου Van Veen) από τον πυθμένα | 50 |
| Εικόνα 5.5.1: Κατηγοριοποίηση της επιφάνειας του πυθμένα στην περιοχή Νέα Μάκρη | 52 |

Πίνακες

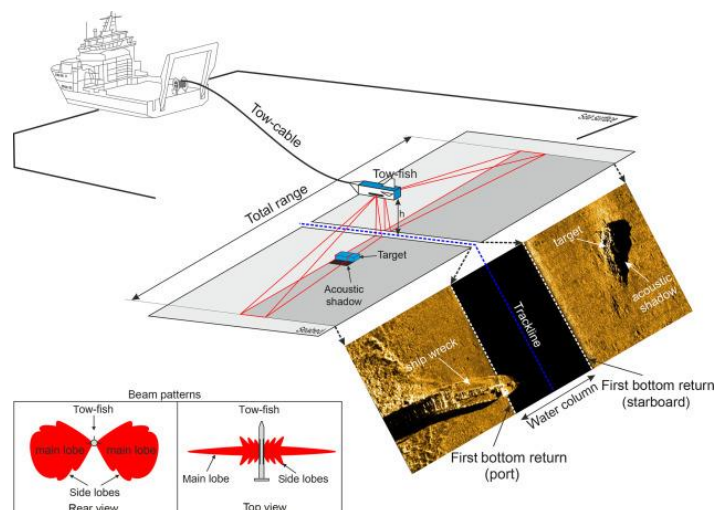
| | |
|--|----|
| Πίνακας 3.5.1: Πίνακας μεταβλητών τρωτότητας για την περιοχή του κόλπου του Μαραθώνα..... | 22 |
| Πίνακας 5.1.1: Συνοπτικός πίνακας συχνότητας εμφάνισης ταχύτητας/διεύθυνσης ανέμου για το σημείο H3..... | 41 |
| Πίνακας 5.1.2: Πίνακας συχνότητας εμφάνισης ύψους κύματος/διεύθυνσης κύματος για το κομβικό σημείο H3..... | 42 |
| Πίνακας 5.1.3: Κυματικό καθεστώς περιοχής μελέτης. Στα πορτοκαλί κελιά παρουσιάζονται οι πιο συχνές συνθήκες, ενώ στο κόκκινο κελί τον άνεμο με το μέγιστη περίοδο κύματος της περιοχής. Τα λευκά κελιά αφορούν τους αντίστοιχους σταθμικούς μέσους..... | 43 |
| Πίνακας 5.4.1: Μακροσκοπική παρατήρηση επιφανειακών δειγμάτων ιζήματος (grab_samples)..... | 49 |
| Πίνακας 5.4.2: Βάθος διείσδυσης ράβδου και μακροσκοπική παρατήρηση επιφανειακού ιζήματος (rod_samples)..... | 49 |

1. Εισαγωγή

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η χαρτογράφηση των λιβαδιών Ποσειδωνίας (*Posidonia Oceanica*), του ενδημικού και προστατευόμενου στην Μεσόγειο θαλάσσιου φυτού, το οποίο συμπεριλαμβάνεται στα προστατευόμενα είδη του δικτύου NATURA 2000. Η χαρτογράφηση πραγματοποιήθηκε στην παράκτια ζώνη της Νέας Μάκρης, χρησιμοποιώντας τη γεωφυσική μέθοδο του πλευρικού ηχοβολιστή, Side Scan Sonar (SSS). Η Ποσειδωνία (*Posidonia Oceanica*) δημιουργεί μεγάλα λιβάδια στην υποπαριακτική ζώνη από την επιφάνεια της θάλασσας μέχρι και τα 40 μέτρα βάθος (ανάλογα με την διαύγεια της στήλης του νερού, απουσία υψηλής συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων από μεταφορά ιζήματος, κλπ.).

Η ανάδειξη και η χαρτογράφηση των λιβαδιών είναι σημαντική καθώς είναι προστατευόμενο είδος, βοηθάει στην μείωση της διάβρωσης των ακτών μας και στην διατήρηση της οικολογίας της Μεσογείου. Λαμβάνοντας υπόψιν την οικολογική σημασία του είδους είναι πρέπων να το προστατεύσουμε και μέσω συλλογικών και διεπιστημονικών ενεργειών να χαρτογραφήσουμε τις περιοχές που ζει και αναπτύσσεται, με απώτερο σκοπό την προστασία του και τη μετέπειτα διαχρονική παρακολούθηση της εξέλιξης των λιβαδιών.

Στη παρούσα διπλωματική εργασία θα παρουσιαστεί η εφαρμογή της θαλάσσιας γεωφυσικής διασκόπησης με τη χρήση ισομετρικού ηχοβολιστή πλευρικής σάρωσης (Side Scan Sonar), η οποία χρησιμοποιείται σε παγκόσμιο επίπεδο για χαρτογράφηση παρόμοιας φύσης μελέτης, αλλά και πολλές άλλες όπως: ανίχνευση ναυαγίων, επιφανειακών καλωδίων, κατηγοριοποίηση ιζημάτων πυθμένα, αλιεία κ.α. Τα πλεονεκτήματα έναντι άλλων μεθοδολογιών που θα συζητηθούν παρακάτω, είναι ότι η χρήση του εξοπλισμού είναι πολύ εύχρηστη, αφού προσαρμόζεται σε οποιοδήποτε σκάφος, καθώς είναι ριμουκούμενο πίσω/δίπλα από το σκάφος, με περιορισμό ότι η ταχύτητα του σκάφους είναι ικανοποιητική, ώστε η πλευστότητα του οργάνου να είναι σταθερή, σχετικά παράλληλη με το πυθμένα και να βρίσκεται σε ένα ικανοποιητικό ύψος πάνω από το πυθμένα της τάξης των 3-4 μέτρων.



Εικόνα 1.1: Διάταξη του ισομετρικού ηχοβολιστή πλευρικής σάρωσης κατά τη διάρκεια εικονικής χαρτογράφησης (Πηγή: Özdağ H., 2016)

Άλλο ένα πλεονέκτημα της μεθοδολογίας είναι το χαμηλό οικονομικό αντίκτυπο που έχει στη μελέτη, αφού μπορεί να καλύψει μεγάλες περιοχές σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα, σε αντίθεση με άλλες μεθοδολογίες.

Σε συνδυασμό με την παραπάνω μεθοδολογία θα εφαρμοστούν άλλες τρεις; μονοδεσμικό βυθόμετρο για την βαθυμετρική κάλυψη της περιοχής, συλλογή δείγματος τύπου Van Ween για την ταυτοποίηση των αποτελεσμάτων και δοκιμαστικές εμπήξεις ράβδου για την κατηγοριοποίηση του πυθμένα σε χαλαρό ή σκληρό ίζημα. Με βάση τις 4 προαναφερθείσες μεθοδολογίες θα πραγματοποιηθεί μια προσπάθεια για την χαρτογράφηση των λιβαδιών Ποσειδωνίας Ωκεάνικας κατά μήκος παραλιακού μετώπου του κόλπου του Μαραθώνα και πιο συγκεκριμένα στην παραλία της Νέας Μάκρης.

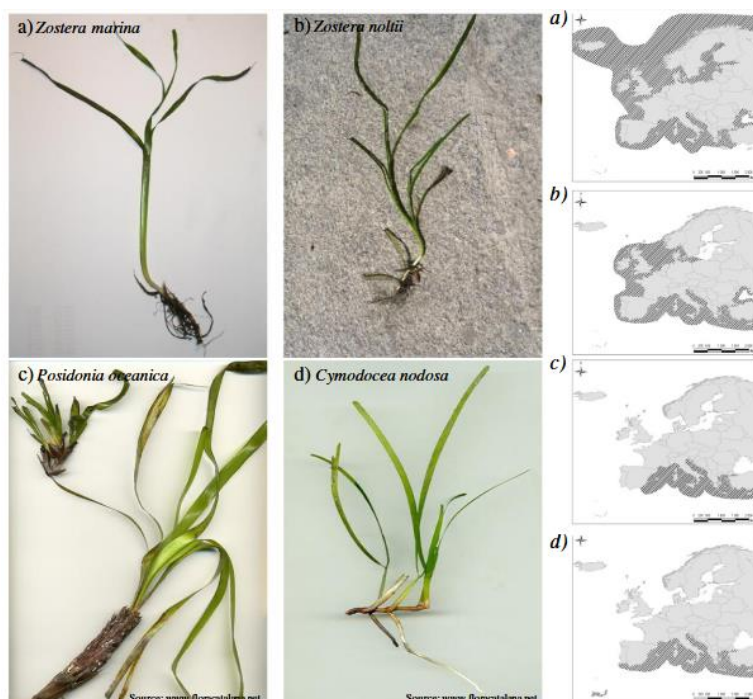
Η παρακάτω μελέτη σχεδιάστηκε ώστε να πραγματοποιηθεί σε δύο μέρη. Στο πρώτο μέρος λαμβάνει χώρα η γεωφυσική και η βαθυμετρική διασκόπηση ταυτόχρονα, ενώ στο δεύτερο γίνεται αρχικά η επαλήθευση των επεξεργασμένων γεωφυσικών δεδομένων με τη μέθοδο της δειγματοληψίας πυθμένα και της έμπηξης ράβδου και στη συνέχεια η συσχέτιση όλων των δεδομένων, των τεσσάρων μεθοδολογιών που προαναφέρθηκαν, με σκοπό την δημιουργία του τελικού χάρτη κατηγοριοποίησης του πυθμένα και την ανάδειξη των ακριβή ορίων των λιβαδιών Ποσειδωνίας σε σχέση με το περιβάλλοντα χώρο του πυθμένα (ανθρωπογενής κατασκευές, σκληρό υπόστρωμα, αμμώδης πυθμένας, καταβυθίσεις).

2. Θεωρητικό Υπόβαθρο

2.1 Παγκόσμια κατανομή των θαλάσσιων λιβαδιών

Η *Posidonia Oceanica*, γνωστή και ως «Γρασίδι του Ποσειδώνα», είναι ένα φανερόγαμο αγγειόσπερμο φυτό. Η κατανομή των λιβαδιών επηρεάζεται έντονα από διάφορους περιβαλλοντικούς παράγοντες, όπως το κλίμα (κυρίως, τροπικές και εύκρατες περιοχές), η βαθυμετρία (ρηχές ζώνες), οι υδρολογικές ιδιαιτερότητες (χημική περιεκτικότητα των υδάτων, διαθεσιμότητα θρεπτικών ουσιών και θολότητα των κυμάτων), και γεωλογικά χαρακτηριστικά όπως είναι ιζηματολογικοί τύποι του πυθμένα της θάλασσας (McKenzie L.J., 2006).

Υπάρχουν τέσσερα είδη ευρωπαϊκών φυκιών στη μεσογειακή περιοχή (Borum J., 2004): *Zostera marina*, *Zostera noltii*, *Cymodocea nodosa* και *P. oceanica* (Εικόνα 2.1.1). Στην Ελλάδα τα κοινά είδη είναι *P. oceanica* (L.) Delile, *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson, *Zostera noltii* Hornemann και *Halophila stipulacea* (Amoutzouroulou-Schina H., 2005). Αυτά τα είδη διαφέρουν σε μορφολογικά και φαινολογικά χαρακτηριστικά καθώς και στη δομή και τη δυναμική.



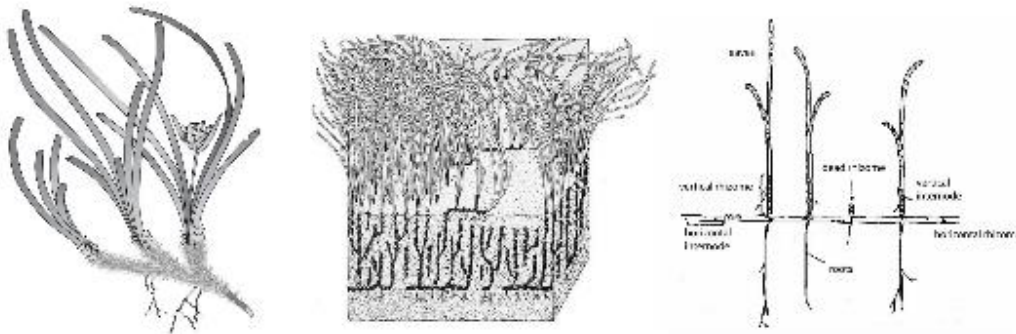
Εικόνα 2.1.1: Λεπτομερής απεικόνιση μορφολογίας και γεωγραφικής διασποράς των α) *Zostera Marina*, b) *Zostera Noltii*, c) *Posidonia Oceanica* and d) *Cymodocea Nodosa* (Borum, et al., 2004)

2.2 Γενικά χαρακτηριστικά του είδους *Posidonia Oceanica*

Τα ενδημικά θαλάσσια λιβάδια της Ποσειδωνίας, θεωρούνται ως το κύριο είδος χλωρίδας στο παράκτιο περιβάλλον της Ελλάδας, αλλά και της Μεσογείου. Παρά τον αργό ρυθμό ανάπτυξης της, σχηματίζει αρκετά μεγάλα, ομοιογενή και πυκνά λιβάδια, μεταξύ 5 m και 40 m βάθος (Den Hartog C., 1970). Τα κύρια μορφολογικά χαρακτηριστικά της *P.*

Posidonia oceanica, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2.2.2, είναι τα μακριά φύλλα της, με μήκος το οποίο κυμαίνεται μεταξύ 20 cm και 40 cm, και ενίοτε έχει παρατηρηθεί να φθάνουν το 1 m μήκος (Borum J., 2004). Το πλάτος του φύλλου δεν ξεπερνάει τα 12 mm και το ριζικό σύστημα εισχωρεί έως τα 2 cm μέσα στο έδαφος, με πάχος ρίζας στα 3-4 mm. Κατά την εξάπλωση των λιβαδιών, ταυτόχρονα δημιουργείται και ένα στρώμα το οποίο ονομάζεται «matte» κι αποτελείται από ρίζες και φύλλα, το οποίο έχει την ιδιότητα να δεσμεύει το ίζημα και να δημιουργεί σταθερά υποστρώματα (Francour P., 2006).

Η *P. oceanica* αντιπροσωπεύει ένα από τα πιο παραγωγικά μεσογειακά οικοσυστήματα, η οποία χρησιμοποιείται συνήθως ως τέλειος βιολογικός δείκτης για την αξιολόγηση της ποιότητας των υδάτων και την αξιολόγηση της περιβαλλοντικής κατάστασης (Boudouresque C.F., 1989).



Εικόνα 2.2.2: Ανάπτυξη και δομή της *Posidonia Oceanica*, (από Borum, 2004).

Σημαντικό ρόλο στην εξάπλωση του είδους είναι οι περιβαλλοντικοί παράγοντες που επικρατούν. Ο λόγος που η *P. Oceanica* αναπτύσσεται μόνο στην Μεσόγειο είναι λόγω του υποτροπικού κλίματος και ξηρών περιόδων κατά την διάρκεια του καλοκαιριού. Πέραν του κλίματος σημαντικό ρόλο έχει και η βυθομετρία. Έχει παρατηρηθεί ότι η *P. Oceanica* έχει υψηλή ανθοφορία σε βάθος 4-7m κατά την διάρκεια του Σεπτεμβρίου, ενώ το Νοέμβριο αρχίζει η άνθηση σε βάθη περί των 15m. Αυτή η χρονική καθυστέρηση προκαλείται λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας που επικρατεί τους θερινούς μήνες (Buia M.C. and Mazzella L., 1991). Ανάλογα με την παράκτια βαθυμετρία επηρεάζεται και το μήκος των φύλλων της *P. oceanica*: σε ρηγά νερά τα φύλλα είναι πιο κοντά σε σχέση με τα λιβάδια που αναπτύσσονται σε πιο βαθιά νερά (Dural B., 2010).

2.3 Οικολογική σημασία

Η σημασία της εμφάνισης και ανάπτυξης των Φανερόγαμων, και ιδιαίτερα της *P. oceanica*, στο θαλάσσιο περιβάλλον προκύπτει από τον ιδιαίτερο ρόλο που διαθέτουν μέσα σε αυτό. Για πολλά θαλάσσια είδη είναι η πρωτογενής πηγή τροφής (Waycott et al., 2009, [104], παρέχουν καταφύγιο για νεαρά ψάρια και άλλα ζώα (Connolly, 1994) και περιβάλλον αναπαραγωγής για επιφυτικά φύκια και τη θαλάσσια πανίδα (Pihl et al., 2006). Ειδικότερα ο γόνος των ψαριών βρίσκει καταφύγιο στα λιβάδια και η προστασία τους αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την ανανέωση των ιχθυοαποθεμάτων (Deudero et al.,

2008). Επιπλέον οι λειμώνες Ποσειδωνίας βελτιώνουν την διαφάνεια και την ποιότητα νερού μέσω της δέσμησης στερεών σωματιδίων και διαλυμένων θρεπτικών συστατικών(Short et al.,2007). Παρέχουν επίσης μια σημαντική πηγή άνθρακα, από το οποίο ένα ποσοστό τροφοδοτεί την βαθιά θάλασσα (Suhaneck et al., 1985), και το υπόλοιπο δεσμεύεται μέσα στο βενθονικό οικοσύστημα(θαμμένο μέσα στα υποκείμενα ιζήματα)(Duarte et al.,2005).Από φυσική άποψη, τα θαλάσσια λιβάδια επηρεάζουν σημαντικά το υδροδυναμικό περιβάλλον, μειώνοντας την τρέχουσα ταχύτητα και ενέργεια των κυμάτων και σταθεροποιώντας τα υποκείμενα ιζήματα (Koch, 2001; Moriarty and Boon, 1989). Με την διεργασία δέσμηση ιζήματος και σωματιδίων που κυκλοφορούνε στο νερό, μειώνουν την θολερότητα των υδάτων, αυξάνοντας έτσι τη διαθεσιμότητα σε φως, το οποίο το χρησιμοποιούνε για καλύτερη ανάπτυξη και αναπαραγωγή των ίδιων των βενθονικών οικοσυστημάτων (Van der Heide et al., 2007).Τέλος, είναι ιδιαίτερα σημαντικά στη λειτουργία των παράκτιων οικοσυστημάτων αφού αυξάνουν σημαντικά τη βιοποικιλότητα, προστατεύουν την ακτογραμμή από την διάβρωση και δημιουργούν νέο υπόστρωμα (Matte) (Terrados & Borum, 2004).

Τα υποθαλάσσια λιβάδια βρίσκονται σε κρίσιμη κατάσταση, υπερφορτωμένα από τη ανθρώπινη δραστηριότητα και τις κλιματικές αλλαγές, καθώς περίπου το 20% των υποθαλάσσιων λιβαδιών παγκοσμίως έχει εξαφανιστεί την τελευταία δεκαετία και που είναι άμεσα συνδεδεμένη με την ανθρώπινη δραστηριότητα στην παράκτια ζώνη(αστικοποίηση, ιχθυοκαλλιέργειες, ψάρεμα με τη μέθοδο «τράτας», παράνομη αγκυροβόληση), όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 2.3.1 .Τα υποθαλάσσια λιβάδια είναι σημαντικό είδος δείκτης για την υγεία παράκτιων οικοσυστημάτων και χρησιμοποιείται τόσο στην Ευρωπαϊκή Οδηγία\ Πλαίσιο για τα Ύδατα όσο και από την Συνθήκη της Βαρκελώνης για την προστασία της βιοποικιλότητας στη Μεσόγειο.



Εικόνα 2.3.1: Φωτογραφία από κατεστραμμένα τμήμα λιβαδιών Ποσειδωνίας (Πηγή: archipelago.gr)

2.4 Νομοθετικό πλαίσιο προστασίας της *P.Oceanica*

Η προστασία του είδους *P. oceanica* αποτελεί αντικείμενο Διεθνών Συμβάσεων (Σύμβαση της Βαρκελώνης 1976 και Σύμβαση της Βέρνης 1979), και ευρωπαϊκών Οδηγιών (Οδηγία των Οικοτόπων 92/43/ΕΟΚ). Η αξία μάλιστα του είδους *P. oceanica* ως βιοδείκτη της οικολογικής κατάστασης των παράκτιων υδάτων έχει αναγνωρισθεί και υιοθετηθεί από την Οδηγία Πλαίσιο για τα Ύδατα (2000/60/ΕΚ) και την Οδηγία Πλαίσιο για τη Θαλάσσια Στρατηγική (2008/56/ΕΚ). Στην Οδηγία των Οικοτόπων (92/43/ΕΟΚ) οι λειμώνες προσδιορίζονται ως τύπος οικοτόπου προτεραιότητας όπου για την προστασία και τη διατήρησή τους έχουν προταθεί κατάλληλα μέτρα διαχείρισης των παράκτιων υδατικών συστημάτων. Κρίσιμο σημείο για την επιτυχία των μέτρων διαχείρισης αποτελεί η λεπτομερής γνώση των δομικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών των λειμώνων και η συστηματική παρακολούθησή τους (monitoring). Η παρακολούθηση της οικολογικής κατάστασης των λειμώνων του είδους *P. Oceanica* με στόχο την αξιολόγηση της κατάστασης του θαλάσσιου περιβάλλοντος υιοθετήθηκε για πρώτη φορά στα πλαίσια της WFD (2000/60/ΕΚ)(Γερακάρης, 2017).

Στην Ελλάδα έχουν χαρτογραφηθεί περίπου 39.000 από τα 84.000 εκτάρια Ποσειδωνίας που εκτιμάται ότι υπάρχουν (Παναγιωτίδης et al., 2010). Με την χαρτογράφηση θαλάσσιων βενθονικών κοινοτήτων επιτυγχάνεται η καλύτερη κατανόηση των θαλάσσιων περιβαλλόντων και ως εκ τούτου και την καλύτερη προστασία των ακτών.

Συνεπώς, η διατήρηση και η αποκατάσταση των θαλάσσιων λιβαδιών είναι βασικοί στόχοι των παράκτιων προγραμμάτων περιβαλλοντικής διαχείρισης και απαιτούν τακτική χαρτογράφηση των λιβαδιών της θάλασσας (Dennison et al., 1993).

2.5 Τρόποι χαρτογράφησης των λιβαδιών (πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα)

Οι κύριες μέθοδοι χαρτογράφησης θαλάσσιων περιβαλλόντων που φιλοξενούν λιβάδια Ποσειδωνίας και άλλων ειδών χλωρίδας είναι δυο. Η πρώτη είναι η επιτόπου παρατήρηση και συλλογή δεδομένων από τον ερευνητή, η οποία γίνεται από τη στεριά, επιβαίνοντας σε πλωτά μέσα, μέσω καταδύσεων, ή μέσω συλλογής δειγμάτων από το πυθμένα της θάλασσας. Η δεύτερη μέθοδος πραγματοποιείται μέσω οργάνων τηλεπισκόπησης (Komatsu T., 2002) και διαχωρίζεται σε δύο κατηγορίες, οπτικής τηλεπισκόπησης (π.χ. αεροφωτογραφίες) και ακουστικής τηλεπισκόπησης (π.χ. side scan sonar). Οποιαδήποτε όμως κατηγορία και αν χρησιμοποιηθεί, είναι απαραίτητη η επιτόπου συλλογή δείγματος από το πυθμένα της θάλασσας, για την ταυτοποίηση και την επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων.

Οι πιο σημαντικές διαφορές μεταξύ των δυο μεθόδων είναι ο χρόνος, το κόστος που απαιτείται για την πραγματοποίηση της έρευνας, και η μείωση του ανθρώπινου σφάλματος και η βελτίωση της ακρίβειας των μετρήσεων κατά την συλλογή δεδομένων. Στις διαφορές αυτές υπερτερεί η δεύτερη μέθοδος εκ των δύο προαναφερθέντων.

