

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑΣ INTERREG V-A ΕΛΛΑΔΑ-ΚΥΠΡΟΣ 2014-2020

BEACHTECH

Παράκτια διάβρωση λόγω κλιματικής αλλαγής: εκτίμηση και τρόποι αποτελεσματικής αντιμετώπισης σε τουριστικές περιοχές του Βορείου Αιγαίου και της Κύπρου

Κωδικός Πράξης: 5050552

Πακέτο Εργασίας 4	Εκτίμηση κινδύνου διάβρωσης στις πιλοτικές παραλίες Λέσβου, Χίου και Κύπρου
Παραδοτέο 4.1.2	Υδροδυναμικές και τοπογραφικές παρατηρήσεις στις πιλοτικές παραλίες

Κύριος Δικαιούχος Έργου	Πανεπιστήμιο Αιγαίου (ΤΩΘΕ-ΠΑ)
Επιστημονικός Υπεύθυνος Παραδοτέου	ΤΩΘΕ-ΠΑ
Συμμετέχοντες Φορείς στο Παραδοτέο	ΠΤΑΒΑ, ΤΕΠΑΚ, Δ. Πέγειας
Ομάδα Σύνταξης Παραδοτέου	Ε. Μανούτσογλου, Α. Χατζηπαυλής, Ο. Ανδρεάδης, Θ. Χασιώτης
Ομάδα Υλοποίησης Παραδοτέου	Ο. Ανδρεάδης, Ε. Μανούτσογλου, Θ. Πανάγου, Ι. Πετσιμέρης, Ο. Τζωράκη, Α. Πούλος, Θ. Χασιώτης, Μ. Λοϊζίδου, Μ. Ακουρδαλίτη, Ζ. Ανθής, Δ. Χατζημιτσής, Ε. Ευαγόρου, Ι. Κουντούρη, Δ. Μακρή, Κ. Παναγιώτου, Γ. Τσαϊρης, Α. Καρίνου, Χ. Σάββας
Ημερομηνία	Οκτώβριος 2023
Διαδικτυακή πρόσβαση	http://beachtech.eu

Το παρόν κείμενο δημοσιεύτηκε με τη σύμφωνη γνώμη όλων των φορέων της σύμπραξης "BEACHTECH". Περιέχει υλικό τα δικαιώματα του οποίου ανήκουν στους δικαιούχους της πράξης "BEACHTECH" και το οποίο δεν μπορεί να αναπαραχθεί χωρίς άδεια από την σύμπραξη. Η έρευνα που οδήγησε στα αποτελέσματα του παρόντος κειμένου χρηματοδοτήθηκε από το Πρόγραμμα Συνεργασίας «Interreg V-A Ελλάδα-Κύπρος 2014-2020» (ΕΤΠΑ) και από Εθνικούς πόρους Ελλάδας και Κύπρου.

Η Σύμπραξη του Έργου



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΑΙΓΑΙΟΥ

Πανεπιστήμιο Αιγαίου



ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΟ
ΤΑΜΕΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ

Περιφερειακό Ταμείο
Ανάπτυξης Βορείου Αιγαίου



Τεχνολογικό
Πανεπιστήμιο
Κύπρου

Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο
Κύπρου



ΔΗΜΟΣ ΠΕΓΕΙΑΣ
MUNICIPALITY OF PEGEIA

Δήμος Πέγειας Κύπρου

ΔΕΣΜΟΙ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	6
2 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	8
2.1 ΛΕΣΒΟΣ.....	9
2.1.1 Ερεσός	9
2.1.2 Ιστορικό	10
2.1.3 Πέτρα.....	11
2.2 ΧΙΟΣ.....	11
2.2.1 Κώμη.....	11
2.3 ΚΥΠΡΟΣ.....	12
2.3.1 Κόλπος των Κοραλλίων.....	12
3 ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	13
3.1 ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΠΟΤΥΠΩΣΕΙΣ	14
3.1.1 Διαφορικό σύστημα προσδιορισμού θέσης RTK-DGPS.....	14
3.1.2 Συστήματα μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (ΣμηΕΑ).....	15
3.1.3 Επίγειος Σαρωτής Laser (TLS)	22
3.2 ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑΣ	24
3.2.1 Βυθομετρική αποτύπωση.....	24
3.2.2 Μορφολογική αποτύπωση	25
3.2.2.1 Πολυδεσμικός ηχοβολιστής (MBES)	26
3.2.2.2 Τύποι Ανακλαστικότητας	31
3.2.3 Ιζηματολογικά χαρακτηριστικά	34
3.3 ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ	35
4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	38
4.1 ΛΕΣΒΟΣ.....	38
4.1.1 Ερεσός	38
4.1.1.1 Τοπογραφική αποτύπωση με RTK	38
4.1.1.2 Βαθυμετρία και Μορφολογία.....	39
4.1.2 Ιστορικό	40
4.1.2.1 Τοπογραφική αποτύπωση με RTK	40
4.1.2.2 Τοπογραφική αποτύπωση με ΣμηΕΑ	42
4.1.2.3 Βαθυμετρία και Μορφολογία.....	43
4.1.2.4 Υδροδυναμικές καταγραφές.....	44
4.1.3 Πέτρα.....	46
4.1.3.1 Τοπογραφική αποτύπωση με RTK	46
4.1.3.2 Τοπογραφικές αποτυπώσεις με ΣμηΕΑ.....	46
4.1.3.3 Βαθυμετρία και Μορφολογία.....	50
4.1.3.4 Ιζηματολογία.....	52
4.1.3.5 Υδροδυναμικές καταγραφές.....	54
4.2 ΧΙΟΣ.....	56
4.2.1 Κώμη.....	56
4.2.1.1 Τοπογραφική αποτύπωση με RTK	56
4.2.1.2 Τοπογραφική αποτύπωση με ΣμηΕΑ	56
4.2.1.3 Βαθυμετρία και Μορφολογία.....	57
4.2.1.4 Ιζηματολογία.....	59
4.2.1.5 Υδροδυναμικές καταγραφές.....	61
4.3 ΚΥΠΡΟΣ.....	62
4.3.1 Κόλπος των Κοραλλίων.....	62
4.3.1.1 Τοπογραφική αποτύπωση με RTK	62
4.3.1.2 Τοπογραφική αποτύπωση με ΣμηΕΑ	64
4.3.1.3 Τοπογραφική αποτύπωση με επίγειο σαρωτή laser – TLS	68
4.3.1.4 Βαθυμετρία και Μορφολογία.....	69
4.3.1.5 Ιζηματολογία