Για την χωρική κατανομή μεγάλων εκτάσεων των παράκτιων οικοσυστημάτων, η μέθοδος της τηλεπισκόπησης μέσω αεροφωτογραφιών και δορυφόρων είναι η πιο διαδεδομένη και εύκολη στη χρήση και την ερμηνεία, αλλά με βασικούς περιορισμούς και ταυτόχρονα μειονεκτήματα. Ένα εξ' αυτών είναι ότι η πυκνότητα του οικοσυστήματος που μελετάμε πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη, ώστε να είναι ευδιάκριτη από μια εικόνα (Belsher, 1988; Belsher et al., 1988; Kirkman, 1990; Long et al., 1994). Επιπροσθέτως, η αλλοίωση των

ψηφιακών τιμών των εικόνων εξαιτίας του αυξανόμενου βάθους αποτελεί το δεύτερο περιορισμό για τη δημιουργία χαρτών θαλάσσιων ενδιατημάτων (Τοπουζέλης Κ., et al, 2015), μιας και δεν είναι ικανοποιητική η διάκριση των οικοσυστημάτων του πυθμένα σε μεγαλύτερα από 10-15 μέτρα βάθος. Το αποτέλεσμα αυτό οφείλεται στη φασματική απόκριση των λιβαδιών, η οποία εξαρτάται από το ποσοστό κάλυψής τους σε σχέση με τη χωρική διακριτική ικανότητα του τηλεπισκοπικού αισθητήρα και από τη θολερότητα της στήλης του νερού. Οι περιορισμοί αυτοί, έδωσαν το έναυσμα για να αναπτυχθούν νέοι μέθοδοι παρατήρησης και ερμηνείας, φέρνοντας στο προσκήνιο την ανάγκη για μια τεχνολογική καινοτομία.

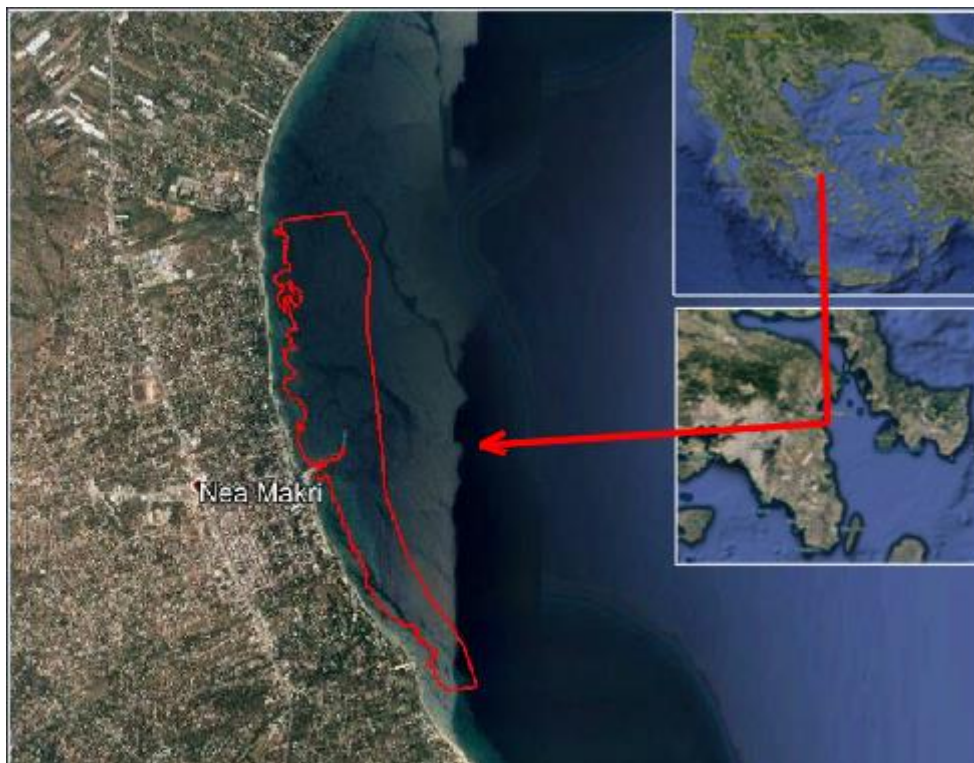
Το 1960 δημιουργήθηκε ο πρώτος ισομετρικός ηχοβολιστής πλευρικής σάρωσης (Side Scan Sonar) από τον Kelvin Hughes (Wikipedia), και μόλις στα μέσα της δεκαετίας του 80' άρχισαν τα πρώτα δημοσιεύματα δεδομένων και ηχογραφιών διεθνώς. Κατά την υδροακουστική μέθοδο τηλεπισκόπησης, μια πηγή μέσα στο νερό εκπέμπει ακουστικό κύμα και καταγράφεται το ανακλώμενο ακουστικό κύμα από κάποιο εμπόδιο – διαφορετικής πυκνότητας και διαφορετικής ταχύτητας μετάδοσης κύματος από αυτών του νερού – μέσω ενός δέκτη. (Fannie W Shabangu, et al, 2014). Ο εξοπλισμός αποτελείται από ένα μορφοτροπέα, ένα πομπό και ένα δέκτη, που συνδέονται με έναν υπολογιστή που ελέγχει τη λειτουργία τους μέσω ρυθμίσεων που καθορίζονται από τον χρήστη, όπου και αποθηκεύονται τα εισερχόμενα ακουστικά δεδομένα. Βασικά πλεονεκτήματα αυτής της μεθοδολογίας είναι (1) ότι ο εξοπλισμός, παρά το υψηλό κόστος αγοράς του, είναι αρκετά εύρηστος στη μετακίνηση και στη χρήση, καθώς μπορεί κάποιος να το προσαρτήσει σε οποιοδήποτε σκάφος και (2) η μεγάλη και γρήγορη απόδοση στη κάλυψη μεγάλων περιοχών θαλάσσιας χαρτογράφησης, ανεξαρτήτου βάθους.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία θα περιγραφεί η διαδικασία χαρτογράφησης των λιβαδιών της Ρ. Οceanica, στην περιοχή της Νέας Μάκρης, Αττική, Ελλάδα, χρησιμοποιώντας σύγχρονα μέσα συλλογής δεδομένων, μέσω γεωφυσικών διασκοπήσεων σε συνεργασία με τοπογραφικό εξοπλισμό για την ακριβή χωροθέτηση των δεδομένων στο Ελληνικό σύστημα συντεταγμένων ΕΓΣΑ 87'. Θα παρουσιαστούν χάρτες υψηλής ακρίβειας, επεξεργασμένοι σε προγράμματα γεωγραφικών πληροφοριών και τέλος τα αποτελέσματα θα συζητηθούν, με σκοπό την ανάδειξη της υψηλής σημασίας του είδους της Ρ. Οceanica και πως μέσα από τα σύγχρονα εργαλεία που υπάρχουν διαθέσιμα, μπορεί κάποιος να τα αξιοποιήσει και να κινητοποιήσει την επιστημονική κοινότητα για συστηματική χαρτογράφηση των βενθονικών λιβαδιών στη χώρα μας, αλλά και σε όλη τη Μεσόγειο.

3. Περιοχή Μελέτης

3.1 Φυσικό-γεωγραφία περιοχής Νέας Μάκρης

Η περιοχή, στην οποία έγινε η γεωφυσική διασκόπηση με την χρήση πλευρικού ηχοβολιστή για την χαρτογράφηση των λιβαδιών Ποσειδωνίας, βρίσκεται στο κόλπο του Μαραθώνα και πιο συγκεκριμένα στην Παραλία της Νέα Μάκρης (Εικόνα 3.1.1). ($38^{\circ} 5'21.99''\text{N}$ και $23^{\circ}59'2.22''\text{E}$)



Εικόνα 3.1.1 : Φυσιογραφικός Χάρτης Περιοχής Μελέτης (σε κόκκινο πλαίσιο) – Νέα Μάκρη

Πηγή: Google Earth, 2020

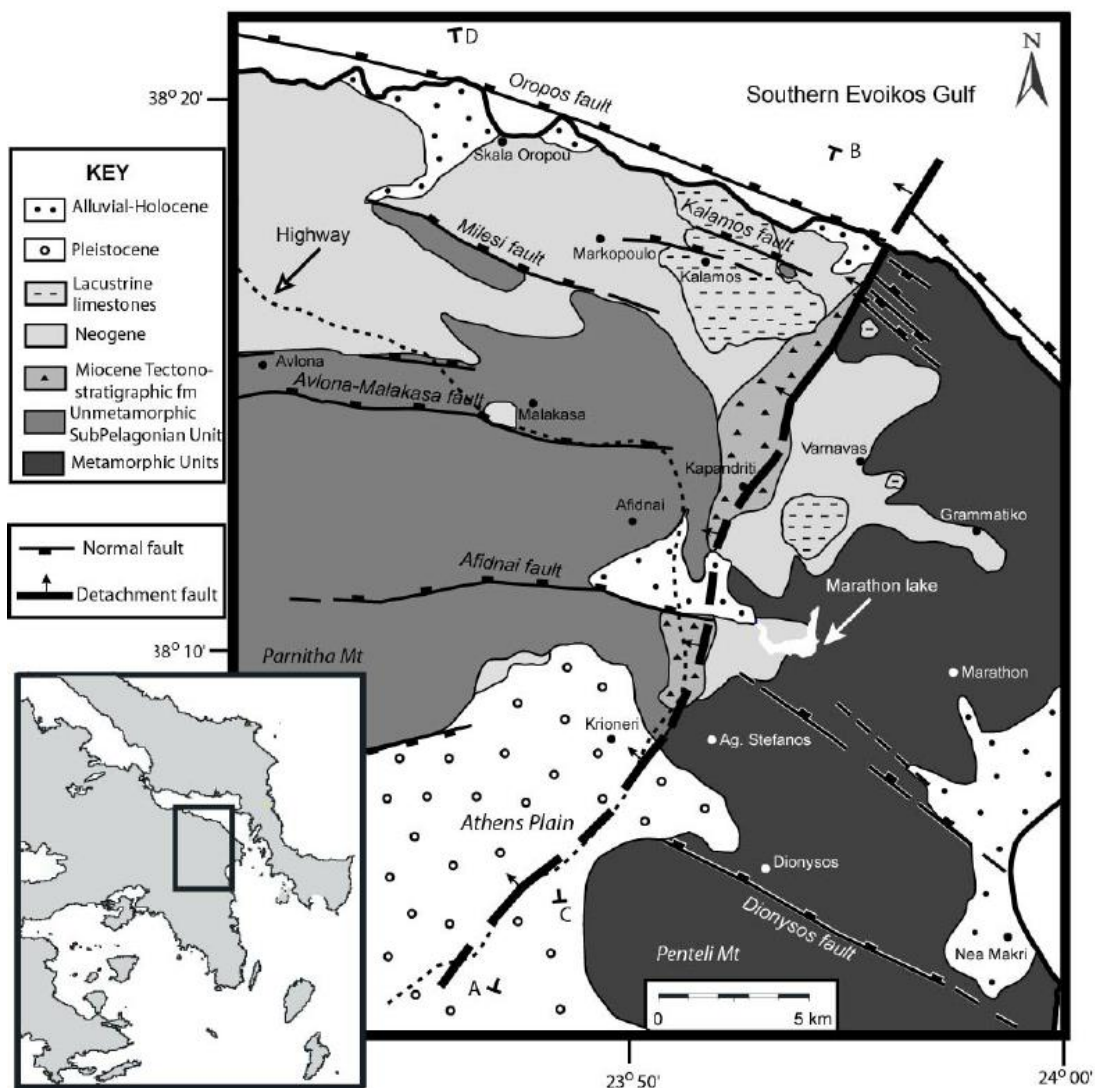
Η Νέα Μάκρη έχει έκταση 36.662 στρέμματα και ο μόνιμος πληθυσμός της, σύμφωνα με την απογραφή του 2001, ανέρχεται στους 14.809 κατοίκους. Ως παραθεριστικό κέντρο, το καλοκαίρι, ξεπερνά τους 55.000 – 60.000 κατοίκους. Η παραθαλάσσια κωμόπολη της βορειοανατολικής Αττικής, συνορεύει βόρεια με τον Μαραθώνα, νότια με τη Ραφήνα και δυτικά με τον ορεινό όγκο του Πεντελικού και τον Διόνυσο, ενώ βρέχεται ανατολικά από το Νότιο Ευβοϊκό σε μήκος ακτών 10 χλμ. περίπου, ο οποίος αποτελεί μια μικρή επιμήκη θαλάσσια λεκάνη με γενική διεύθυνση ΔΒΔ – ΑΝΑ, προστατευμένη γενικά από έντονο κυματισμό. (marathon.gr)

3.2 Γεωλογία ευρύτερης περιοχής

Η ευρύτερη περιοχή μελέτης, εντάσσεται στην μεταλλική ηπειρωτική λεκάνη Αττικής – Βοιωτίας – Εύβοιας, η οποία δημιουργήθηκε κατά το Μειόκαινο έως σήμερα λόγω δράσης νεοτεκτονικών ρηγμάτων. Οι μεταλλικοί σχηματισμοί αποτελούνται από ιζηματα χερσαίας και λιμναίας φάσης, τα οποία τα συναντάμε καθ' όλη την παράκτια περιοχή του νοτίου Ευβοϊκού κόλπου. (Παπανικολάου et al., 1988)

Γνωστή και ως η πεδιάδα του Μαραθώνα, ανήκει στην Πελαγονική ζώνη και πιο συγκεκριμένα στα σύνορα με την Αττικοκυκλαδική ζώνη προς τα ανατολικά. (Μουντράκης, 1985). Επίσης θεωρείται μια από τις περιοχές της Ελλάδας με χαμηλή σεισμικότητα και τεκτονικά σταθερή περιοχή (Roulos et al, 2009). Πιο συγκεκριμένα οι ενότητες και οι σχηματισμοί που απαντούν στην περιοχή, από τα κατώτερα προς τα ανώτερα μέλη, διακρίνονται στις παρακάτω:

- Η αυτόχθονη ενότητα Αλμυροποτάμου, η οποία εμφανίζεται στο χώρο των εσωτερικών ελληνίδων με μορφή τεκτονικών παραθύρων, και ανήκει στη πλατφόρμα της ζώνης Γαβρόβου – Τρίπολης. Κύριοι σχηματισμοί της ενότητας είναι μάρμαρα μεγάλου πάχους και ηλικίας μεσοζωικής – μεσοηωκαινικής, που συνοδεύονται από σχηματισμού μεταφλύσχη και μεταμορφωμένων σχηματισμών που αποτελούν το υπόβαθρό της ενότητας.
- Η αυτόχθονη ενότητα νεοελληνικού τεκτονικού καλύμματος, ανήκει στις εξωτερικές ζώνες, και επωθείται άνω της αυτόχθονης ενότητας Αλμυροποτάμου, με πολύ περιορισμένες εμφανίσεις λόγω κάλυψης των σχηματισμών από τις μεταλλικές αποθέσεις του Μειόκαινου. Οι εμφανίσεις των αλπικών σχηματισμών συνίστανται από σχιστόλιθους με ενστρώσεις και φακούς μαρμάρων, με διαστρώσεις και κονδύλους πυριτόλιθων και είναι μεταμορφωμένες σε συνθήκες HF-LT.
- Η ενότητα Αφίδων – Τουρκοβουνίων, η οποία είναι επωθημένη πάνω στους σχηματισμούς του νεοελληνικού τεκτονικού καλύμματος. Αποτελείται από μη μεταμορφωμένους σχηματισμούς και στο σύνολό τους, αποτελούνται από μια σειρά φλυσχοειδών σχηματισμών με ενστρώσεις ψαμμούχων ή κρυσταλλικών ή και μικριτικών ασβεστολίθων ανωκρητιδικής - παλαιοκαινικής ηλικίας.
- Η τεκτονική ενότητα Μαυρηγόρας – Κατσιμιδίου, η οποία ανήκει στην Πελαγονική ζώνη, είναι επωθημένη πάνω στην ενότητα Αφίδων – Τουρκοβουνίων και περιλαμβάνει ποικιλία αργιλοψαμμιτικών ιζημάτων με ενστρώσεις ασβεστολίθων, ηλικίας Λιθανθρακοπέρμιο-παλαιοκαινο.
- Η τεκτονική ενότητα Σφενδάλης, ανήκει στην Πελαγονική ζώνη. Η τεκτονική ενότητα βρίσκεται εφυππευμένη πάνω στην ενότητα Μαυρηγόρας – Κατσιμιδίου, με κύριους σχηματισμούς ασβεστόλιθους και δολομίτες, ιουρασικής –παλαιοκαινικής ηλικίας.
- Οι σχηματισμοί του Νεογενούς, οι οποίοι περιλαμβάνου μεγάλη ποικιλία κλαστικών ιζημάτων, κατά κανόνα από ποταμολιμναίες και λιμνοχερσαίες αποθέσεις (κροκαλοπαγών λατυποπαγών, αμμών, αργίλων)
- Οι σχηματισμοί του Τεταρτογενούς, κυρίως χονδροκλαστικά ιζήματα στις ψηλότερες περιοχές και λεπτοκλαστικά στις χαμηλότερες.



Εικόνα 3.2.1: Ευρύτερος γεωλογικός χάρτης της περιοχής της Νέας Μάκρης (Papanikolaou D. & Papanikolaou I., 2007)

3.3 Παράκτια γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά

Η παράκτια περιοχή της Νέας Μάκρης, γεωγραφικά ανήκει στο κόλπο του Μαραθώνα, με συνολικό μήκος ακτογραμμής περίπου 7.7km (Dimou A. ,et al, 2007). Το βόρειο τμήμα της παράκτιας ζώνης του κόλπου του Μαραθώνα βρέχεται από το Νότιο Ευβοϊκό, μια θαλάσσια λεκάνη με γενική διεύθυνση ΔΒΔ –ΑΝΑ, προστατευμένη γενικά από έντονο κυματισμό, ενώ το νότιο τμήμα της περιοχής του κόλπου, στο οποίο βρίσκεται η ακτογραμμή της Νέας Μάκρης, ανήκει στη νότια ανοιχτή λεκάνη του κόλπου των Πεταλιών με γενική διεύθυνση ΒΔ –ΝΑ και η οποία είναι εκτεθειμένη σε έντονο κυματισμό ΝΑ διευθύνσεων. (Χατζηελευθερίου Μ., 2010). Η ευρύτερη περιοχή χαρακτηρίζεται από ήπιο τεκτονισμό, μεσογειακό κλίμα και σχετικά χαμηλή κυματική ενέργεια.

Γενικά η περιοχή καλύπτεται από σύγχρονους ιζηματογενής σχηματισμούς (αλλούβια), περιορισμένου πάχους. (Παπανικολάου et al., 2008). Η παράκτια περιοχή της Νέας Μάκρης μορφολογικά χαρακτηρίζεται από αμμουδιές μεγάλου εύρους κυρίως στο βόρειο τμήμα της παραλίας (Εικόνα 3.3.1), ενώ στο κεντρικό και νότιο τμήμα, συναντάμε

παραλίες μικρού εύρους, συνήθως βραχώδεις (Εικόνα 3.3.2). Νοτιότερα, στην περιοχή Μάτι – Κόκκινο Λιμανάκι εμφανίζονται κρημνώδεις ακτές με χαρακτηριστικό στοιχείο τη δημιουργία μικρών ορμίσκων.



Εικόνα 3.3.1: Βόρειο τμήμα του κόλπου Μαραθώνα. - Πηγή: tripinview.com

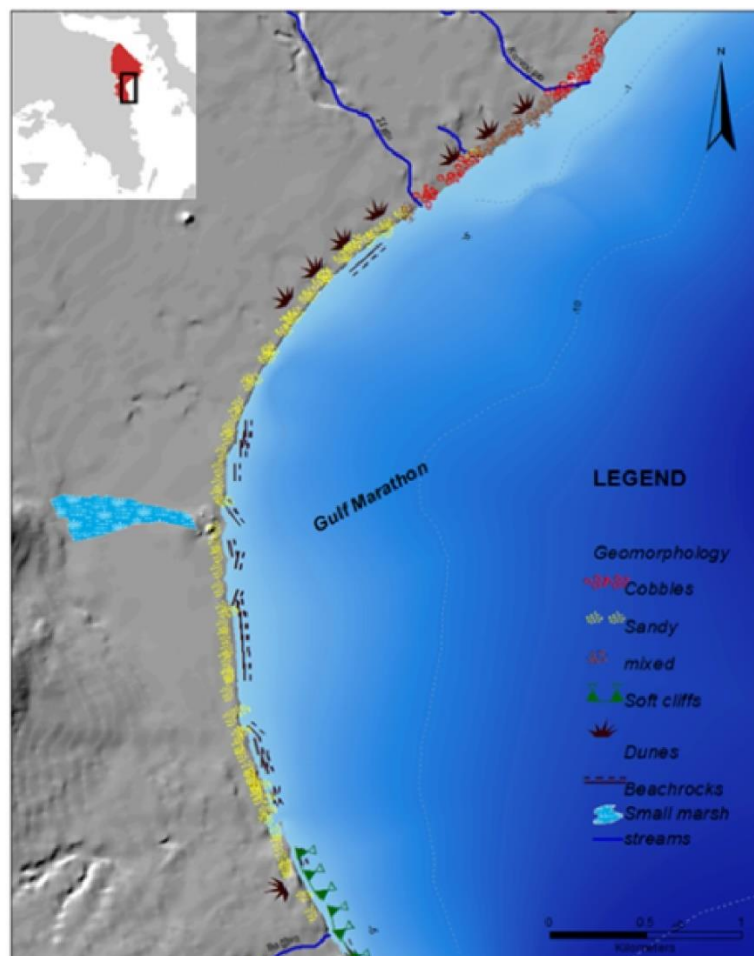


Εικόνα 3.3.2: Νότιο τμήμα του κόλπου Μαραθώνα. - Πηγή: tripinview.com

Κατά μήκος των ακτών παρατηρούνται παλιοί και σταθεροποιημένοι παράκτιοι αμμόλοφοι που συνήθως καλύπτονται είτε από θάμνους είτε από ακτόλιθους (beachrocks), καθώς μερικοί έχουν διαβρωθεί λόγω της υποχώρησης της ακτής (Εικόνα 3.3.3) (Dimou A., et al, 2007).

Η παρουσία των ακτολίθων παρατηρείται καθ' όλο το μήκος της ακτής στο κεντρικό τμήμα του κόλπου, αλλά και σε κάποια τμήματα της ακτής στο βόρειο τμήμα, ενώ σε άλλα σημεία έχουν καταστραφεί λόγω της αστικοποίησης της παράκτιας ζώνης.

Χαρακτηριστική απεικόνιση των ακτολίθων της παραλίας της Νέας Μάκρης παρουσιάζονται στην παρούσα διπλωματική εργασία, στην παρουσίαση αποτελεσμάτων, ύστερα από επεξεργασία βυθομετρικών δεδομένων.



Εικόνα 3.3.3: Παράκτιος γεωμορφολογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής μελέτης – Κόλπος Μαραθώνα

Πηγή: Dimou A., et al, 2007

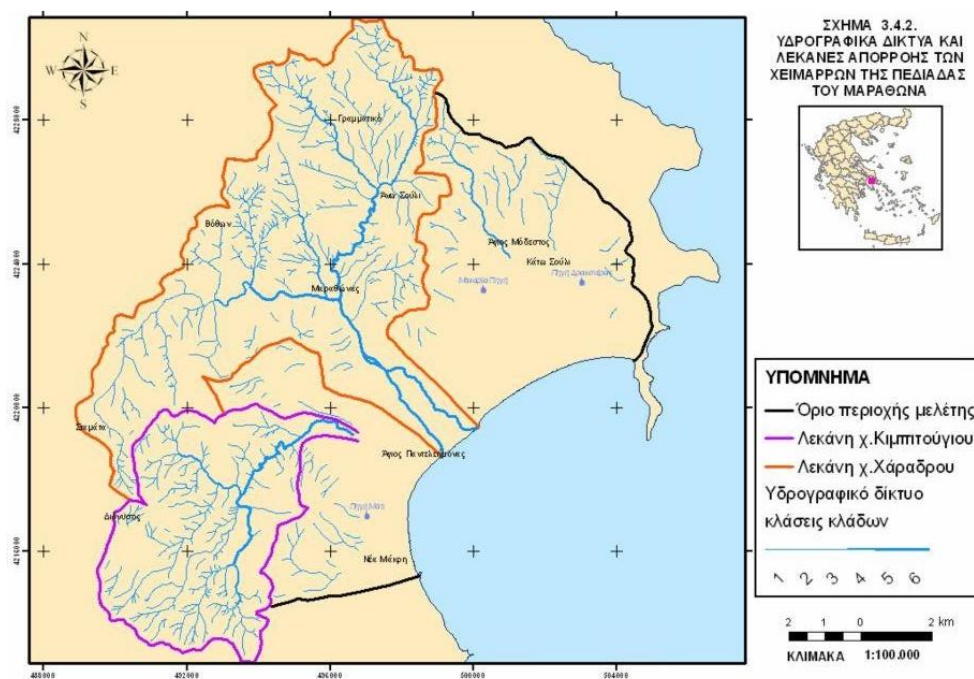
Η παράκτια ζώνη της περιοχής έχει υποστεί σημαντικές αλλοιώσεις (πλήρης διάβρωση των παραλιών με αμμουδιά και εναπόθεση άμμου σε κάποια άλλα σημεία), με κύριες αιτίες της παράκτια διάβρωσης της περιοχής να είναι η περιορισμένη στερεοπαροχή, λόγω απουσίας μεγάλων ποταμών, η δημιουργία του φράγματος του Μαραθώνα το 1929, το οποίο συνέβαλε δραστικά στην αποκοπή της τροφοδοσίας του κόλπου με ίζημα και τέλος η εξαγωγή άμμου από τα κατώτερα μέρη του ποταμού Οινόη στο βόρειο τμήμα του κόλπου. Ειδικά για το σημείο των εκβολών του Οινόη ποταμού έχει παρατηρηθεί υποχώρηση περίπου 100 μέτρα της ακτογραμμής τα τελευταία 120 χρόνια (Maroukian et al, 1993), φτάνοντας το μέγιστο ρυθμό υποχώρησης της ακτής, 2m/year, μεταξύ των δεκαετιών 50'-60'.

3.4 Υδρογραφικό Καθεστώς

Η περιοχή μελέτης παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον διότι αποτελεί παράδειγμα έντονων γεωμορφολογικών αλλαγών και ανθρώπινων επεμβάσεων.

Η απουσία μεγάλων ποταμών, η κατασκευή του φράγματος του Μαραθώνα, οι εκτεταμένες αμμοληψίες από την κοίτη του Οινόη ποταμού καθώς και η επέκταση του αρδευτικού δικτύου της πεδιάδας έχουν αλλοιώσει τα φυσιογραφικά και γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της πεδιάδας, όπως η υποχώρηση της ακτογραμμής λόγω εκτεταμένης διάβρωσης. Για τους παραπάνω λόγους η Ελληνική κυβέρνηση ανακήρυξε την περιοχή ως Natura 2000.

Υδρογραφικά η ευρύτερη περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται από 2 λεκάνες απορροής, τη λεκάνη χ. Κιμπτούγιου και την λεκάνη χ. Χάραδρου (Εικόνα 3.4.1).



Εικόνα 3.4.1:Χάρτης υδρογραφικών δικτύων και λεκάνες απορροής των χειμάρρων της πεδιάδας του Μαραθώνα.

Πηγή: Μαργώνη Γρ. Μ., 2006

Ο Οινόης ή Χάραδρος ποταμός ανήκει στη λεκάνη απορροής του χ. Χάραδρου και βρίσκεται στη ΒΑ Αττική. Το συνολικό μήκος της κεντρικής κοίτης του είναι 31 km και η λεκάνη απορροής του 177,2 km². Οριοθετείται στα δυτικά από τον ορεινό όγκο της Πάρνηθας και στα νότια από το Πεντελικό όρος. Στην περιοχή των εκβολών του, έχει σχηματιστεί ένα αλλουβιακό ριπίδιο που ουσιαστικά αποτελεί την παράκτια πεδιάδα του Μαραθώνα. Η πεδιάδα έχει ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση με επιμήκη μορφή και διαιρείται από τον Οινόη ποταμό σε δύο τμήματα. Νοτιοδυτικά του αλλουβιακού ριπίδιου εκτεινόταν μια ελώδης περιοχή που αποξηράθηκε εδώ και λίγες δεκαετίες. Στα ανατολικά, βρίσκεται το έλος του Μαραθώνα, που χωρίζεται από τη θάλασσα με μια λωρίδα άμμου, στο οποίο

αναπτύσσονται χαμηλές παράκτιες αμμώδεις θίνες, σταθεροποιημένες με βλάστηση (Baeteman, 1985). Το υδρογραφικό δίκτυο του Οινόη μπορεί να καταταχθεί στη δενδριτική μορφή. Η αρίθμηση του υδρογραφικού δικτύου σύμφωνα με τη μέθοδο του Strahler (1975) δείχνει ότι η κεντρική κοίτη του ποταμού εντάσσεται στην VI τάξη. (Λεβέντης Σ., 2014)

Υδρογραφικά η περιοχή της Νέας Μάκρης χαρακτηρίζεται από ρέματα μικρών λεκανών απορροής και χειμαρρους με κατεύθυνση από δυτικά από τις απολήξεις του Πεντελικού προς τα ανατολικά τα οποία τους χειμερινούς μήνες πλημμυρίζουν και καταλήγουν στη θάλασσα ενώ τους καλοκαιρινούς μήνες παρουσιάζουν μηδενική ροή. Αυτά που είναι χαρακτηρισμένα ως ρέματα είναι τα ακόλουθα : Ροκφέλλερ (Θέση πρώην Αμερικανικής Βάσης), Ανατολής, Ξυλοκέριζα (από το Μοναστήρι της Αγ. Παρασκευής), Βαζάνα Παμμακάριστου ή Εφημεριδοπωλών, Ζούμπερι, Αγ. Ανδρέας (διασχίζει τις κατασκηνώσεις), Βουτζά, Παππά ή Λυκόρεμα (όρια με Ραφήνα). Όσα δεν έχουν μπαζωθεί εισέρχονται στον οικιστικό ιστό με εμφανή την αλλοίωση της φυσικής τους κατάστασης λόγω καταπατήσεων ή ανοικοδομήσεων ή μετατροπής τους σε δρόμους με υπόγειο αγωγό. (Μήλα Μ., 2008)

3.5 Τρωτότητα της περιοχής

Σημαντική είναι η υποχώρηση της ακτογραμμής (100 m) κοντά στον ποταμό Οινόη κατά την διάρκεια των τελευταίων 120 χρόνων (Μαρουκίαν et al, 1993), φτάνοντας ρυθμό υποχώρησης περί των 2 m/yr μεταξύ των δεκαετιών 50'-60'. Το φαινόμενο αυτό δημιουργήθηκε κυρίως λόγω της μείωσης τροφοδοσίας υλικού από το φράγμα του Μαραθώνα που χτίστηκε στο 1929 και την εξαγωγή άμμου από την κατώτερη πορεία της κοίτης του ποταμού.

Με αφορμή λοιπόν του παραπάνω λόγους, αλλά και την ενδεχόμενη άνοδο της στάθμης της θάλασσας, εκπονήθηκε μελέτη εκτίμησης του δείκτη τρωτότητας των ΒΑ ακτών της Αττικής. (Χατζηελευθερίου Μ., et al, 2010)

Ακολούθησε το 2014 μια έρευνα (Dimou A., et al, 2014), η οποία αναφέρεται συγκεκριμένα στην διάβρωση του κόλπου του Μαραθώνα, επιβεβαιώνοντας τα γενικά αποτελέσματα της περιοχής που είχαν δημοσιευθεί το 2010. (Χατζηελευθερίου Μ., et al, 2010)

Ο δείκτης τρωτότητας (CVI) καθορίζεται από έξι μεταβλητές που επηρεάζουν έντονα την παράκτια εξέλιξη:

- a) Η γεωμορφολογία της παράκτιας ζώνης
- b) Η κλίση της παράκτιας ζώνης
- c) Η σχετική άνοδος της στάθμης της θάλασσας
- d) Οι ιστορικές μεταβολές της ακτογραμμής
- e) Το εύρος της παλίρροιας
- f) Γεωλογικοί σχηματισμοί
- g) Χρήση Γης

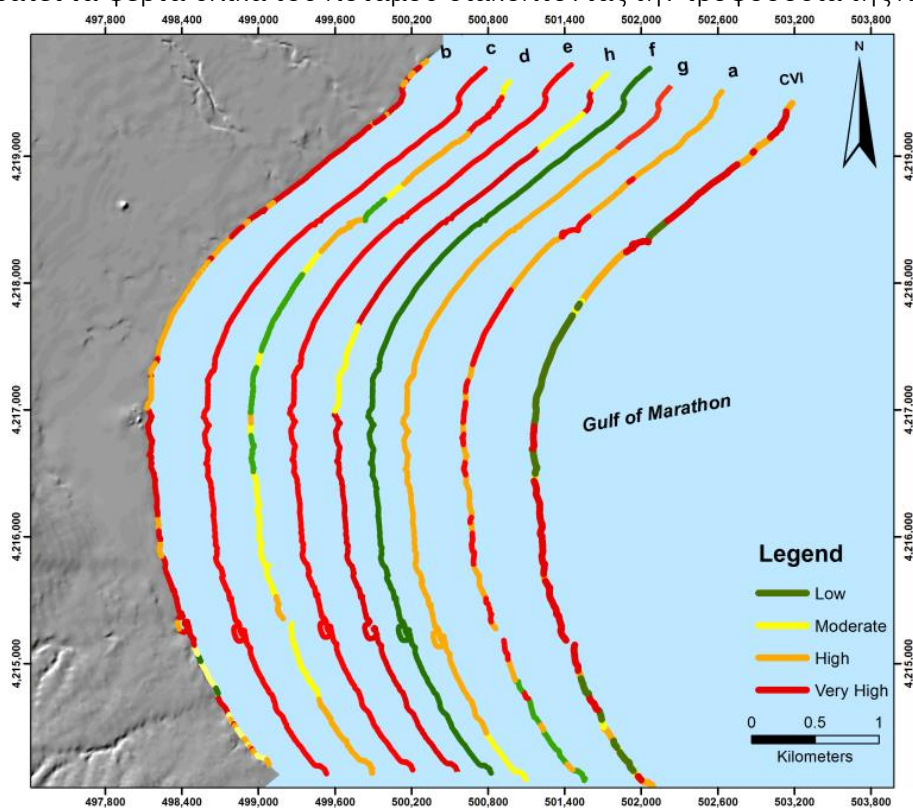
$$CVI = \sqrt{\frac{a * b * c * d * e * f * g * h}{8}}$$

Οι τιμές μεταβλητών τρωτότητας για την περιοχή μελέτης (Dimou A., et al, 2014):

| | CVI | Πολύ Χαμηλή | Χαμηλή | Ενδιάμεση | Υψηλή | Πολύ υψηλή |
|-----|---------------------------------|-------------|----------|----------------------|--------------------|------------------|
| A/A | Κατηγορίες | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| a | Γεωμορφολογία | | Βραχώδη | Ακτόλιθοι, αμμοθίνες | Παραλίες με χαλίκι | Αμμώδης Παραλίες |
| b | Κλίση παράκτιας ζώνης | >12,0 | 12,0-9,0 | 9,0-6,0 | 6,0-3,0 | <3,0 |
| c | Άνοδος της στάθμης της θάλασσας | | | | | 15,0 |
| d | Μεταβολές Ακτογραμμής | | 0,03 - 0 | 0 έως -0,25 | -0,25 έως -0,35 | -0,35 έως -0,6 |
| e | Παλίρροια | | | | | <1,0 |
| f | Ύψος κύματος | 0,4-0,5 | | | | |
| g | Γεωλογία | | | Ποτάμια ιζήματα | Αλλούβια | Αμμώδη υλικά |
| h | Χρήση Γης | | | Καλλιέργειες | | Αστικοποίηση |

Πίνακας 3.5.1: Πίνακας μεταβλητών τρωτότητας για την περιοχή του κόλπου του Μαραθώνα. Ο χρωματισμός των διαβαθμίσεων του CVI, είναι ανάλογος του χρωματισμού της Εικόνας 3.5.1

Από τον υπολογισμό του δείκτη τρωτότητας (CVI) προκύπτει ότι η περιοχή μελέτης εμφανίζει την υψηλότερη τρωτότητα καθώς πρόκειται για μια αμμώδη παραλιακή ζώνη με μικρές κλίσεις και μέσης κυματικής ενέργειας (Εικόνα 3.5.1). Ακόμη η υψηλή τρωτότητα σε αυτό το τμήμα οφείλεται στην κατασκευή του φράγματος του Μαραθώνα που συγκρατεί τα φερτά υλικά του ποταμού διακόπτοντας την τροφοδοσία της παραλίας.



Εικόνα 3.5.1: Δείκτης τρωτότητας της περιοχής του Κόλπου του Μαραθώνα. Στο χάρτη εμφανίζονται και οι 8 μεταβλητές (παρουσίαση αποτελεσμάτων με σχετική απόσταση μεταξύ τους, για λόγους παρουσίασης) που δρουν για τον υπολογισμό του CVI. - Πηγή: Dimou A., et al, 2010

4. Μεθοδολογία

4.1 Συλλογή δεδομένων και επεξεργασία

Οι κύριες εργασίες πεδίου πραγματοποιήθηκαν στο χρονικό διάστημα μεταξύ 28 και 29 Ιανουαρίου 2019(1^ο στάδιο) ενώ συμπληρωματική δειγματοληψία έλαβε μέρος στις 5 Φεβρουαρίου 2019(2^ο στάδιο).

Όλες οι εργασίες πεδίου πραγματοποιήθηκαν με αλιευτικό σκάφος, το οποίο ναυλώθηκε, από το τοπικό λιμένα Νέας Μάκρης για την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας. Κατά τη διάρκεια των εργασιών οι καιρικές συνθήκες ήταν ιδανικές ως προς την ύπαρξη κυματισμών, γεγονός που διευκόλυνε την συλλογή των δεδομένων.

Για την χαρτογράφηση των λιβαδιών Ποσειδωνίας χρησιμοποιήθηκαν, συνδυαστικά οι μέθοδοι του βυθομετρικού ηχοβολιστή μονής δέσμης (Single Beam Echo Sounder)(Εικόνα 4.1.1), η μέθοδος του ισομετρικού ηχοβολιστή πλευρικής σάρωσης (Side Scan Sonar)(Εικόνα 4.1.2) και το όργανο Monitor Sound Velocity Profiler (SVP)(Εικόνα 4.1.3), της Valeport, για τον προσδιορισμό της ταχύτητας του ήχου. Πιο συγκεκριμένα ο γεωφυσικός εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε είναι οι εξής:



Εικόνα 4.1.1
Single Beam Sonar
Airmar Echorange SS510
(200kHz
Πηγή:globalspec.com



Εικόνα 4.1.2
Sound Velocity Profiler
Monitor SVP,
Πηγή:hydrographic-catalogue.com



Εικόνα 4.1.3
Side Scan Sonar
Tritech Starfish 450F
Πηγή:fondriest.com

Συμπληρωματικά με τις γεωφυσικές μεθόδους, χρησιμοποιήθηκε και τοπογραφικός εξοπλισμός GPS RTK (Εικόνα 4.1.4) για την χωροθέτηση των δεδομένων σε σύστημα συντεταγμένων UTM Zone: 34N, καθώς και για την ακριβή πλοήγηση του σκάφους, πάνω στις προσχεδιασμένες γραμμές πλοήγησης της έρευνας. Ο τοπογραφικός εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε:



Εικόνα 4.1.4: Trimble R6 GPS Receiver

Πηγή: korecgroup.com

Πέραν του γεωφυσικού/τοπογραφικού εξοπλισμού που αναφέρθηκαν παραπάνω, χρησιμοποιήθηκαν και λογισμικά υπολογιστών για την συλλογή, επεξεργασία και ερμηνεία των δεδομένων. Για την συλλογή των δεδομένων από τον πλευρικό ηχοβολιστή σάρωσης χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα SonarWiz 5 της εταιρίας ChesapeakeTech, για την πλοήγηση του σκάφους και συλλογή δεδομένων από το μονοδεσμικό βυθόμετρο έγινε χρήση του υδρογραφικού προγράμματος HyPack. Όσον αφορά την δημιουργία χαρτών και την μετατροπή από UTM σε ΕΓΣΑ 87' των βυθομετρικών δεδομένων, χρησιμοποιήθηκε το γεωγραφικό πρόγραμμα πληροφοριών Global Mapper 18'.

Με το πέρας των εργασιών πεδίου του 1^{ου} σταδίου, ακολούθησε επεξεργασία και ερμηνεία των γεωφυσικών δεδομένων με σκοπό την εύρεση κατάλληλων σημείων συλλογής επιφανειακών δειγμάτων βυθού, για την επιβεβαίωση και αντιπαραβολή των αποτελεσμάτων της ερμηνείας του 1^{ου} σταδίου της έρευνας.

Στο 2^ο στάδιο της έρευνας χρησιμοποιήθηκε το ίδιο σκάφος με το 1^ο στάδιο, το οποίο αυτή τη φορά εξοπλίστηκε με τοπογραφικό εξοπλισμό GPS RTK (Trimble R6 Receiver), εξοπλισμό αρπαγής δείγματος ιζήματος από τον πυθμένα της θάλασσας (Εικόνα 4.1.5) και με μια ράβδο συνολικού μήκους 2 μέτρων (Εικόνα 4.1.6), με την οποία γίνονται δοκιμαστικές εμπήξεις, με σκοπό την κατηγοριοποίηση των πρώτων 2 μέτρων τον υποκείμενων ιζημάτων:



Εικόνα 4.1.5: Van Veen Grab Sampler

Πηγή: alibaba.com

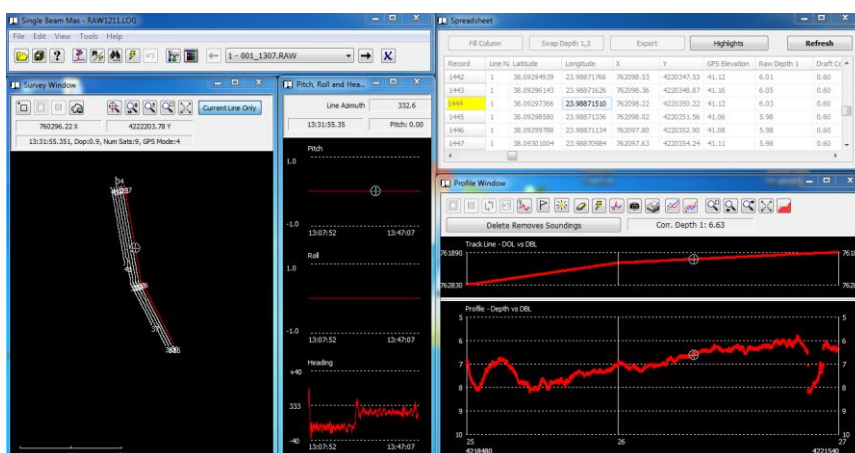


Εικόνα 4.1.6: Έμπηξη ράβδου στον πυθμένα

Τα σημεία που επιλέγονται για να πραγματοποιηθούν οι παραπάνω μετρήσεις του 2^{ου} σταδίου έχουν προκύψει από μια προκαταρκτική επεξεργασία των δεδομένων του 1^{ου} σταδίου, μέσα στο χρονικό διάστημα 29 Ιανουαρίου – 5 Φεβρουαρίου του 2019. Κατά την επεξεργασία των δεδομένων, πραγματοποιείται έλεγχος ποιότητας των δεδομένων και ύστερα προτείνονται θέσεις αρπαγής ιζήματος πυθμένα και έμπηξης ράβδου για την επαλήθευση και την συσχέτιση αυτών με τα αποτελέσματα των υπόλοιπων μεθοδολογιών.

Για την υλοποίηση του 2^{ου} σταδίου, το σκάφος κατευθύνεται με τη χρήση RTK-GPS ακρίβειας <1cm στις τοποθεσίες που θα πραγματοποιηθούν οι δειγματοληψίες, το σκάφος ακινητοποιείται και στη συνέχεια ακολουθεί κατάδυση δύτη για την βιντεοσκόπηση της περιοχής και την έμπηξη ράβδου στο συγκεκριμένο σημείο. Αφού πραγματοποιηθεί η κατάδυση και ο δύτης βρίσκεται στο σκάφος, ξεκινάει η συλλογή ιζήματος πυθμένα ρίχνοντας με σταθερό ρυθμό και κατακόρυφα προς την επιφάνεια της θάλασσας τον συλλέκτη δείγματος έως να ακουμπήσει το πυθμένα. Στην συνέχεια ξεκινάει η διαδικασία ανάκτησης του εξοπλισμού. Μετά την πραγματοποίηση συλλογής δεδομένων επιφανειακού ιζήματος, ακολούθησε η περιγραφή των δειγμάτων και η συσχέτιση αυτών με τα γεωφυσικά δεδομένα.

Η επεξεργασία των ψηφιακών βαθυμετρικών δεδομένων γίνεται με την βοήθεια του λογισμικού HyPack-Single beam editor (Εικόνα 4.1.7).



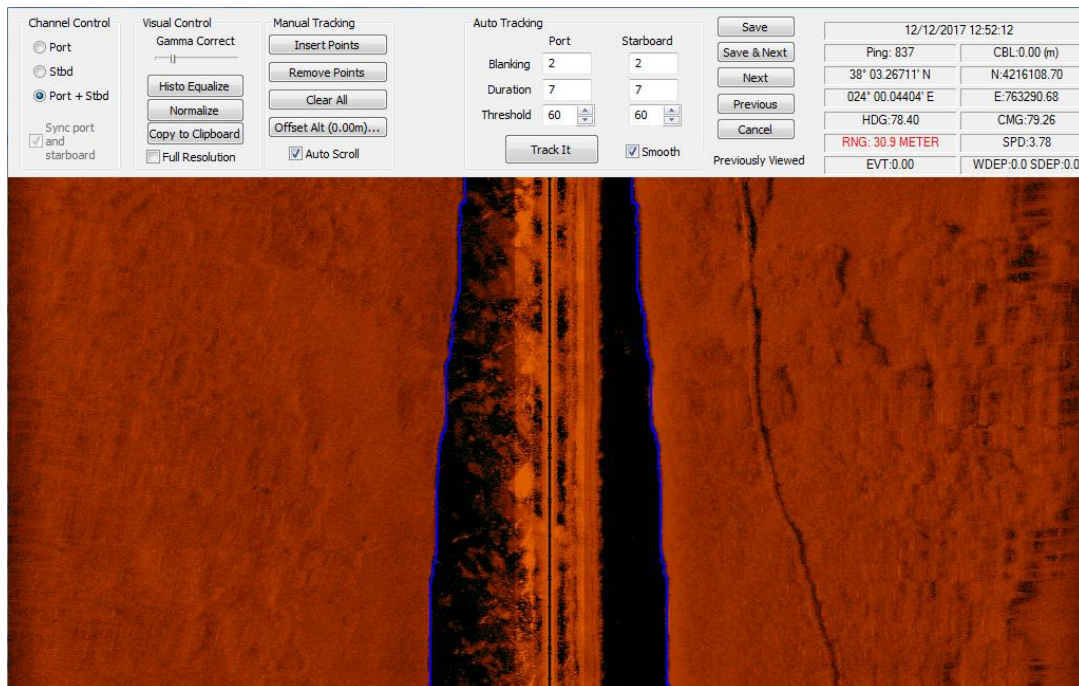
Εικόνα 4.1.7: Απόσπασμά από την επεξεργασία των βαθυμετρικών δεδομένων

Κατά την εισαγωγή των δεδομένων στο λογισμικό, προσδιορίζουμε το γεωγραφικό σύστημα συντεταγμένων στο οποίο βασίστηκε η συλλογή των δεδομένων και στη συνέχεια, εισάγουμε τα προφίλ ταχύτητας του ήχου της υδάτινης στήλης. Η μετατροπή των λαμβανόμενων σημάτων σε μετρήσεις βάθους, που προκύπτει από τον υπολογισμό τη δανεισθείσας απόστασης, επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την ταχύτητα του ήχου και τις μεταβολές αυτής στα κατακόρυφα στρώματα της υδάτινης στήλης. Εισάγοντας τα προφίλ ταχύτητας, το πρόγραμμα αυτόματα μετατρέπει τα βάθη που έχει λάβει από το βυθόμετρο στα πραγματικά βάθη. Στη συνέχεια, εξετάζετε κάθε γραμμή πλοήγησης ξεχωριστά και επεξεργάζονται όλα τα βυθομετρικά δεδομένα. Το βάθος και η μορφολογία του πυθμένα ανάμεσα στις γειτονικές γραμμές πλεύσης δεν αποτυπώνεται αλλά εκτιμάται θεωρητικά με παρεμβολή.

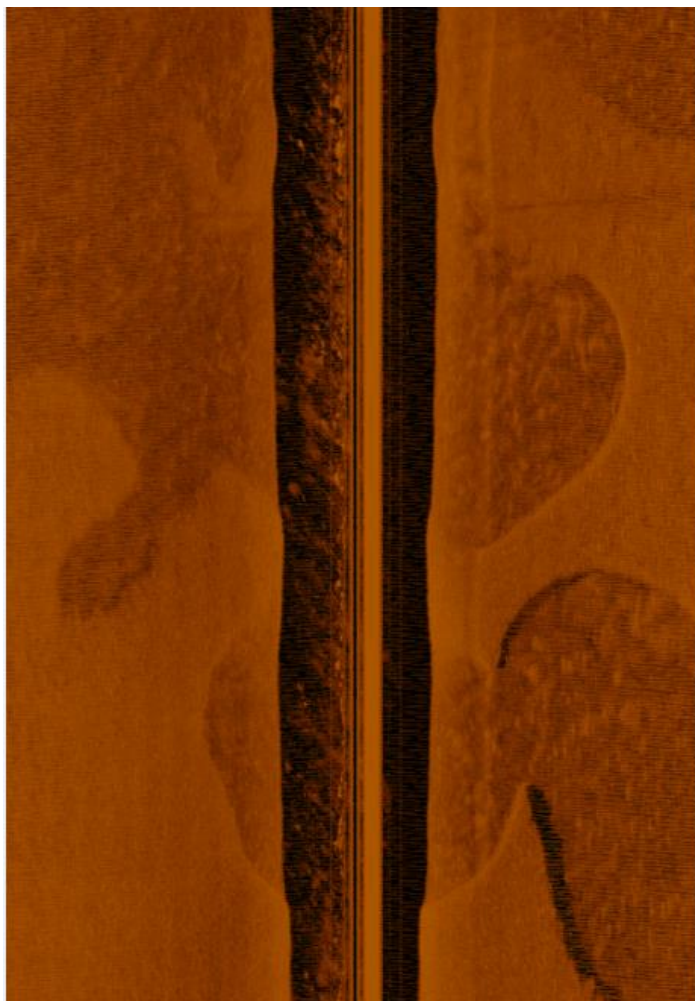
Τα δεδομένα μετά την επεξεργασία εισάγονται σε GIS βάση δεδομένων, για να καταρτιστούν σε διάγραμμα ώστε ένας δεύτερος έλεγχος να πραγματοποιηθεί και να παραχθούν οι επιθυμητοί βυθομετρικοί χάρτες στο γεωγραφικό σύστημα συντεταγμένων ΕΓΣΑ 87', ύστερα από μετατροπή των δεδομένων. Επίσης γίνεται

σύγκριση των γραμμών του καννάβου σε σχέση με τις προσχεδιασμένες γραμμές πλοήγησης.

Η επεξεργασία (navigation checks, bottom tracking, layback application and time-variable gain) των δεδομένων του πλευρικού ισομετρικού ηχοβολιστή γίνεται με το λογισμικό «SonarWiz5»(Εικόνα 4.1.8 & Εικόνα 4.1.9).



Εικόνα 4.1.8: Απόσπασμα από την επεξεργασία ηχογραφήματος, στην δεξιά μεριά της ηχογραφίας, εμφανίζεται κατά μήκος συλλογής των δεδομένων να υπάρχει ένα γραμμικό στοιχείο, πιθανόν κάποιο καλώδιο (Bottom Tracking)



Εικόνα 4.1.9: Απόσπασμα από την επεξεργασία ηχογραφήματος, του βόρειου αποσπάσματος της περιοχής μελέτης, απεικονίζοντας κενά στα λιβάδια Ποσειδωνιάς(Bottom Tracking)

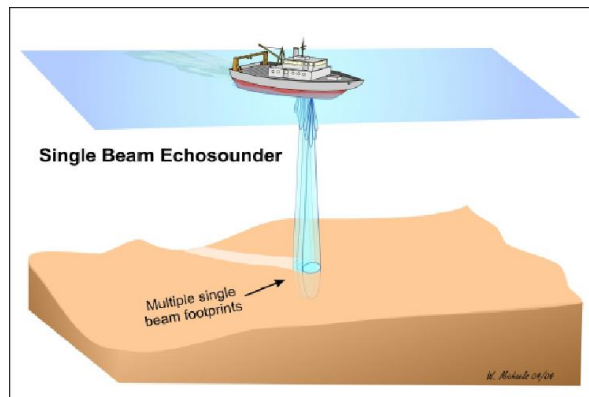
Το τελικό μωσαϊκό εισάγεται στο λογισμικό Global Mapper 18 και ακολουθεί η ερμηνεία και η παραγωγή του λεπτομερούς χάρτη των μορφολογικών και ιζηματολογικών χαρακτηριστικών.

Στο επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα της έρευνας και η παρουσίαση των σχετικών χαρτών.

4.2 Βυθομετρικός Ηχοβολιστής Μονής Δέσμης – Single Beam Echo Sounder

Οι βυθομετρικές μελέτες σήμερα, γίνονται με τη χρησιμοποίηση ηχοβολιστικών μηχανημάτων, τα οποία ονομάζονται βυθόμετρα ή «ηχοβολιστές» (echo-sounders). Τα βυθόμετρα εκπέμπουν κατακόρυφη δέσμη ηχητικών κυμάτων η οποία, αφού ανακλαστεί στον πυθμένα, επιστρέφει στην επιφάνεια όπου και προσλαμβάνεται από το δέκτη(Εικόνα 4.2.1). Τα βυθόμετρα αποτελούνται από ένα πομπό, από ένα δέκτη (συνήθως πομπός και δέκτης είναι ενσωματωμένοι, δηλαδή ο πομπός είναι και δέκτης), έναν ενισχυτή και ένα καταγραφέα. Ο πομπός είναι συνδεδεμένος με μία γεννήτρια και έχει τη δυνατότητα να μετατρέπει τους ηλεκτρικούς παλμούς σε ηχητικά κύματα. Ο δέκτης παρόμοια έχει την ικανότητα να μετατρέπει τα ανακλώμενα από το πυθμένα ηχητικά κύματα σε ηλεκτρικούς παλμούς, οι οποίοι τελικά ενισχύονται από τον ενισχυτή και καταγράφονται από το καταγραφέα. Η ποιότητα των βυθομετρικών

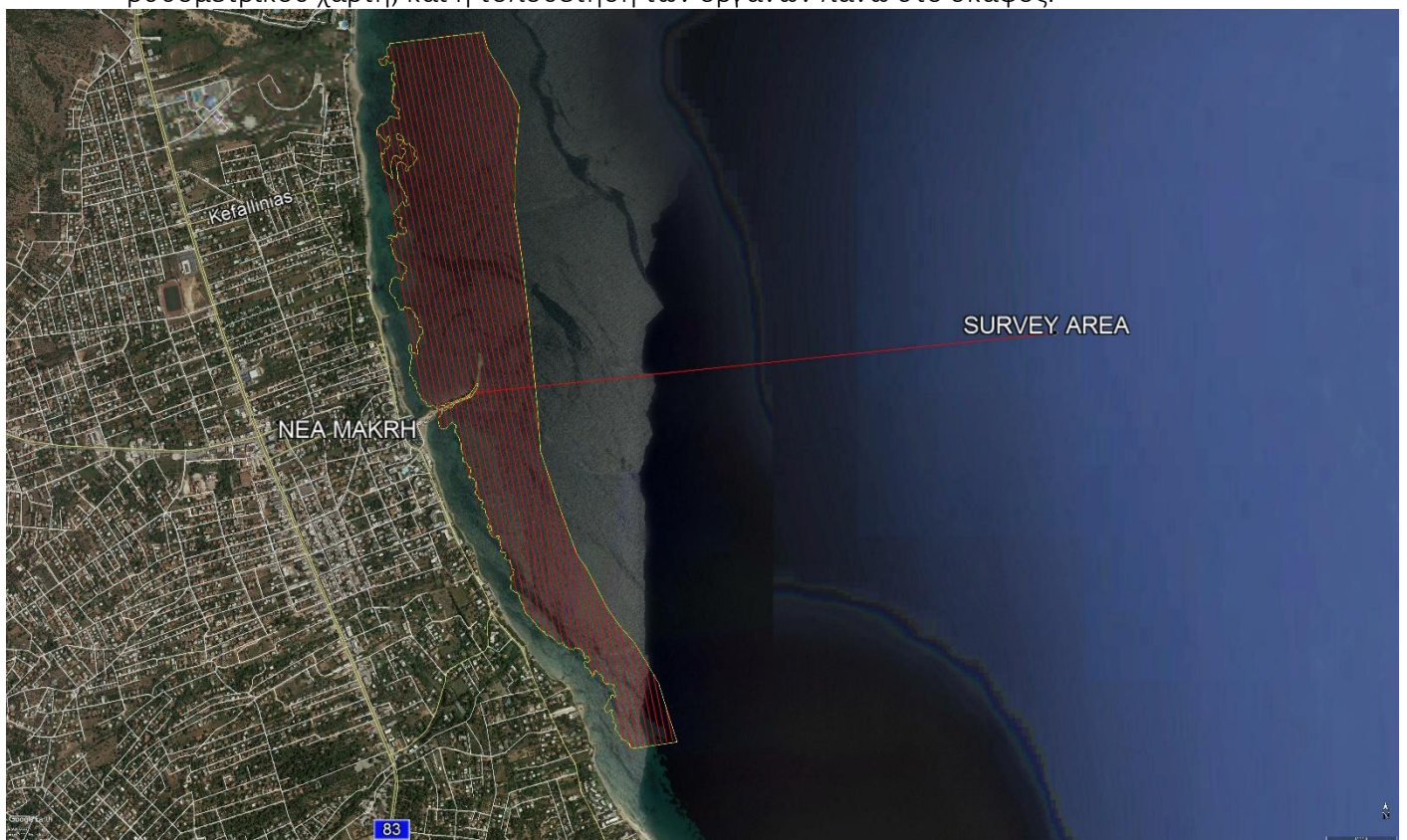
συσκευών χαρακτηρίζεται από τη διακριτική ικανότητα η οποία εξαρτάται από: (α) τη χρονική διάρκεια του παλμού και (β) την κατευθυντικότητα της ακουστικής δέσμης (Φερεντίνος, 1985).



Εικόνα 4.2.1: Αναπαράσταση βυθομετρικής διερεύνησης

Πηγή: Nguyen, Phu Duy. (2018).

Στη παρούσα μελέτη όπως αναφέρθηκε στο παραπάνω υποκεφάλαιο χρησιμοποιήθηκε βυθομετρικός ηχοβολιστής μονής δέσμης (Single Beam Echo Sounder), Airmar Echorange SS510 (200kHz). Για την πραγματοποίηση της βυθομετρικής κάλυψης της περιοχής μελέτης, είχαν προσχεδιαστεί πορείες πλεύσης στο λογισμικό Global Mapper και είχαν εισαχθεί στο λογισμικό Hyrack, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την ακριβή πλοήγηση του σκάφους. Στην Εικόνα 4.2.2 περιγράφονται αναλυτικά οι γραμμές πλοήγησης του σκάφους, όσον αφορά την ικανοποιητική κάλυψη της περιοχής από βυθομετρικά δεδομένα για την δημιουργία βυθομετρικού χάρτη, και η τοποθέτηση των οργάνων πάνω στο σκάφος.

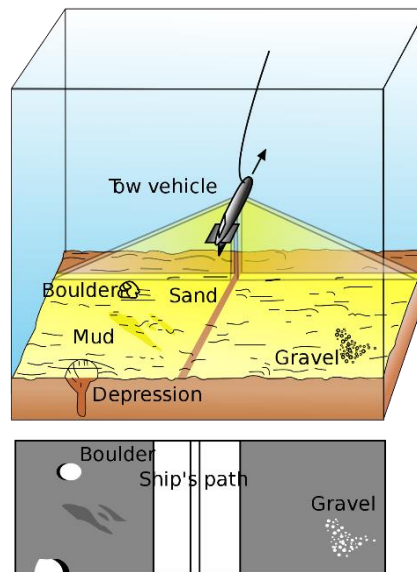


Εικόνα 4.2.2: Παρουσίαση περιοχής μελέτης και προσχεδιασμένες γραμμές πλοήγησης για την βυθομετρική έρευνα.

Τέλος, το βυθόμετρο σε συνδυασμό με το σύστημα προσδιορισμού στίγματος (GSP) βαθμονομήθηκαν κατά την έναρξη και τερματισμό των εργασιών πεδίου. Οι καταγραφές αποθηκεύτηκαν σε ψηφιακή μορφή και στο τέλος κάθε ημέρας λαμβάνονταν αντίγραφα ασφαλείας των δεδομένων. Ο ρυθμός καταγραφής σημείων βυθομετρίας ήταν 1 σημείο/sec. Όλα τα μετρούμενα βάθη υπολογίστηκαν με βάση τη μέση στάθμη της θάλασσας.

4.3 Ισομετρικός ηχοβολιστής πλευρικής σάρωσης (SIDE SCAN SONAR)

Ο ηχοβολιστής πλευρικής σάρωσης (side-scan sonar) χρησιμοποιείται για τη δισδιάστατη απεικόνιση της μορφολογίας του πυθμένα (Σούρα, 2013). Τυπικά αποτελείται από έναν υποβρύχιο πομποδέκτη ακουστικών σημάτων που ενώνεται καλωδιακά με μια καταγραφική μονάδα στο ερευνητικό σκάφος. Στη βασική του λειτουργία ο ΗΠΣ φορτίζει τους πυκνωτές του μέσω του καλωδίου και μετά από ηλεκτρονική εντολή από τον καταγραφέα, εκτονώνει τη συσσωρευμένη ενέργεια μέσω των πομποδεκτών, οι οποίοι έπειτα εκπέμπουν ακουστικό σήμα. Ο λοβός του εκπεμπόμενου σήματος είναι στενός στον αζιμουθίο του με αποτέλεσμα να ηχοβολεί μια πλατιά λωρίδα πυθμένα, ιδιαίτερα όταν λειτουργεί σε σχετικά χαμηλές συχνότητες (π.χ 100 kHz). Οι ηχητικές ανακλάσεις που επιστρέφουν από το πυθμένα συλλαμβάνονται από τους πομποδέκτες μέσα σε μικρό χρονικό διάστημα, επιδέχεται χρονομεταβλητής ενίσχυσης (TVG) και το τελικό σήμα μεταφέρεται στην καταγραφική μονάδα Εικόνα.



Εικόνα 4.3.1: Αναπαράσταση δισδιάστατης (2D) απεικόνισης του πυθμένα με τη χρήση ισομετρικού ηχοβολιστή πλευρικής σάρωσης.

Έπειτα στη καταγραφική μονάδα, στοιχειοθετείται μια ισομετρική δισδιάστατη απεικόνιση του πυθμένα, που ονομάζεται ηχογραφία (Σούρα, 2013). Οι ηχογραφίες (sonographs) στοιχειοθετούνται με βάση την ηχητική ανακλαστικότητα που παρουσιάζει τοπικά ο πυθμένας, η οποία εξαρτάται κυρίως από τη γωνία πρόσπτωσης των ηχητικών κυμάτων και τη λιθολογία του πυθμένα. Η λειτουργία του συστήματος δίνει τη δυνατότητα στην πρώτη περίπτωση για τον εντοπισμό περιοχών με διαφορετικό μικροανάλυφο (εξάρσεις-υβώματα) σε σχέση με τις περιβάλλουσες και

στη δεύτερη πληροφορίες για τη σύσταση του υλικού, ανάλογα με την ένταση επιστροφής των ηχητικών κυμάτων, (χοντρόκοκκο-λεπτόκοκκο, μαλακής-σκληρής υφής) (Μιχαήλ, 2011).

Πριν την έναρξη των εργασιών πεδίου πραγματοποιήθηκαν δοκιμαστικές τομές ώστε να προσδιοριστούν οι βέλτιστες ρυθμίσεις για τον πλευρικό ισομετρικό ηχοβολιστή.

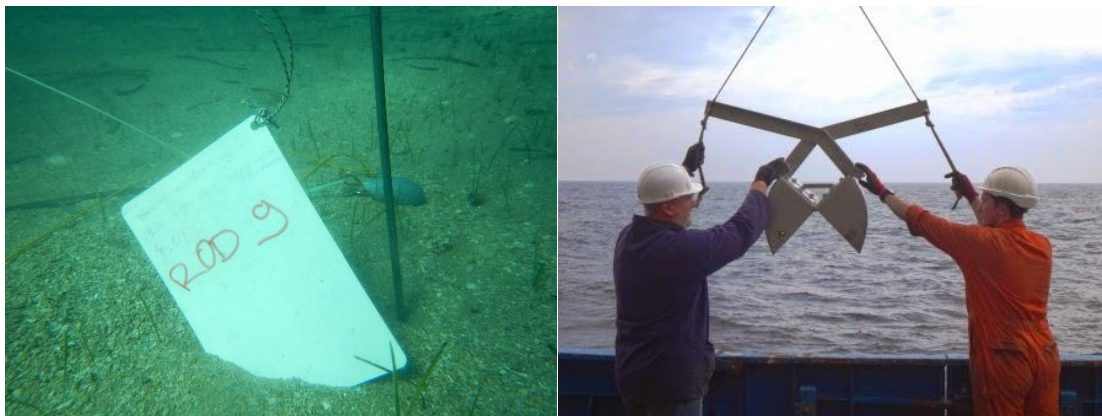
Για την ταυτοποίηση των διαφορετικών ιζηματολογικών τύπων επιλέχθηκε η χρήση της συχνότητας των 455 kHz η οποία έδωσε υψηλής ανάλυσης δεδομένα και διακρίνει με σαφήνεια περιοχές που παρουσιάζουν διαφορετική ηχητική ταυτότητα, καθώς και τον προσδιορισμό των περιοχών με *Posidonia Oceanica*.

4.4 Δειγματοληψία ιζημάτων πυθμένα και μέθοδος έμπηξης ράβδου

Η δειγματοληψία των ιζημάτων πυθμένα πραγματοποιήθηκε με δειγματολήπτη μορφής δράγας τύπου Van Veen (Εικόνα 4.4.2). Οι δειγματοληψίες με μορφή δράγας αποτελούνται από ένα ζεύγος στελεχών με μορφή σιαγόνων (jaws), οι οποίες κλείνουν όταν η συσκευή φθάσει στον πυθμένα απ' όπου πρόκειται αν γίνει η δειγματοληψία. Μια μεγάλη αεριζόμενη κορυφή (με μεγάλο άνοιγμα) ή μια μεγάλη σπή στο πίσω μέρος του δοχείου δειγματοληψίας μειώνει σημαντικά τη διαταραχή του ιζήματος που δημιουργείται κατά την άνοδο του δειγματολήπτη.

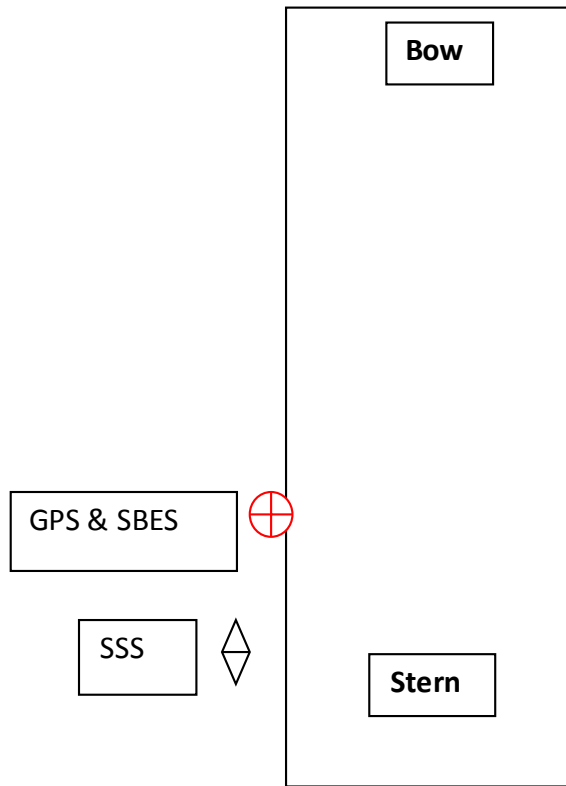
Τα πλεονεκτήματα των δειγματοληπτών τύπου σαν την προαναφέρθουσα είναι η ευκολία στη χρήση, κατάλληλοι για διάφορες περιπτώσεις ιζήματος και εξασφαλίζουν για το λαμβανόμενο δείγμα έναντι φαινομένων έκπλυσης. (Αναγνωστόπουλος Κ. Β., 2009)

Τέλος, στο ίδιο σημείο κατά το οποίο έγινε η συλλογή δείγματος, πραγματοποιείται και το πείραμα έμπηξης ράβδου (2m) (Εικόνα 4.4.1), με σκοπό την επιτόπου κατηγοριοποίηση του πυθμένα σε μαλακό και σκληρό υπόστρωμα ιζήματος, για την καλύτερη αξιολόγηση των δεδομένων του ισομετρικού ηχοβολιστή πλευρικής σάρωσης.



Εικόνα 4.4.1 (Αριστερά): Μέθοδος έμπηξης ράβδου στο θαλάσσιο πυθμένα (ROD 9) Εικόνα 4.4.2 (Δεξιά): Μέθοδος δειγματοληψίας ιζημάτων πυθμένα με την χρήση δειγματολήπτη μορφής δράγας τύπου Van Veen. Πηγή: M. Nelson JNCC

4.5 Γενική διάταξη σκάφους



| Θέση Αισθητήρα | Bow | Starboard | Down relative to waterline (positive down) |
|----------------|-----|-----------|---|
| GPS | 0 | 0 | -2.34 |
| SBES | 0 | 0 | 0.51 |
| SSS | -1 | -0.5 | 1 |

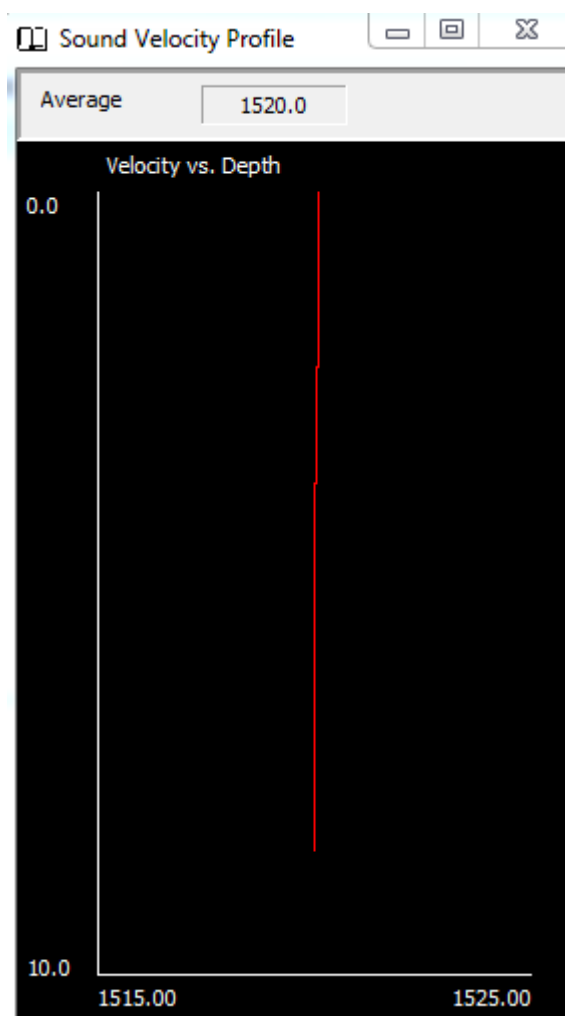
5. Αποτελέσματα - Συζήτηση

Οι εργασίες πεδίου πραγματοποιήθηκαν έγιναν στο θαλάσσιο χώρο της περιοχής Νέας Μάκρης και σε βάθη από περίπου 3 έως περίπου 6 μέτρα. Οι περιοχές μελέτης στις οποίες έγιναν οι εργασίες έχουν συνολική επιφάνεια 1,247 km².

5.1 Αποτελέσματα βυθομετρίας – SINGLE BEAM ECHO SOUNDER

5.1.1 Διόρθωση ταχύτητας ήχου

Για την σωστή αποτύπωση της βυθομετρίας είναι απαραίτητη η γνώση της μεταβολής της ταχύτητας του ήχου στο νερό συναρτήσει του βάθους. Σε πρώτη φάση, εισάγονται στο λογισμικό Hypack 2018 (Single Beam Editor), τα δεδομένα του προφίλ ταχύτητας του ήχου (sound velocity) στη στήλη του νερού, για την περιοχή μελέτης. Διακρίνεται λοιπόν στην Εικόνα 5.1.1.1, ότι η ταχύτητα του ήχου στα βάθη της περιοχής έως 8 m, παραμένει σχετικά σταθερή με πολύ μικρές αποκλίσεις. Η μέγιστη ταχύτητα είναι 1520.10 m/s, ενώ η ελάχιστη είναι 1519.98 m/s, δίνοντας έτσι ένα μέσο όρο ταχύτητας για την περιοχή μελέτης 1520.0 m/s.

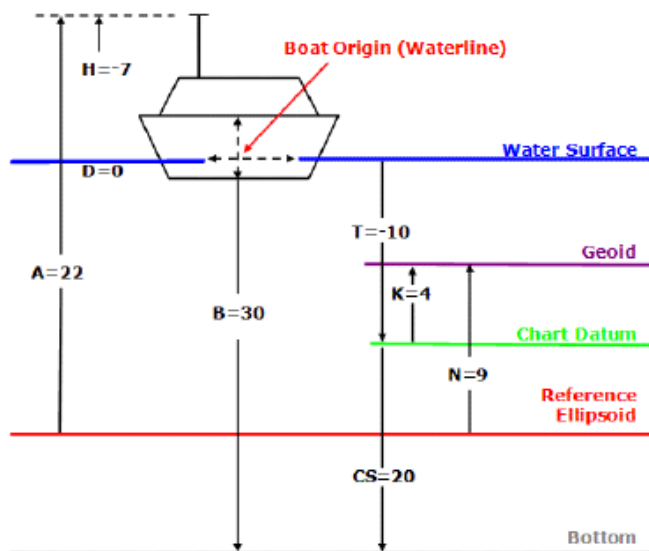


Εικόνα 5.1.1.1: Προφίλ της ταχύτητας του ήχου σε σχέση με το βάθος

5.1.2 Υπολογισμός παλίρροιας

Όλα τα βάθη και τα υψόμετρα αναφέρονται στη μέση στάθμη της θάλασσας (Mean Sea Level). Η μεθοδολογία του RTK χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των παλίρροιών στις περιοχές μελέτης.

Η Εικόνα 5.1.2.1 παρουσιάζει την διαδικασία υπολογισμού όλων των παραμέτρων για τον ακριβή υπολογισμό του Chart Datum (CS = η απόσταση από το πυθμένα στο Chart Datum). Στην συγκεκριμένη περίπτωση το chart datum ήταν το MSL.



Εικόνα 5.1.2.1: Διάγραμμα μοντέλου λειτουργίας της μεθόδου RTK-Tides

Ο υπολογισμός του RTK Tide σε πραγματικό χρόνο έγινε, χρησιμοποιώντας τα υψόμετρα από την κεραία GPS. Μπορούμε να υπολογίσουμε τη διόρθωση της παλίρροιας RTK (TR) αφαιρώντας το ύψος του ελλειψοειδούς WGS-84 πάνω από το γράφημα Chart Datum (K-N), από το ύψος του ελλειψοειδούς WGS-84 πάνω από τη στατική γραμμή νερού (-H-A).

5.1.3 Βαθυμετρική αποτύπωση

Οι πορείες καταγραφής τη βυθομετρίας, στην υπό εξέταση περιοχή της Νέας Μάκρης, που πραγματοποιήθηκε με μονοδεσμικό βυθόμετρο αποτυπώνονται στην Εικόνα 5.1.3.1. Το συνολικό μήκος γραμμών ήταν περίπου 35 km, με διεύθυνση Β-Ν, ακριβώς μπροστά από το τοπικό λιμένα Νέας Μάκρης. Η συνολική περιοχή που σαρώθηκε ήταν 1,247 km².

Οι Εικόνες 5.1.3.2 & 5.1.3.3 απεικονίζουν τα καταγεγραμμένα βάθη για την περιοχή μελέτης έτσι όπως αυτά προκύπτουν ύστερα από τις παραπάνω αναγωγές που σχετίζονται με την ταχύτητα του ήχου στη στήλη του νερού και το εύρος της παλίρροιας, κατά τις πορείες καταγραφής. Οι χάρτες αποτύπωσης των βυθομετρικών καταγραφών στο γεωδαιτικό σύστημα WGS-84 προβάλλονται στο σύστημα συντεταγμένων ΕΓΣΑ 87'. Σημειώνεται ότι το βάθος του πυθμένα ανάμεσα στις γειτονικές γραμμές πλεύσης εκτιμάται θεωρητικά με παρεμβολή.

Παρατηρούμε λοιπόν, ότι τα καταγεγραμμένα βάθη της περιοχής μελέτης κυμαίνονται από 0 m έως 8 m. Μετά από την επεξεργασία των δεδομένων, κατασκευάζονται

χάρτες ισοβαθών καμπυλών και βαθυμετρικός χάρτης χρωματικής κλίμακας. Για τη καλύτερη απεικόνιση των χαρτών, οι ισοβαθείς καμπύλες έχουν χαραχθεί ανά 1 m βάθος, με πιο έντονες τις ισοβαθείς ανά 2 m (ξεκινώντας από το 0.5 m βάθος). Με μαύρο χρώμα απεικονίζονται οι κύριες, ενώ με απαλό γκρι οι δευτερεύουσες, ισοβαθείς. Αντίστοιχα δημιουργείται και ο βαθυμετρικός χάρτης χρωματικής κλίμακας, στον οποίο απεικονίζονται όλα τα επεξεργασμένα βάρη με την μορφή χρωμάτων, για την καλύτερη κατανόηση της μορφολογίας του πυθμένα.

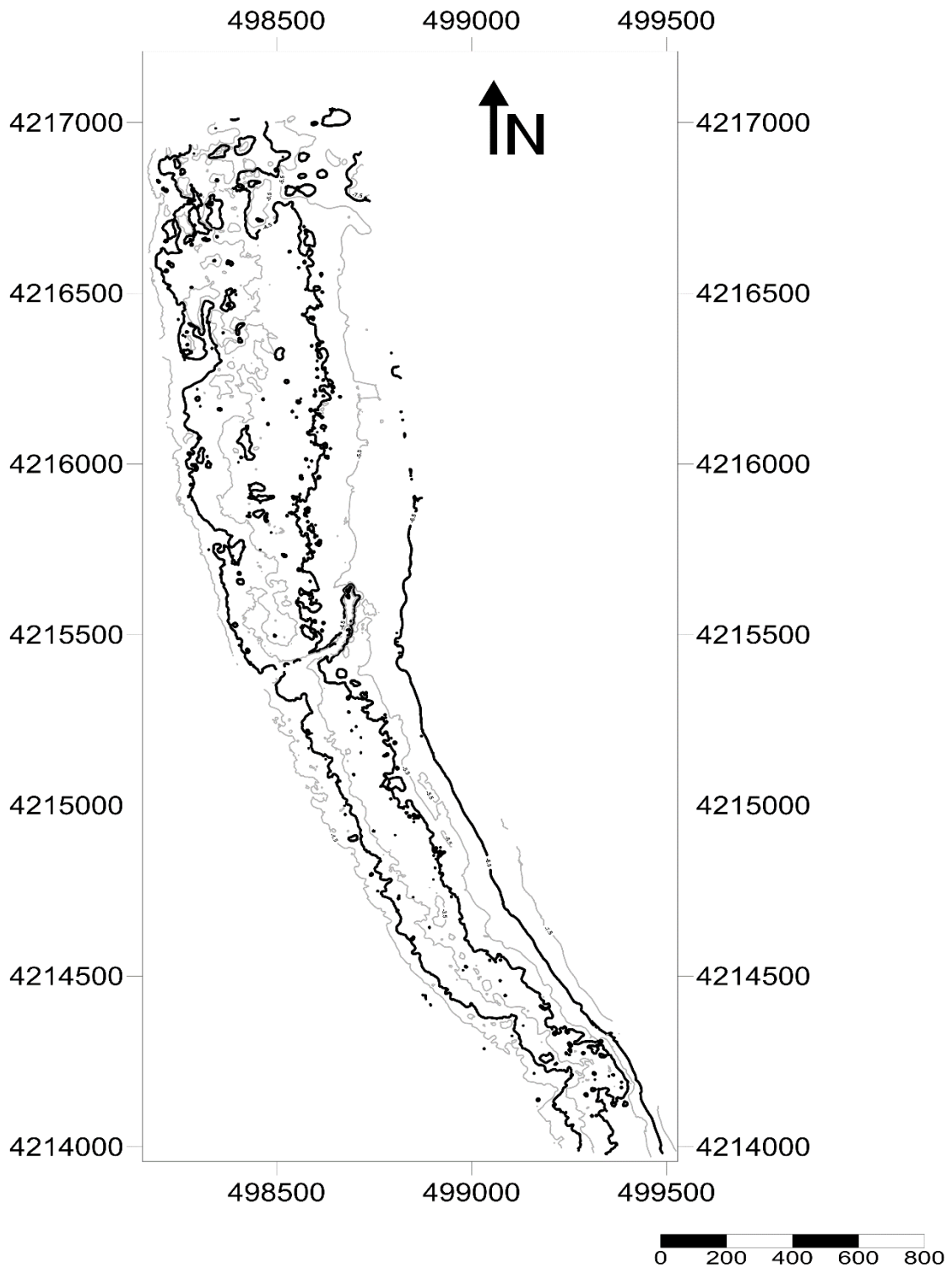
Για τον προσδιορισμό του βάθους το βυθόμετρο σε συνδυασμό με το σύστημα προσδιορισμού στίγματος βαθμονομήθηκαν κατά την έναρξη και τερματισμό των εργασιών πεδίου. Ο ρυθμός καταγραφής σημείων βυθομετρίας ήταν 1 σημείο/sec. Τα μετρούμενα βάρη έχουν αναχθεί στο Chart Datum (MSL).



Εικόνα 5.1.3.1: Δορυφορική εικόνα με τις γραμμές πλοήγησης για την βαθυμετρική αποτύπωση της περιοχής εμπρός από την Ν. Μάκρη.

Χάρτης ισοβαθών - Νέα Μάκρη

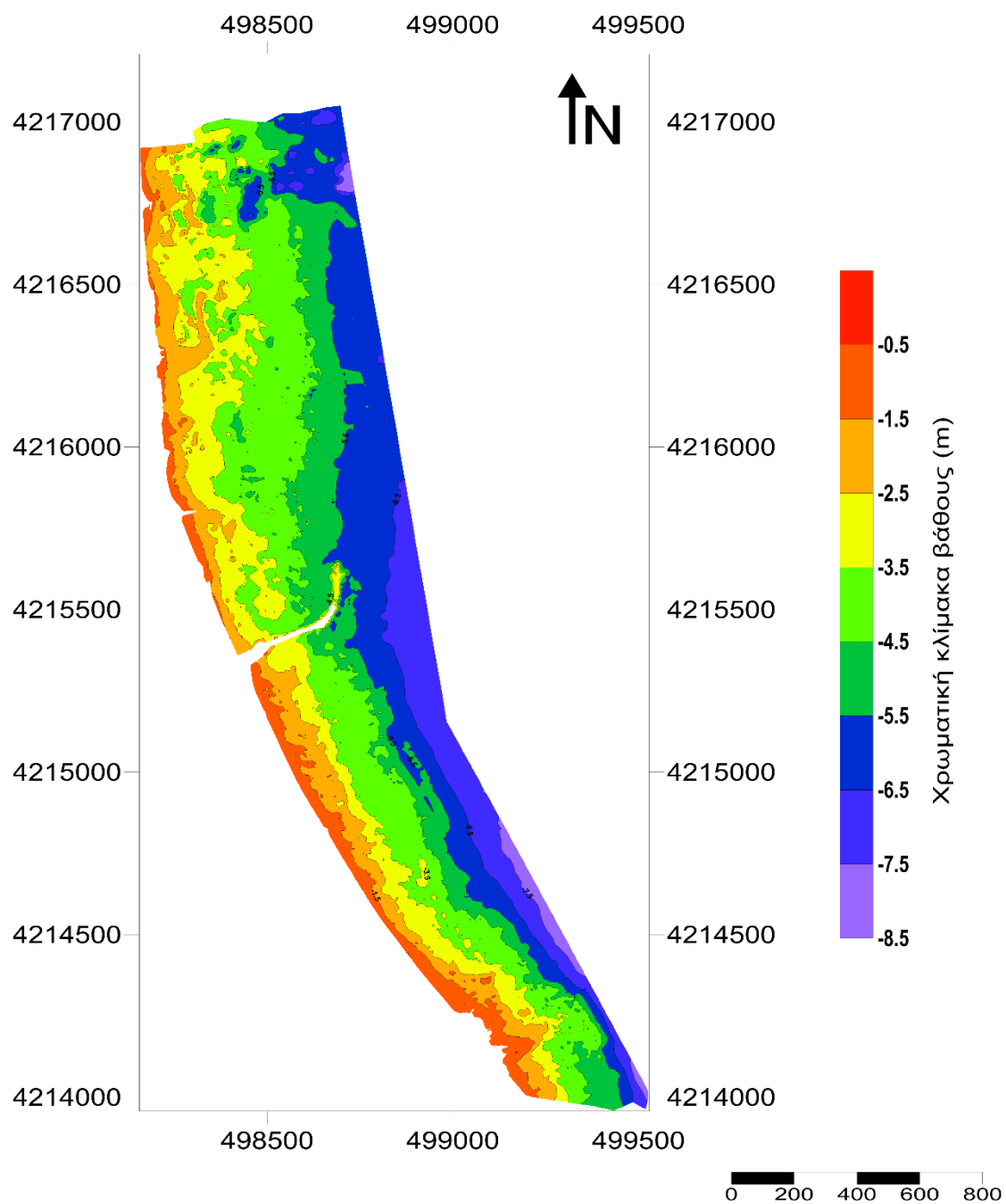
Σύστημα συντεταγμένων: ΕΓΣΑ 87'



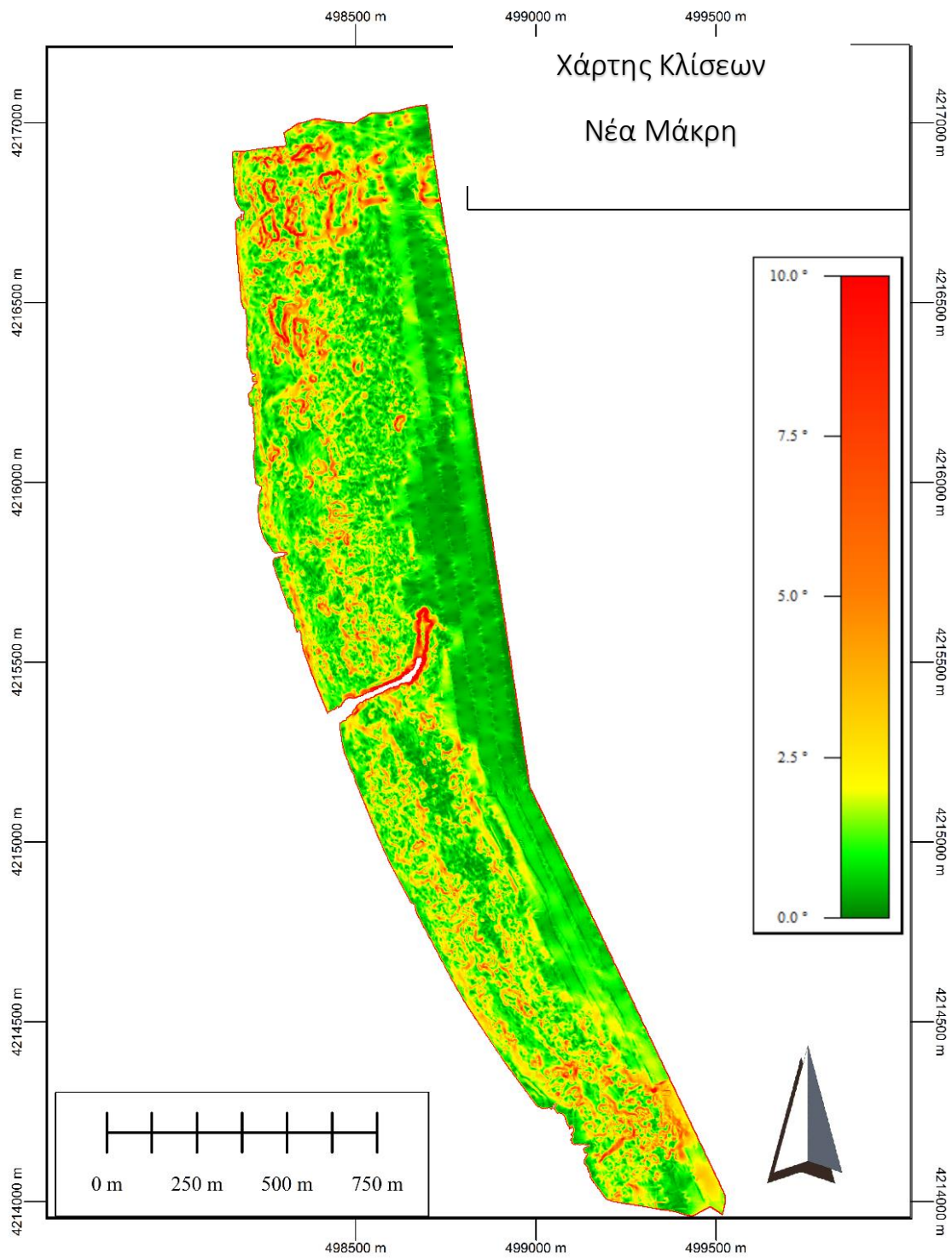
Εικόνα 5.1.3.2: Χάρτης Ισοβαθών – Νέα Μάκρη

Βαθυμετρικό χάρτης χρωματικής κλίμακας - Νέα Μάκρη

Σύστημα συντεταγμένων: ΕΓΣΑ 87'



Εικόνα 5.1.3.3: Βαθυμετρικός χάρτης χρωματικής κλίμακας – Νέα Μάκρη

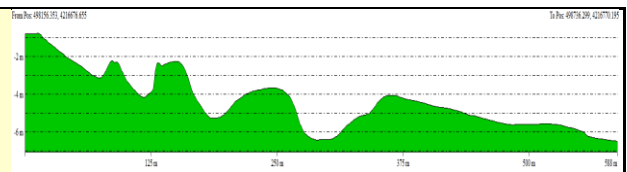
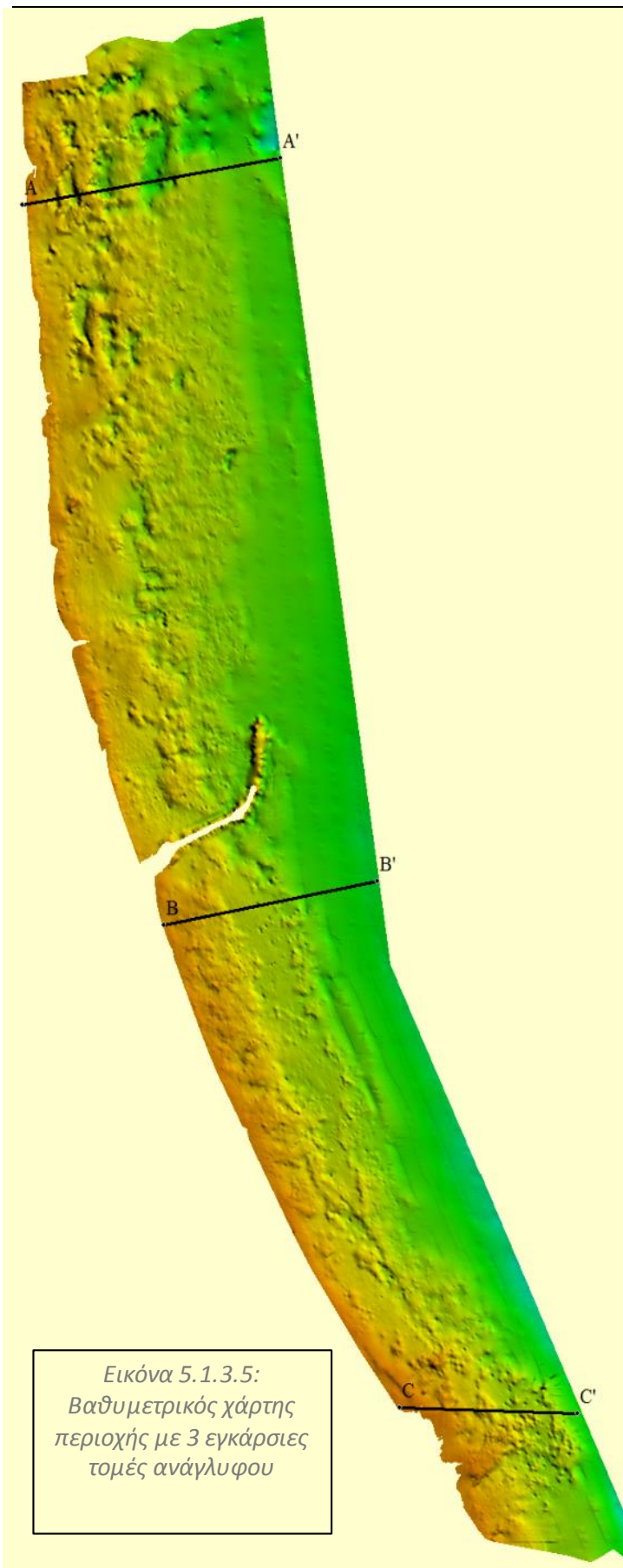


Εικόνα 5.1.3.4: Χάρτης Κλίσεων, παράκτιας ζώνης της Νέας Μάκρης.

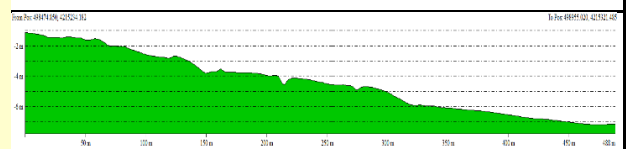
Η αξιολόγηση του του βαθυμετρικού χάρτη (Εικόνα 5.1.3.3) και χάρτη κλίσεων (Εικόνα 5.1.3.4), δείχνει ότι η μορφολογία της παράκτιας ζώνης της παραλίας της Νέας Μάκρης, έως τα 8.5 μέτρα βάθος, κυρίως για το κεντρικό τμήμα του χάρτη, μπορεί να διαχωριστεί σε δύο διαφορετικές περιοχές:

- Από το βάθος 0-5 μέτρα, ο πυθμένας εμφανίζει απότομες αλλαγές στη κλίση ($2,5^{\circ}$ - $7,5^{\circ}$), κάτι που οφείλεται στις βραχώδεις μάζες που υπάρχουν στα ρηχά (κυρίως στα νότια και στο κεντρικό τμήμα της περιοχής), αλλά και στα κοιλάματα τα οποία εμφανίζονται στο βόρειο τμήμα του χάρτη.
- Από το βάθος 5-8 μέτρα, ο πυθμένας εμφανίζει χαμηλές κλίσεις, από $0-2^{\circ}$, και ομαλή μετάβαση προς τα βαθύτερα σημεία.

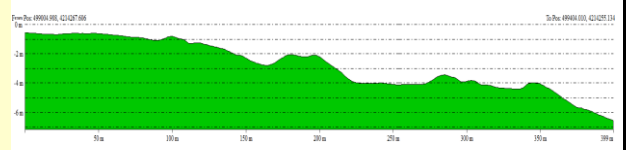
Στην Εικόνα 5.1.3.5, απεικονίζονται τρεις εγκάρσιες τομές, που δημιουργήθηκαν, με σκοπό την ανάδειξη της μορφολογίας του πυθμένα. Στην τομή A-A' (Εικόνα 5.1.3.6), εμφανίζονται χαρακτηριστικές βυθίσεις στο τοπογραφικό ανάγλυφο του πυθμένα, πιθανόν λόγω κάποιας τοπικής αμμοληψίας, στην τομή B-B' παρατηρείται ομαλή μετάβαση από τα ρηχά βάθη έως τα βαθιά, ενώ στην τομή C-C', παρατηρούνται μικρά υβώματα τα οποία οφείλονται σε βραχώδεις μάζες που εμφανίζονται στο νότιο τμήμα του χάρτη.



Εικόνα 5.1.3.6: Εγκάρσια τομή A-A'



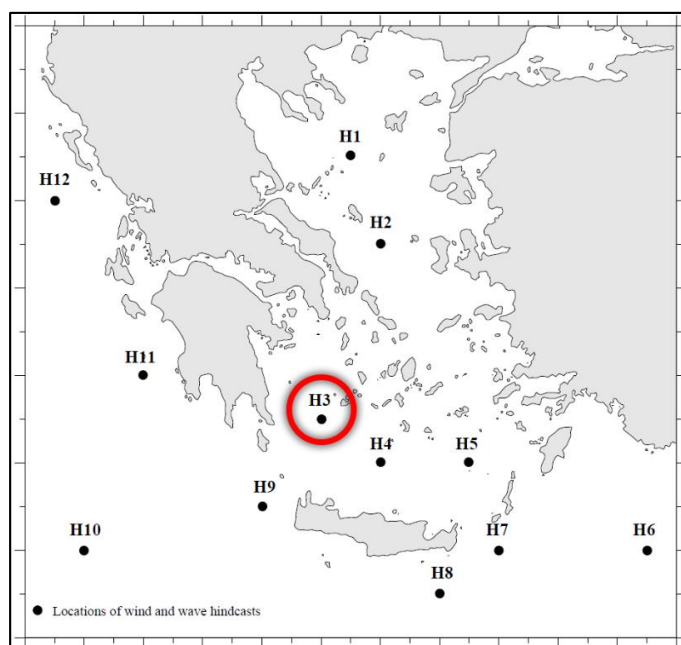
Εικόνα 5.1.3.7: Εγκάρσια τομή B-B'



Εικόνα 5.1.3.8: Εγκάρσια τομή C-C'

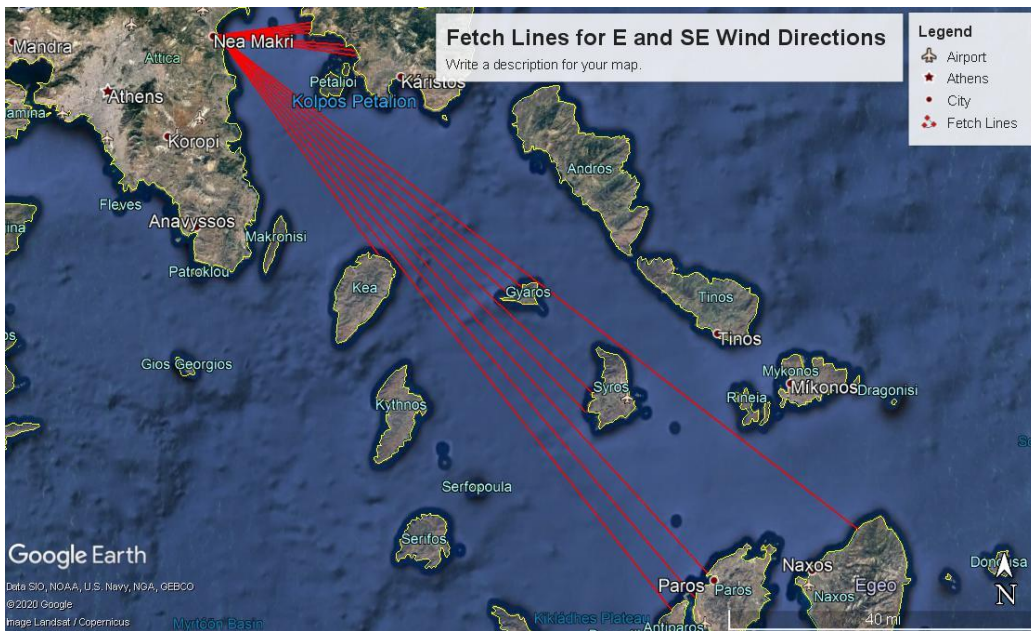
5.2 Κυματικό καθεστώς

Για την εύρεση των ανεμολογικών και κυματικών δεδομένων, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα από τον Άτλαντα Ανέμου και Ύδατος του ΕΛΚΕΘΕ (Soukissian et al., 2007). Ως κομβικά σημεία από τα οποία υπολογίστηκαν τα δεδομένα, πάρθηκαν: το σημείο H3 (Εικόνα 5.2.1), το οποίο βρίσκεται νότια της περιοχής μελέτης, στο σημείο 36.55°N , 24.00°E για την παραλία της Νέας Μάκρης. Το σημείο θεωρείται αντιπροσωπευτικό για την παρούσα μελέτη, καθώς οι ανεμολογικές και κυματικές συνθήκες τους προσομοιάζουν αυτών της περιοχής μελέτης. Σημειώνεται ότι το σημείο H3 αφορά σε αποτελέσματα κυματικού μοντέλου για την περίοδο 1995-2004.



Εικόνα 5.2.1: Χάρτης με το κομβικό σημείο προσομοιώσεων για το οποίο παρουσιάζονται αναλυτικά στατιστικά αποτελέσματα (κόκκινος κύκλος) για την παραλία Αγ. Ιωάννης

Η δράση του κυματισμού σε κάποια παράκτια περιοχή εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από το μέγιστο μήκος ανεμπόδιστης ανάπτυξης του κυματισμού που προσπίπτει στην περιοχή μελέτης (fetch), δηλαδή από την απόσταση που μπορεί να διανύσει ένα κύμα που φτάνει στην περιοχή μελέτης χωρίς να συναντήσει ξηρά από το εν δυνάμει σημείο δημιουργίας του έως την περιοχή μελέτης. Η παραλία της Νέας Μάκρης επηρεάζεται από κύματα προερχόμενα από ΝΑ και Α κατεύθυνση (Εικόνα), καθώς η παραλία προστατεύεται από τους άλλους κυματισμούς λόγω του προσανατολισμού της.



Εικόνα 5.2.2: Οπτικοποίηση των μέγιστων μηκών ανάπτυξη ανεμογενών κυμάτων (fetches) στην περιοχή μελέτης.

Από την ανάλυση των ανεμολογικών στοιχείων και την ομαδοποίηση αυτών (Πίνακας 5.2.1), προκύπτει ότι στην ευρύτερη περιοχή επικρατούν κυρίως οι Βόρειοι και Νοτιοδυτικοί άνεμοι, με ετήσια συχνότητα 27.6% και 25.3% αντίστοιχα, ενώ σε μικρότερο ποσοστό συμμετέχουν οι Δυτικοί (11.9%) και Βορειοδυτικοί (13%) άνεμοι. Η συνηθέστερα εμφανιζόμενη ταχύτητα ανέμου που επιδρά στην περιοχή, ανεξαρτήτου διεύθυνσης, είναι 3-4 m/s, με ποσοστό 12.9%, ενώ το 80% των ανέμων που επιδρούν στην περιοχή είναι ταχύτητας κάτω των 10 m/s. Οι μέγιστες τιμές ταχύτητας ανέμου που έχουν παρατηρηθεί είναι 16-18 m/s, οι οποίες όμως εμφανίζονται με ποσοστό 0.3%.

Πίνακας 5.2.1: Συνοπτικός πίνακας συχνότητας εμφάνισης ταχύτητας/διεύθυνσης ανέμου για το σημείο H3

| Θwind (deg) | | Uw (m/s) | | | | | | | | | | | | | | total | % | |
|-------------|----|----------|-----|------|------|------|------|-----|-----|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| | | 0-1 | 1-2 | 2-3 | 3-4 | 4-5 | 5-6 | 6-7 | 7-8 | 8-9 | 9-10 | 10-12 | 12-14 | 14-16 | 16-18 | | | >18 |
| 345-15 | B | 1 | 8 | 14 | 22 | 24 | 25 | 30 | 28 | 27 | 23 | 41 | 21 | 9 | 3 | 0 | 276 | 27.6 |
| 30-60 | BA | 1 | 6 | 8 | 8 | 9 | 8 | 7 | 7 | 5 | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 65 | 6.5 |
| 75-105 | A | 2 | 4 | 3 | 5 | 3 | 3 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 24 | 2.4 |
| 120-150 | NA | 1 | 5 | 6 | 6 | 6 | 7 | 5 | 4 | 3 | 3 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 50 | 5.0 |
| 165-195 | N | 0 | 6 | 11 | 13 | 15 | 13 | 9 | 7 | 4 | 2 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 84 | 8.4 |
| 210-240 | NΔ | 1 | 12 | 24 | 25 | 24 | 24 | 27 | 28 | 24 | 22 | 28 | 11 | 3 | 0 | 0 | 253 | 25.3 |
| 255-285 | Δ | 3 | 17 | 27 | 21 | 11 | 8 | 7 | 7 | 7 | 5 | 5 | 1 | 0 | 0 | 0 | 119 | 11.9 |
| 300-330 | ΒΔ | 3 | 13 | 24 | 29 | 25 | 16 | 11 | 6 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 130 | 13.0 |
| total | | 12 | 71 | 117 | 129 | 117 | 104 | 99 | 88 | 72 | 59 | 82 | 36 | 12 | 3 | 0 | 1001 | 100 |
| % | | 1.2 | 7.1 | 11.7 | 12.9 | 11.7 | 10.4 | 9.9 | 8.8 | 7.2 | 5.9 | 8.2 | 3.6 | 1.2 | 0.3 | 0.0 | 100 | |

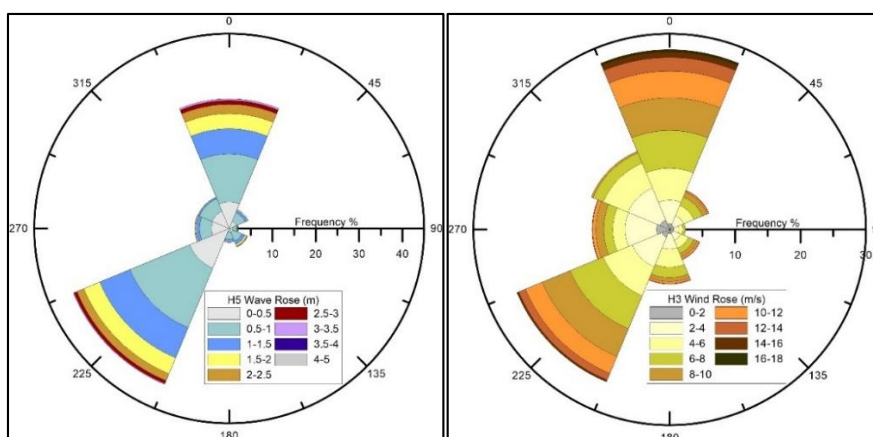
Ο Πίνακας παρουσιάζει τις συχνότητες για κάθε διεύθυνση και ύψος κύματος, όπως εξήχθησαν από το σημείο H3, για την ευρύτερη περιοχή μελέτης της Νέας Μάκρης. Τα κύματα που επιδρούν στην ευρύτερη περιοχή είναι ανάλογα των αντίστοιχων πνεόντων ανέμων. Έτσι, τα συχνότερα κύματα που επιδρούν στην ευρύτερη περιοχή είναι Β και ΝΔ διεύθυνσης, με συχνότητες 30,3% και 39,1% αντίστοιχα. Τα συνηθέστερα ύψη κύματος που επιδρούν, ανεξάρτητα της κατεύθυνσής

τους είναι 0,5-0,75 m, με συχνότητα 25%, ενώ τα μέγιστα κύματα έχουν ύψος 4-5 μέτρα, αλλά με πολύ μικρή ετήσια συχνότητα (0,1%).

Πίνακας 5.2.2: Πίνακας συχνότητας εμφάνισης ύψους κύματος/διεύθυνσης κύματος για το κομβικό σημείο H3

| Θwave (deg) | | Hs (m) | | | | | | | | | | | | | | total | % | |
|-------------|----|--------|----------|----------|--------|--------|----------|----------|--------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-------|-----|-------|
| | | 0-0.25 | 0.25-0.5 | 0.5-0.75 | 0.75-1 | 1-1.25 | 1.25-1.5 | 1.5-1.75 | 1.75-2 | 2-2.5 | 2.5-3 | 3-3.5 | 3.5-4 | 4-5 | 5-6 | | | 6-7.5 |
| 345-15 | B | 12 | 48 | 69 | 40 | 33 | 24 | 19 | 15 | 21 | 9 | 4 | 2 | 1 | 0 | 0 | 297 | 30.3 |
| 30-60 | BA | 4 | 13 | 15 | 7 | 4 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 47 | 4.8 |
| 75-105 | A | 2 | 6 | 5 | 4 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 21 | 2.1 |
| 120-15 | NA | 1 | 8 | 15 | 7 | 5 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 45 | 4.6 |
| 165-19 | N | 1 | 7 | 10 | 6 | 3 | 3 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 32 | 3.3 |
| 210-24 | NA | 12 | 85 | 89 | 57 | 42 | 32 | 25 | 14 | 17 | 7 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 383 | 39.1 |
| 255-28 | Δ | 9 | 31 | 18 | 9 | 5 | 3 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 78 | 8.0 |
| 300-33 | BΔ | 6 | 36 | 24 | 7 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 77 | 7.9 |
| total | | 141 | 702 | 735 | 411 | 285 | 207 | 159 | 96 | 123 | 51 | 18 | 9 | 3 | 0 | 0 | 980 | 100 |
| % | | 4.8 | 23.9 | 25.0 | 14.0 | 9.7 | 7.0 | 5.4 | 3.3 | 4.2 | 1.7 | 0.6 | 0.3 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 100 | |

Στην Εικόνα 5.2.3 παρουσιάζονται σχηματικά το ροδόγραμμα συχνοτήτων και κατευθύνσεων κυμάτων (αριστερά) και ανέμων (δεξιά) που δρουν στην ευρύτερη περιοχή.



Εικόνα 5.2.3: ροδόγραμμα κυμάτων (αριστερά) και ανέμου (δεξιά) για την περιοχή του Αγίου Ιωάννη

Τα συγκεντρωτικά χαρακτηριστικά του κυματικού καθεστώτος φαίνονται στον Πίνακα 5.2.2. Σύμφωνα με την ανάλυση:

- Η παραλία της Νέας Μάκρης δέχεται κυματισμό προερχόμενο από Ανατολικούς ανέμους σε ποσοστό 2,12%, από ανέμους Νοτίους-Ανατολικούς σε ποσοστό 4,99% επί του συνόλου.
- Τα μήκη αναπτύγματος του κυματισμού (fetch) στην περιοχή είναι για A κύματα 21,280 km, για NA κύματα 116,976 km.
- Τα συχνότερα κύματα που επιδρούν στην περιοχή, συχνότητας 0,69%, οφείλονται σε NA άνεμο ταχύτητας 5,77 m/s, ο οποίος δημιουργεί κύματα με ύψος 0,82 m και περίοδο 4,55 s.
- Τα μέγιστα κύματα που επιδρούν στην περιοχή, συχνότητας 0,09%, οφείλονται σε NA ανέμους ταχύτητας περίοδο 7.05 s. 16,65 m/s, οι οποίοι δημιουργούν κύματα με ύψος 2,9 m.

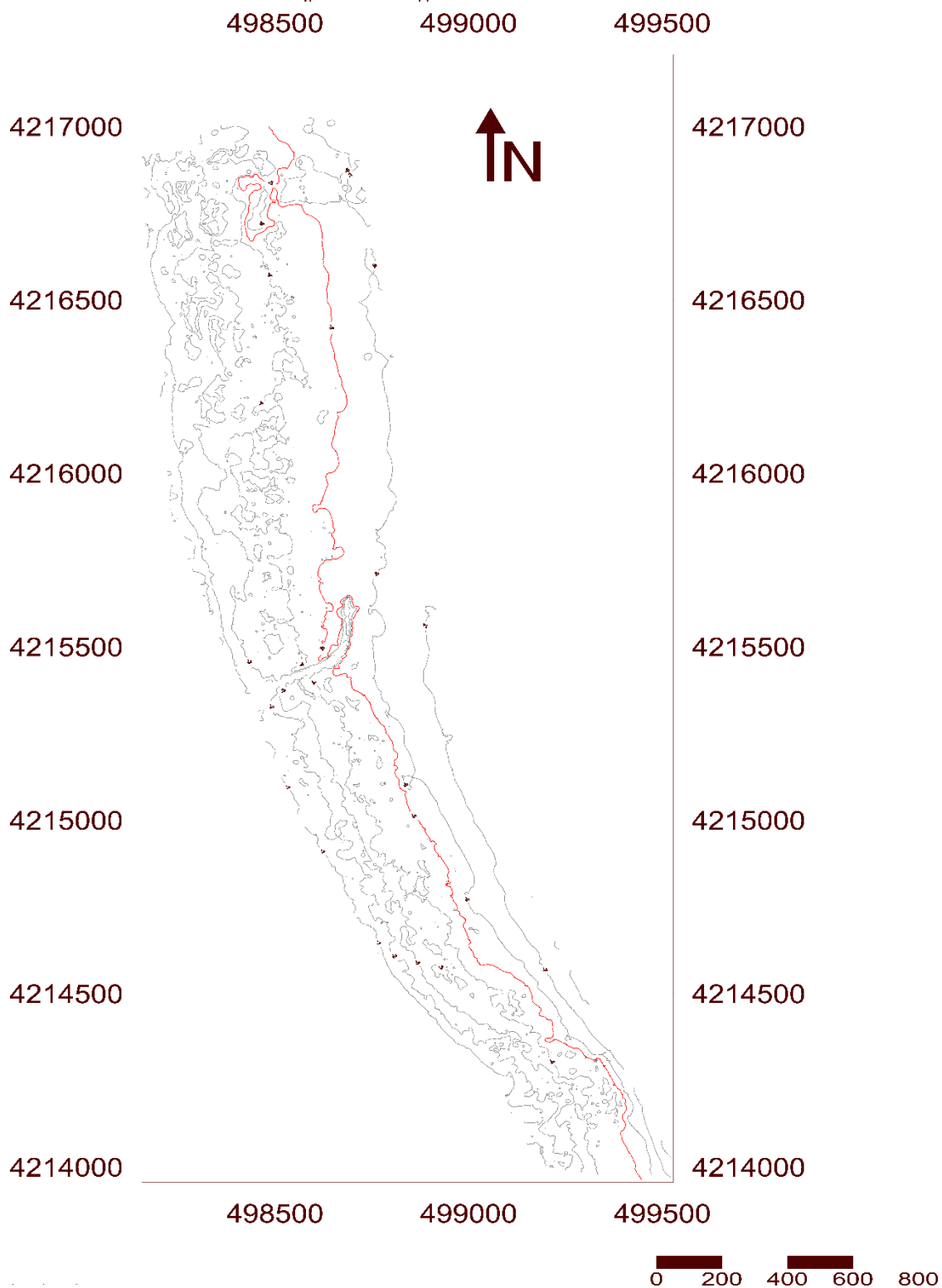
- Συμπερασματικά, το κυματικό καθεστώς της παραλίας της Νέας Μάκρης έχει αρκετά μικρές τιμές ύψους και περιόδου κύματος, καθώς είναι αρκετά προφυλαγμένη στον κόλπο που βρίσκεται. Ακόμα και στην ανατολική πλευρά προστατεύεται έμμεσα από την Νότια Εύβοια, ενώ στην ανοιχτή πλευρά της προς τα νότιο-ανατολικά είναι το πιο ευάλωτο σημείο, κάτι που αποδεικνύουν και τα ανεμολογικά και κυματικά δεδομένα, αφού η μέγιστη περίοδος κύματος παρατηρείται στην ΝΑ διεύθυνση ανέμου. Γενικά το ανάπτυσμα των κυμάτων είναι αρκετά μικρό και δεν δίνει μεγάλα κύματα. Τα κύματα από περίθλαση συνήθως δεν φτάνουν στην προς μελέτη παραλία, καθώς η γωνία της περίθλασης δεν επιτρέπει την πρόσπτωσή τους στην παραλία της Νέας Μάκρης.

Πίνακας 5.2.3: Κυματικό καθεστώς περιοχής μελέτης. Στα πορτοκαλί κελιά παρουσιάζονται οι πιο συχνές συνθήκες, ενώ στο κόκκινο κελί τον άνεμο με το μέγιστη περίοδο κύματος της περιοχής. Τα λευκά κελιά αφορούν τους αντίστοιχους σταθμικούς μέσους.

| Διεύθυνση Ανέμου | Ταχύτητα Ανέμου U (m/sec) | Συντελεστής Τάσης Ανέμου Ua m/sec | Ετήσια Συχνότητα freq % | Περίοδος Κύματος Ts(sec) | Ύψος Κύματος HS(m) |
|---|---------------------------|-----------------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------|
| ANEMOS - NA (120°-150°) Συχνότητα: 4.99% fetch (km) : 116,976 | 0.5 | 0.302685387 | 0.0999001 | 0.238667 | 0.002274 |
| | 1.5 | 1.169097138 | 0.4995005 | 0.921833 | 0.033924 |
| | 2.5 | 2.191414644 | 0.5994006 | 1.72793 | 0.119193 |
| | 3.5 | 3.314835973 | 0.5994006 | 2.613748 | 0.272726 |
| | 4.5 | 4.515540488 | 0.5994006 | 3.560504 | 0.506082 |
| | 5.5 | 5.779688824 | 0.6993007 | 4.557285 | 0.829107 |
| | 6.5 | 7.098094506 | 0.4995005 | 5.32253 | 1.241028 |
| | 7.5 | 8.46415685 | 0.3996004 | 5.640842 | 1.47987 |
| | 8.5 | 9.872874747 | 0.2997003 | 5.934822 | 1.72617 |
| | 9.5 | 11.32031165 | 0.2997003 | 6.208899 | 1.979239 |
| | 11 | 13.5572421 | 0.2997003 | 6.589582 | 2.370343 |
| | 13 | 16.64978662 | 0.0999001 | 7.051901 | 2.911042 |
| | Άθροισμα | 4.995005 | | | |
| Σταθμικός Μέσος | 5.93969823 | | | | 1.038495 |
| Διεύθυνση Ανέμου | Ταχύτητα Ανέμου U (m/sec) | Συντελεστής Τάσης Ανέμου Ua m/sec | Ετήσια Συχνότητα freq % | Περίοδος Κύματος Ts(sec) | Ύψος Κύματος HS(m) |
| ANEMOS - A (75°-105°) Συχνότητα: 2,19% fetch (km) : 21,280 | 1.5 | 1.169097138 | 0.3996004 | 0.921833 | 0.033924 |
| | 2.5 | 2.191414644 | 0.2997003 | 1.72793 | 0.119193 |
| | 3.5 | 3.314835973 | 0.4995005 | 2.359164 | 0.2472 |
| | 4.5 | 4.515540488 | 0.2997003 | 2.612521 | 0.336741 |
| | 5.5 | 5.779688824 | 0.2997003 | 2.834223 | 0.431013 |
| | 6.5 | 7.098094506 | 0.2997003 | 3.03307 | 0.529331 |
| | 7.5 | 8.46415685 | 0.0999001 | 3.214461 | 0.631204 |
| Άθροισμα | 2.1978022 | | | | |
| Σταθμικός Μέσος | 4.021315484 | | | | 0.299884 |

Χάρτης ισοβαθών - Νέα Μάκρη

Σύστημα συντεταγμένων: ΕΓΣΑ 87'



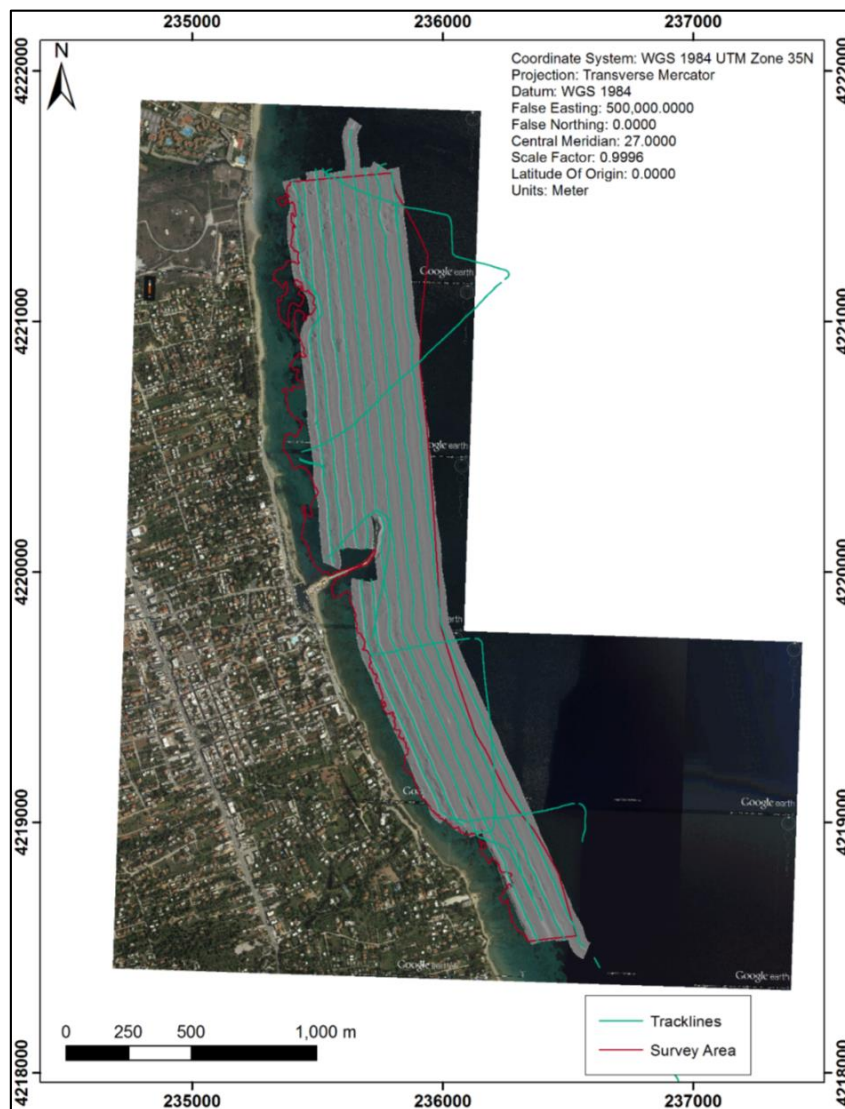
Εικόνα 5.2.4: Βαθυμετρικός χάρτης της περιοχής μελέτης, με κόκκινη γραμμή απεικονίζεται το μέγιστο βάθος μετακίνησης ιζημάτων του πυθμένα (closure depth)

5.3 Αποτελέσματα Ηχοβολιστή Πλευρικής Σάρωσης

Για τον προσδιορισμό της σύστασης του πυθμένα πραγματοποιήθηκαν απεικονίσεις με Ηχοβολιστικό Πλευρικής Σάρωσης (Sidescan Sonar) Starfish 450F, του οποίου ο πομποδέκτης συρόταν δίπλα στο πλοίο, σε βάθος 0,5–1 μ. Το Ηχοβολιστικό συνδέθηκε με το λογισμικό καταγραφής και το σύστημα GPS, ενώ η θέση του πομποδέκτη του ηχοβολιστικού μετρήθηκε με ακρίβεια σε σχέση με την κεφαλή του GPS ώστε το στίγμα της καταγραφής να είναι ακριβές.

Η ακτίνα καταγραφής του ηχοβολιστικού, ανάλογα με το βάθος του νερού, εκτεινόταν από 50 έως 120 μέτρα, συμπεριλαμβανομένου του βάθους της στήλης του νερού, οπότε η ακτίνα σάρωσης κυμαινόταν από 40 έως 100 μέτρα, ενώ η πλειονότητα των σαρώσεων είχε εύρος από 50 έως 60 μέτρα.

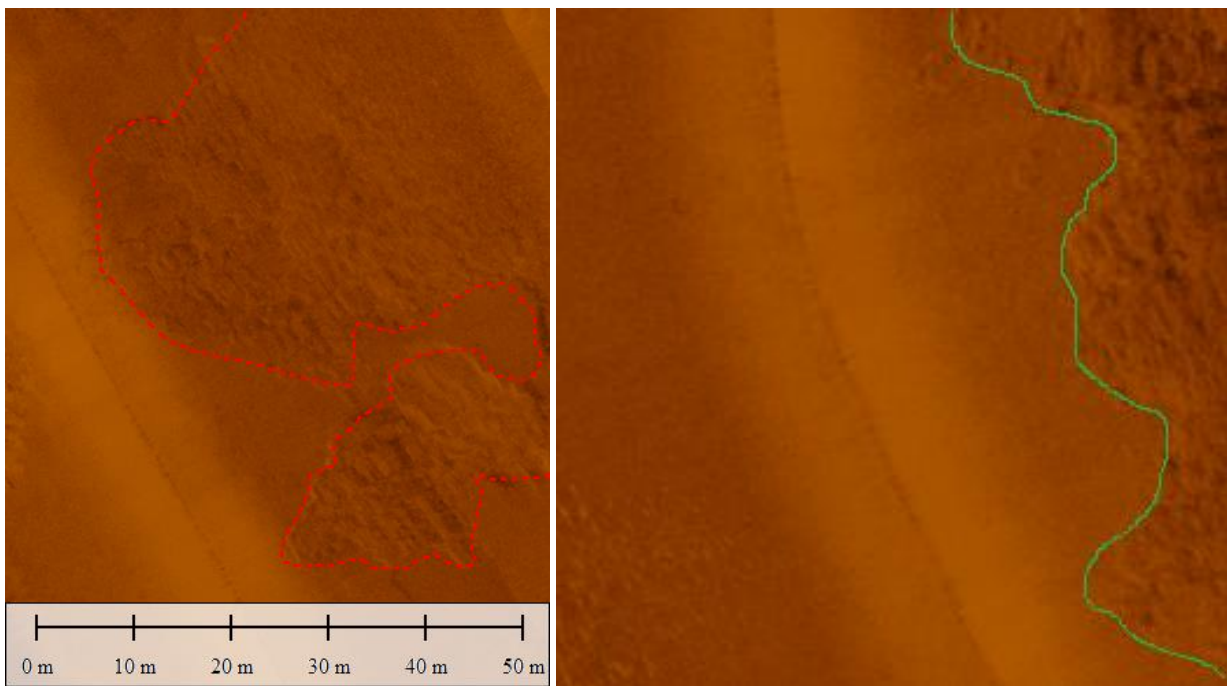
Κατ' αυτό τον τρόπο, το συνολικό μήκος γραμμών ήταν περίπου 24 km (24.05 km)μπροστά από τη Νέα Μάκρη. Η συνολική περιοχή που σαρώθηκε ήταν 1,247km².



Εικόνα 5.3.1: Χάρτης της περιοχής μπροστά από τη Νέα Μάκρη, στον οποίο παρουσιάζονται τα όρια της περιοχής μελέτης, οι οδεύσεις καταγραφής του σκάφους και οι ηχογραφίες του ηχοβολιστή πλευρικής σάρωσης

Στη συνέχεια, τα δεδομένα επεξεργάστηκαν στο λογισμικό Sonarwiz, ώστε να παραχθεί ένα ευκρινές μωσαϊκό του πυθμένα (Εικόνα 5.3.1) και σε επόμενη φάση να γίνει κατηγοριοποίησή του ανάλογα με τη φύση των χαρακτηριστικών που εμφανίζονται πάνω σε αυτόν. Στην τελική φάση, τα επεξεργασμένα δεδομένα θα εισαχθούν σε λογισμικό Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, όπου θα γίνει περαιτέρω επεξεργασία για την ομαδοποίηση αυτών των χαρακτηριστικών και την παραγωγή των τελικών χαρτών χαρακτηριστικών του πυθμένα, για το σύνολο της περιοχής μελέτης.

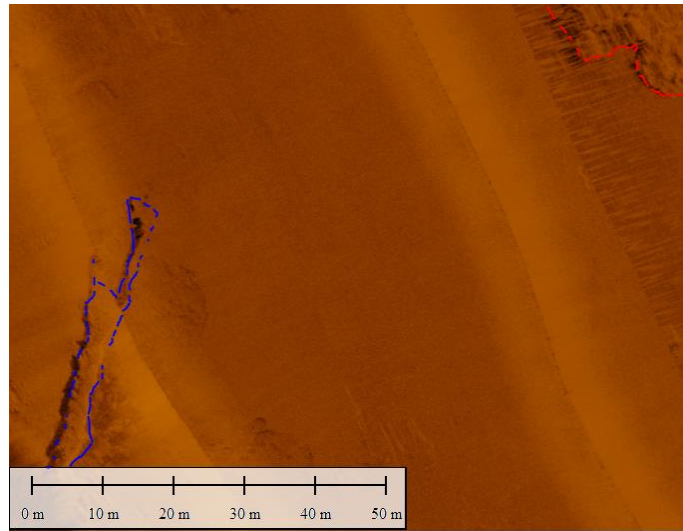
Η λεπτομερής επεξεργασία διαμερισμένων εικόνων των ηχογραφιών αποκαλύπτει την σχεδόν εξολοκλήρου ομοιόμορφη επικάλυψη του πυθμένα με λιβάδια Ποσειδωνίας, πάνω σε στρώμα στρώματα ιζημάτων άμμου (όπως επαληθεύεται με την μέθοδο έμπηξης ράβδου στην συνέχεια της παρουσίασης των αποτελεσμάτων).



Εικόνα 5.3.2 (αριστερά): Όριο (με κόκκινη γραμμή) λιβαδιού Ποσειδωνίας σε αμμώδες περιβάλλον

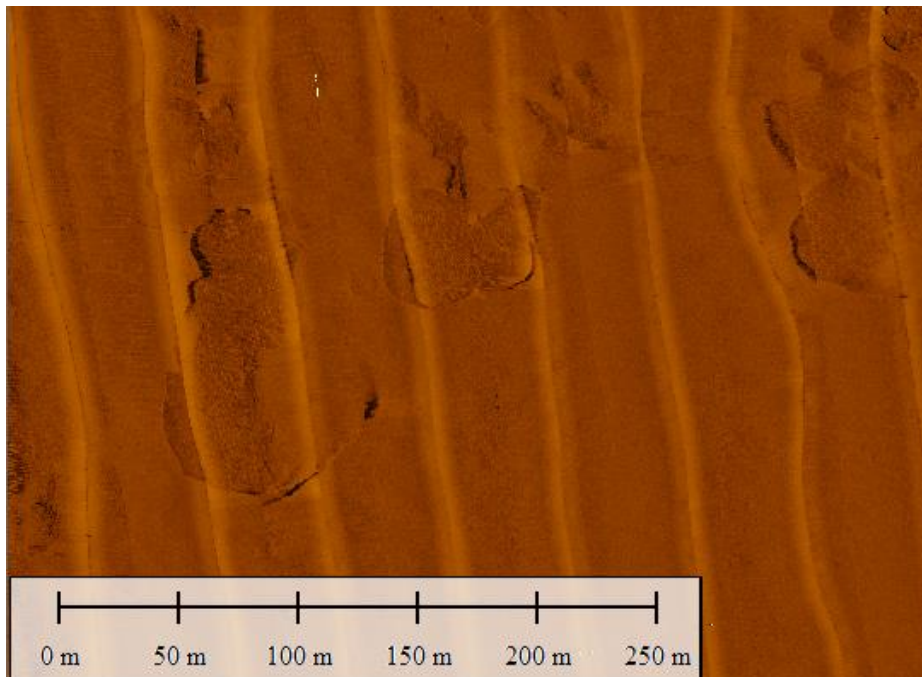
Εικόνα 5.3.3 (δεξιά): Όριο (με πράσινη γραμμή) λιβαδιού Ποσειδωνίας σε αμμώδες περιβάλλον

Οι βραχώδεις εξάρσεις (beachrock outcrops) καταλαμβάνουν πολύ μικρή έκταση και περιορίζονται, ως επί των πλείστων στο κεντρικό και νότιο τμήμα της παράκτιας ζώνης, σε βάθος που δεν ξεπερνάει τα 4.5 m.

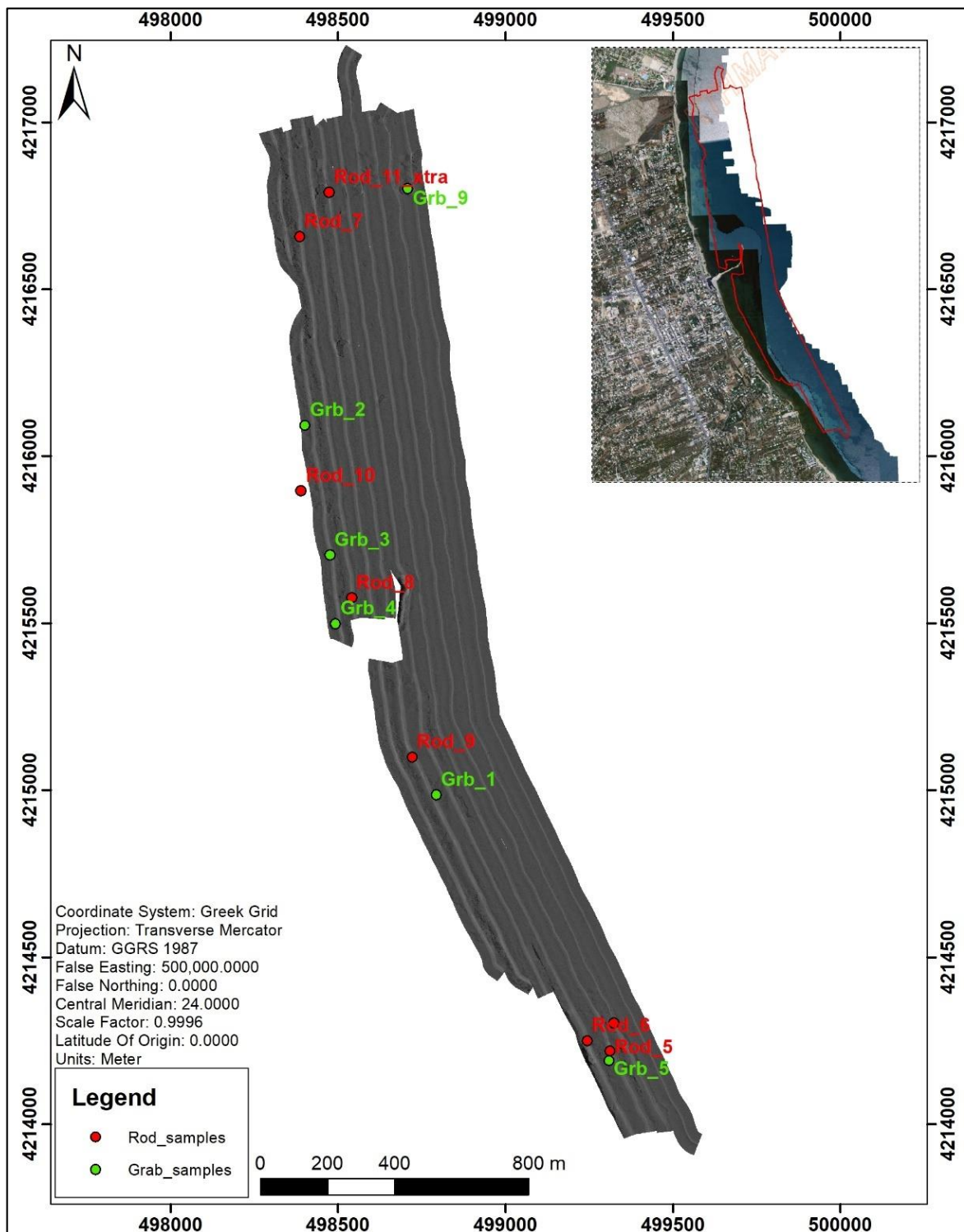


Εικόνα 5.3.4: Χαρακτηριστική εμφάνιση (με μπλε γραμμή) ακτολίθου μέσα σε αμμώδη ιζήματα και λιβαδιού Ποσειδωνίας σε αμμώδες περιβάλλοντα και όριο (με κόκκινη γραμμή) P.Oceanica και περιβάλλοντα αμμώδη ιζήματα

Τέλος, στο βόρειο τμήμα της περιοχής μελέτης παρατηρούνται κάποιες περιοχές, οι οποίες σχηματίζουν στρογγυλά κοιλώματα, εν μέσω των λιβαδιών Ποσειδωνίας. Πιθανή αιτιολογία ύπαρξης των γεωμετρικών κοιλωμάτων, είναι η εξαγωγή ιζήματος από την συγκεκριμένη περιοχή για την κάλυψη του υποθαλάσσιου καλωδίου που διέρχεται από την περιοχή μελέτης μας, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.1.8 & 5.5.1.



Εικόνα 5.3.5: Μεγέθυνση του βόρειου τμήματος της περιοχής μελέτης, βλέποντας στις ηχογραφήσεις, έντονες και γεωμετρικές υφέσεις στα λιβάδια Ποσειδωνίας, ύστερα από επεξεργασία των δεδομένων και την εφαρμογή της μεθόδου της θεωρητικής παρεμβολής μεταξύ κενών των ηχογραφιών.



Εικόνα 5.3.6: Μωσαϊκό πλευρικού ηχοβολιστή για την περιοχή Νέα Μάκρη και σημεία δειγματοληψίας ιζήματος και ράβδου διείδυσης

5.4 ΔΕΙΜΓΑΤΟΛΗΨΙΕΣ

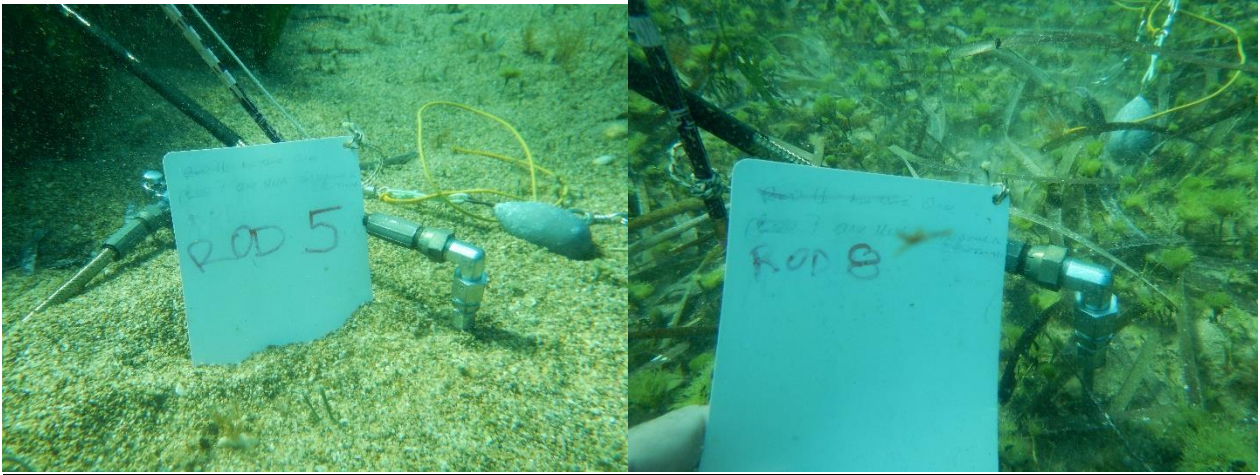
Οι δειγματοληψίες έγιναν για την επιτόπου αναγνώριση της σύστασης του πυθμένα και του πάχους ιζήματος(Εικόνα 5.4.1 & Εικόνα 5.4.2), σε περιοχές στις οποίες υπήρχαν αμφιβολίες. Ο Πίνακας 5.4.1 και ο Πίνακας 5.4.2 παρουσιάζουν τις μακροσκοπικές παρατηρήσεις για τα σημεία δειγματοληψίας ιζήματος και έμπηξης ράβδου, αντίστοιχα, όπως ακριβώς παρουσιάζονται στον χάρτη στο προηγούμενο υποκεφάλαιο(Εικόνα 5.3.6)

Πίνακας 5.4.1: Μακροσκοπική παρατήρηση επιφανειακών δειγμάτων ιζήματος (grab_samples)

| A/A δειγματος | X | Y | Μακροσκοπικές σημειώσεις |
|---------------|------------|-------------|---|
| GRB -1 | 498793.35 | 4214986.394 | - |
| GRB -2 | 498401.743 | 4216091.878 | Άμμος με διάσπαρτη Ποσειδώνια |
| GRB -3 | 498475.296 | 4215703.99 | Άμμος. Δίπλα στη θέση δειγματοληψίας υπάρχει Ποσειδώνια |
| GRB -4 | 498492.993 | 4215498.695 | Ίζημα (Αμμώδες) με Ποσειδωνία (μισή καφέ Flabellia |
| GRB -5 | 499309.27 | 4214190.544 | Ίζημα χονδρόκοκκο βιογενές (κοχύλια) και Flabellia |
| GRB -9 | 499963.639 | 4210749.4 | Ποσειδωνία (Καφέ) |

Πίνακας 5.4.2: Βάθος διείδυσης ράβδου και μακροσκοπική παρατήρηση επιφανειακού ιζήματος (rod_samples)

| A/A Ράβδου | X | Y | Βάθος διείδυσης (μ) | Μακροσκοπικές σημειώσεις |
|------------|------------|-------------|---------------------|--|
| ROD-5 | 499313.221 | 4214219.259 | >2 | Ίζημα |
| ROD-6 | 499244.926 | 4214249.53 | 0,6 | Ίζημα |
| ROD-7 | 498386.233 | 4216656.871 | >2 | Ποσειδωνία (πράσινη) σε ίζημα |
| ROD-8 | 498540.973 | 4215575.736 | >2 | Ίζημα (λάσπη) με Flabellia |
| ROD-9 | 498721.966 | 4215098.711 | 1,2 | Ίζημα με λίγη νεκρή Ποσειδωνία πάνω σε πλάκα |
| ROD-10 | 498389.375 | 4215896.676 | >2 | Ίζημα με Flabellia |
| ROD-11 | 498473.761 | 4216789.889 | >2 | Ποσειδωνία (καφέ) πάνω σε ίζημα |



Εικόνα 5.4.1(αριστερά): Φωτογραφία κατά την διαδικασία έμψηξης ράβδου στη θέση 5

Εικόνα 5.4.2(δεξιά): Φωτογραφία κατά την διαδικασία έμψηξης ράβδου στη θέση 8



Εικόνα 5.4.3(αριστερά): Φωτογραφία δείγματος που συλλέχθηκε από τη θέση 9

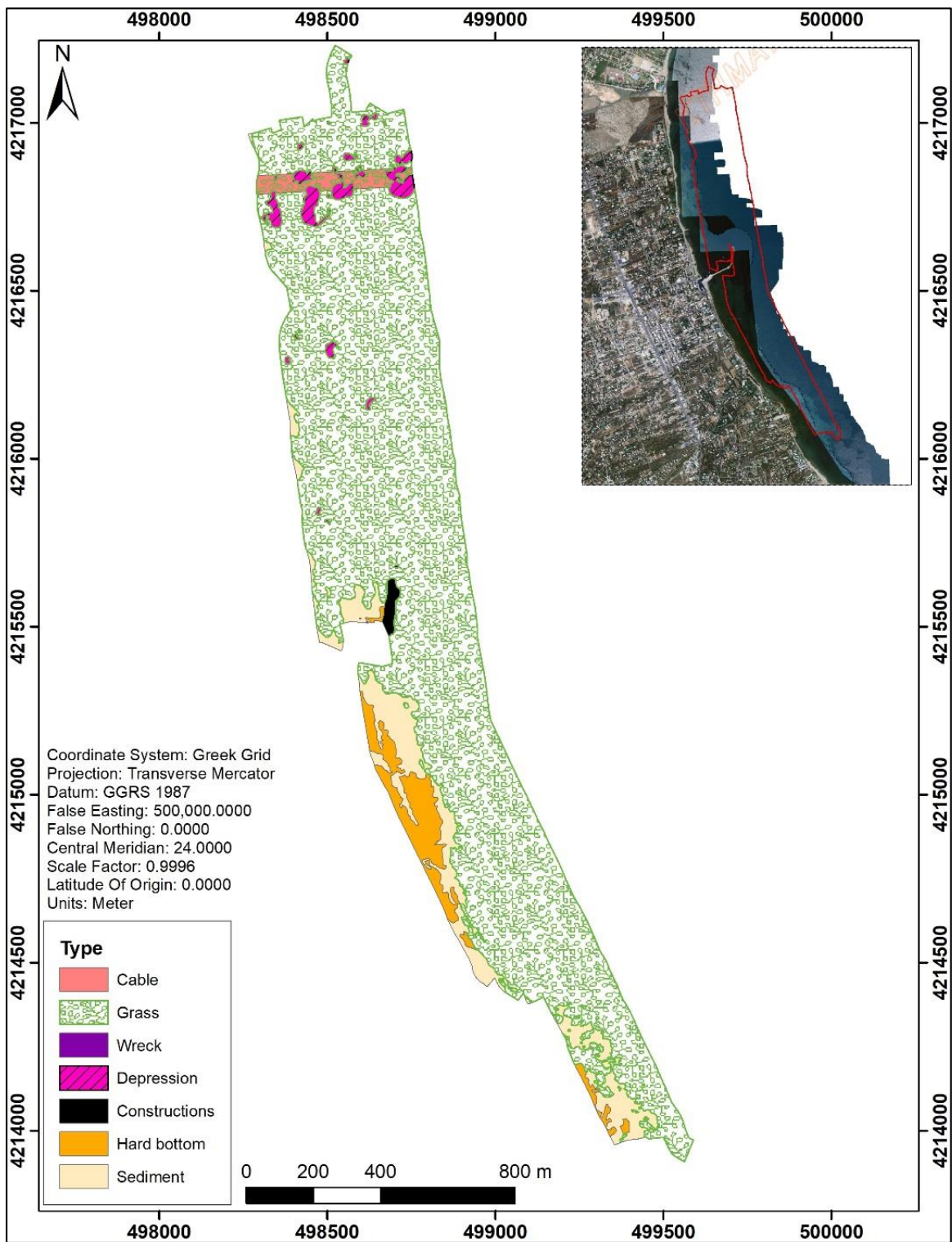
Εικόνα 5.4.4(δεξιά): Φωτογραφία από την διαδικασία αρπαγής ιζήματος(τύπου Van Veen) από τον πυθμένα

5.5 Μωσαϊκό Κατηγοριοποίησης Πυθμένα

Το τελικό μωσαϊκό που δημιουργήθηκε επεξεργάστηκε περαιτέρω σε λογισμικό Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, όπου σε συνδυασμό με δορυφορικές εικόνες υψηλής ανάλυσης της περιοχής μελέτης, ο πυθμένας κατηγοριοποιήθηκε στις παρακάτω 6 κατηγορίες (Εικόνα 5.5.1):

- Ανθρωπογενείς κατασκευές (constructions)
- Σκληρό υπόστρωμα (hard bottom)
- Αμμώδης πυθμένας (sediment)
- Πυθμένας καλυμμένος με φύκη, *Posidonia Oceanica* (grass)
- Καταβυθίσεις – κοιλώματα (depressions)
- Περιοχή πόντισης καλωδίων (cables)

Τα αποτελέσματα της κατηγοριοποίησης του πυθμένα της περιοχής μελέτης φαίνονται στον παρακάτω χάρτη (Εικ. 5.5.1) για την περιοχή μελέτης - Νέα Μάκρη.



Εικόνα 5.5.1: Κατηγοριοποίηση της επιφάνειας του πυθμένα στην περιοχή Νέα Μάκρη

5.6 Συζήτηση

Η διατήρηση και η επέκταση των λιβαδιών Ποσειδωνίας είναι άμεσα συνδεδεμένη με την διατήρηση της οικολογίας των θαλασσών, τόσο μέσα στο νερό, όσο και εκτός, αφού είναι υπεύθυνη σε πολύ μεγάλο βαθμό για την μείωση της διάβρωσης των ακτών; πρώτον μειώνοντας την ενεργειακή δράση των κυμάτων και δεύτερον δημιουργώντας ένα ανθεκτικό ριζικό στρώμα (matte) στο πυθμένα της θάλασσας όπως και στο παραλιακό μέτωπο από τα πολυάριθμα φύλλα τα οποία αποτίθενται στην ακτή όταν νεκρώσουν, δημιουργώντας έτσι ένα σταθερό στρώμα που αντιστέκεται στην διάβρωση των ακτών.

Η ραγδαία αστικοποίηση των ακτών και η ανεξέλεγκτες αλιευτικές και τουριστικές δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα στα παράλια της μεσογείου, δημιουργούν ένα αφιλόξενο περιβάλλον για την επιβίωση, διατήρηση και ανάπτυξη των λιβαδιών, με αποτέλεσμα να παρατηρείται σημαντική μείωση της τάξης των 34%, περίπου 3.8 εκατομμύρια τετραγωνικά μέτρα τα τελευταία 50 χρόνια (Telesca et al., 2015).. Για την αντιμετώπιση και τη αποφυγή της μείωσης των λιβαδιών Ποσειδωνίας απαιτείται διαχρονική επίβλεψη, χαρτογράφηση των περιοχών, δημιουργία υποδομών αγκυροβόλησης και την θέσπιση προστατευτικών μέτρων με σκοπό την διαίωνη του είδους.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία συντάχτηκε με στόχο την χαρτογράφηση των λιβαδιών Ποσειδωνίας στην παραλιακή ζώνη της Νέας Μάκρης, Ελλάδα. Αφορμή αποτέλεσε η μακροχρόνια διάβρωση των ακτών του κόλπου του Μαραθώνα, και πιο συγκεκριμένα επιλέχθηκε η ακτή της Νέας Μάκρης, λόγω αυξημένου ρυθμού διάβρωσης, ύστερα από μελέτη μοντέλων διάβρωσης των ακτών της περιοχής (Dimou, et al. 2010).

Για την χαρτογράφηση και την αξιολόγηση των υφιστάμενων λιβαδιών, χρησιμοποιήθηκε κυρίως η γεωφυσική μέθοδος του ισομετρικού ηχοβολιστή πλευρικής σάρωσης (Side Scan Sonar), σε συνδυασμό με τη μέθοδο του μονοδεσμικού βυθομέτρου, έμπηξης ράβδου για την κατηγοριοποίηση του πυθμένα και δειγματοληψίες ιζημάτων πυθμένα (Van Veen), αποτελώντας ευρέως διαδεδομένες μεθοδολογίες για τέτοιου είδους μελέτες, καθώς είναι οικονομικές, καλύπτουν αρκετά μεγάλες περιοχές σε μικρό χρονικό διάστημα (1.244 τετραγωνικά χιλιόμετρα σε δύο ημέρες) και είναι εύχρηστες στη μετακίνηση και τη χρήση αυτών.

Ύστερα από το στάδιο συλλογής δεδομένων, ακολούθησε η επεξεργασία αυτών, με αξιολόγηση των διαμερισμένων εικόνων των ηχογραφιών, τη δημιουργία βυθομετρικών και μορφολογικών χαρτών και τέλος, συνδυάζοντας τα αποτελέσματα όλων των μεθοδολογιών, παράχθηκε ο χάρτης κατηγοριοποίησης πυθμένα, στον οποίο αποτυπώνονται με μεγάλη ακρίβεια τα όρια των λιβαδιών Ποσειδωνίας με τις διαφορετικές κατηγορίες υφών του πυθμένα και ανθρωπογενών κατασκευών. Σε σύγκριση με τη μεθοδολογία επεξεργασίας αεροφωτογραφιών και ορθοφωτοχαρτών για τον προσδιορισμό των ορίων Ποσειδωνίας, η μεθοδολογία η οποία αναδείχθηκε στην παρούσα πτυχιακή υπερτερεί διότι η ακρίβεια των μετρήσεων είναι αρκετά υψηλή καθώς χρησιμοποιήθηκε RTK-GPS, η πιστοποίηση των αποτελεσμάτων της χαρτογράφησης γίνεται με δειγματοληψία πυθμένα, κάτι που από τις αεροφωτογραφίες και τους ορθοφωτοχάρτες δεν είναι πάντα σίγουρο ότι τα λιβάδια τα οποία χαρτογραφεί κανείς είναι Ποσειδωνίας, και τέλος, η παραπάνω μεθοδολογία

χαρτογραφεί περαιτέρω πληροφορία πέραν των ορίων Ποσειδωνίας, κάτι το οποίο μπορεί να συμβάλλει σε μεταγενέστερες μελέτες της περιοχής, όπως για παράδειγμα γεωτεχνικές μελέτες για την επέκταση του λιμένα της Νέας Μάκρης, είτε για οποιαδήποτε άλλη πιθανή εργασία εντός της περιοχής μελέτης.

Μελλοντικά, θα ήταν εύλογο, να γίνει επαναμέτρηση της περιοχής για να παρατηρηθούν τυχόν αλλαγές στην μορφολογία του πυθμένα, αφού είναι σε κρίσιμη ζώνη διάβρωσης. Τέλος, η διαχρονική χαρτογράφηση των λιβαδιών Ποσειδωνίας, στη συγκεκριμένη περιοχή μελέτης αλλά και όχι μόνο, είναι μείζονος σημασίας, για την πρόβλεψη αλλά και την επίβλεψη της επέκταση των λιβαδιών Ποσειδωνίας.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Το ποσοστό κάλυψης του πυθμένα της περιοχής μελέτης από *Posidonia Oceanica* υπολογίστηκε ύστερα από την επεξεργασία και των τεσσάρων μεθοδολογιών. Τα συνολικά τετραγωνικά χιλιόμετρα της Ποσειδωνίας είναι 1.087276 από τα 1.271 τετραγωνικά χιλιόμετρα της συνολικής περιοχής.
- Το 14.5% της συνολικής περιοχής που δεν καλύπτεται από ποσειδώνια συμπεριλαμβάνει; ανθρώπινες κατασκευές, σκληρό υπόστρωμα, αμμώδης πυθμένα, κοιλώματα και περιοχή πόντισης καλωδίου. Πέραν των περιοχών με κοιλώματα, στο βόρειο τμήμα του χάρτη, δεν παρατηρείται σε κάποια άλλη περιοχή να έχει διαταραχθεί η εξάπλωση των λιβαδιών.
- Στο βόρειο τμήμα του χάρτη, η εξάπλωση της *Posidonia Oceanica*, ξεκινάει από πολύ μικρά βάθη, 1-1.5 μ., σε αντίθεση με το νότιο τμήμα, στο οποίο ξεκινάει από 3.5-4 μ. . Το κύριο αίτιο της παραπάνω διαφοράς είναι μορφολογικής φύσεως, καθώς στο νότιο τμήμα του χάρτη ο πυθμένα είναι πιο βραχώδεις, με χαρακτηριστικό παράδειγμα τους ακτόλιθους που έχουν αποκαλυφθεί μέχρι και 3 μέτρα βάθος.
- Το βάθος στο οποίο ξεκινάει να αναπτύσσεται συνηθώς η *Posidonia Oceanica* είναι ίσο με το μέγιστο βάθος θραύσης κύματος της περιοχής. Στη συγκεκριμένη περιοχή το μέγιστο βάθος ζώνης θραύσης είναι 4.135 μ. , το οποίο δικαιολογεί την εξάπλωση των λιβαδιών στο νότιο τμήμα της περιοχής αφού αρχίζει η εξάπλωση περί τα 3 – 3.5 μέτρα, αλλά όχι στο βόρειο, στο οποίο ξεκινάει το λιβάδι από το 1-1.5 μ., με πιθανή αιτιολογία ότι το βόρειο τμήμα του χάρτη να είναι εκτεθειμένο περισσότερο στους ανατολικούς ανέμους παρά στους νότιο-ανατολικούς, αφού η ζώνης θραύσης κύματος για τους ανατολικούς ανέμους ξεκινάει σε μέγιστο βάθος 0.88 μ.

Βιβλιογραφία

Ελληνόγλωσση

Λεβέντης Σ., Ιούνιος 2014, Διαχρονική μετατόπιση της ακτογραμμής της παράκτιας πεδιάδας του Μαραθώνα, Πτυχιακή Εργασία, Χαροκόπιο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Γεωγραφίας, Αθήνα

Μαργώνη Γρ. Σ., 2006, ΕΡΕΥΝΑ ΤΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΤΩΝ ΥΓΡΟΤΟΠΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΠΕΔΙΑΔΑΣ ΤΟΥ ΜΑΡΑΘΩΝΑ ΚΑΤΑ ΤΟ ΟΛΟΚΑΙΝΟ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (G.I.S.), Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας Τομέας Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας, Θεσσαλονίκη

Μιχαήλ, Π. 2011. Παλαιογεωγραφική εξέλιξη της ευρύτερης περιοχής Μοδίου-Πόρου. Διατριβή ειδίκευσης. Π.Μ.Σ. Γεωεπιστήμες & Περιβάλλον. Τμήμα Γεωλογίας. Πανεπιστήμιο Πατρών.

Μήλα Μ., Φεβρουάριος 2009, Αστική διάχυση και αυθαίρετη δόμηση στον παράκτιο χώρο. Προς τη διαμόρφωση μιας χωρικής πολιτικής για τις περιστατικές περιοχές. Το παράδειγμα του Δήμου Νέας Μάκρης., Διπλωματική εργασία Διεπιστημονικού – Διατμηματικού προγράμματος μεταπτυχιακών σπουδών «Περιβάλλον και Ανάπτυξη», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα

Μουντράκης Δ. (1985). Γεωλογία Ελλάδος, University Press, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας, Θεσσαλονίκη

Σούρα, Κ. 2013. Εφαρμογές θαλάσσιων γεωφυσικών μεθόδων στην ενάλια αρχαιολογία: Νήσος Ραγ (Κροατία). Διατριβή ειδίκευσης. Π.Μ.Σ. Γεωεπιστήμες & Περιβάλλον. Τμήμα Γεωλογίας. Πανεπιστήμιο Πατρών, 43-47.

Χατζηελευθερίου, Μ & Αλεξανδράκης, Γ & Ρουλος, Serafeim & Γάκη-Παπαναστασίου, Κ & Μαρουκιάν, Χαμπίκ. (2010). Εκτίμηση της τρωτότητας της παράκτιας περιοχής των Α και ΒΑ ακτών της Αττικής σε σχέση με μια μελλοντική άνοδο της θάλασσας στάθμης = An assessment of the vulnerability of the E and NE coastal zone of Attika with respect to A potential sea level rise.. 1.

Ξενόγλωσση

Amoutzopoulou-Schina H. and Haritonidis S. 2005. Distribution and phenology of the marine phanerogam *Posidonia oceanica* in the Pagassitikos Gulf, Greece. *Journal of Biological Research* 4: 203-211

Baeteman, C., 1985. Late Holocene geology of Marathon plain, *Journal of Coastal Research*, Greece.

Borum J., Duarte C.M., Krause-Jensen D. and Greve T.M. 2004. European seagrasses: an introduction to monitoring and management. The M and MS project. ISBN: 87-89143-21-3.

Boudouresque C.F., Meinesz, A., Fresi, E. and Gravez, V., 1989. 2nd International Workshop on *Posidonia oceanica* Beds. G.I.S. *Posidonie, Oceanica*, 2, 322 pp.

Buia M.C. and Mazzella L. 1991. Reproductive phenology of the Mediterranean seagrasses *Posidonia oceanica* (L.) Delile, *Cymodocea nodosa* (Ucria) Aschers., and *Zostera noltii* Hornem.

Aquatic Botany, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 343-362

Celebi, Billur. (2007). A STUDY ON POSIDONIA OCEANICA (L.) Delile, 1813 SEAGRASS MEADOWS IN THE LEVANT SEA. 10.13140/2.1.2123.8560.

Den Hartog, C. 1970. The Seagrasses of the World. North Holland Publishing Company, Amsterdam, 275 pp.

Deudero, S., Morey, G., Frau, A., Moranta, J. & Moreno, I., 2008. Temporal trends of littoral fishes at deep *Posidonia oceanica* seagrass meadows in a temperate coastal zone. *Journal of Marine Systems*, 70: 182–195.

Dimou A., Vassilakis E., Antoniou V., Evelpidou N., 2014, An assessment of the coastal erosion at Marathon East Attica, Conference Paper, Conference: 10th International Congress of the Hellenic Geographical Society, Greece.

Dural B. 2010. Phenological observations on *Posidonia oceanica* (L.) Delile meadows along the coast of Akkum (Sgack Bay, Aegean Sea, Turkey). *J. Black Sea/Mediterranean Environment*, Vol. 16 (1): 133-144.

Francour, P., Magreau, J.F., Mannoni, P.A., Cottalorda, J.M., Gratiot, J., 2006. Management guide for Marine Protected Areas of the Mediterranean Sea, Permanent Ecological Moorings. Université de Nice-Sophia Antipolis and Parc National de Port-Cros, Nice, 68 pp.

Germana Di Maida, Agostino Tomasello, Filippo Luzzu, Antonino Scannavino, Maria Pirrotta, Carla Orestano, Sebastiano Calvo; Discriminating between *Posidonia oceanica* meadows and sand substratum using multibeam sonar, *ICES Journal of Marine Science*, Volume 68, Issue 1, 1 January 2011, Pages 12–19

Komatsu, Teruhisa & Igarashi, C. & Tatsukawa, Ken-ichi & Nakaoka, Masahiro & Hiraishi, Tomonori & Taira, Asahiko. (2002). Mapping of seagrass and seaweed beds using hydro-acoustic methods. *Fisheries Science*. 68. 580-583.

Kuo J., McComb A.J., 1989. Seagrass taxonomy, structure and development. In: Larkum A.W.D., McComb A.J., Shepherd J., eds. *Biology of seagrasses: a treatise on the biology of seagrasses with special reference to the Australian region*. Elsevier, The Netherlands: 6-73

Maroukian, H., Zamani, A. & Pavlopoulos, K., 1993. Coastal retreat in the plain of Marathon (East Attica) Greece: Causes and Effects. *Geologica Balcanica*, 23 (2), pp. 67-71.

McKenzie L.J., Campbell S.J. and F. Lasi 2006. Seagrasses and Mangroves. In: Green A.P., Lokani W., Atu P., Ramonia P., Thomas P. and Almanmy J. (eds). 2006 Solomon Islands Marine Assessment. Technical report of survey conducted May 13 to June 17 2004. The Nature Conservancy, Indo-Pacific Resource Centre. Report No 1/064

Papanikolaou, D. & Papanikolaou, I. (2007). Geological, Geomorphological and Tectonic Structure of Ne Attica and Seismic Hazard Implications for the Northern Edge of the Athens Plain. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 40, 425-438.

Papanikolaou, I.D., Papanikolaou, D.I. & Lekkas, E.L. (2008). Low slip-rate faults around big cities: a challenging threat. The Afidnai fault as a case study for the city of Athens. (In Q) Proceedings of the 14th World Conference on Earthquake Engineering. Beijing China, PP. 3-4

Poulos, S., Ghionis, G. & Maroukian, H., 2009. Sea-level rise trends in the Attico-Cycladic region during 5000 years. *Geomorphology*, Vol.107, Issues 1-2, pp.10-17.

Saville, Jr., T., & Caldwell, J. 2000 Jan 1. ACCURACY OF HYDROGRAPHIC SURVEYING IN AND NEAR THE SURF ZONE. *Coastal Engineering Proceedings*. [Online] 1:3

Telesca, L., Belluscio, A., Criscoli, A., Ardizzone, G., Apostolaki, E., Frascchetti, S., Gristina, M., Knittweis, L., Martin, C. S., Pergent, g., Alagna, A., Badalamenti, F., Garofalo, G., Gerakaris, V., Pace, M. L., Pegent-Marini, C. and Salomidi, M. (2015). Seagrass meadows (*Posidonia oceanica*) distribution and trajectories of change. *Scientific Reports* 5 (12505)

Terrados, J. & Borum, J., 2004: Why are seagrasses important? – Goods and services provided by seagrass meadows p. 8-11. In: *European seagrasses: an introduction to monitoring and management*. J. Borum, C.M. Duarte, D. Krause-Jensen & T.M. Greve (Eds), The M&MS Project Publisher.

Βιβλιογραφία Εικόνων / Διαδικτυακές πηγές

Nguyen, Phu Duy. "Based Approach for Seafloor Classification." (2018).

Özdaş, H., Kızıldağ, N., Baydan, C., 2016. Shipwreck Inventory Project of Turkey (SHIPT), Special Project Supported by Ministry of Development of Turkey.

<https://www.globalspec.com/reference/66292/203279/10-10-gps-for-seafloor-mapping>

https://en.wikipedia.org/wiki/Side-scan_sonar

<http://jnccoffshoresurvey.blogspot.com/2014/06/pick-grab-any-grab.html>

<http://www.hydrographic-catalogue.com/classifieds/gallery-76>

<https://archipelago.gr/en/marine-conservation-team-june-2017-2/>

www.marathon.gr

www, tripinview.com

Google Earth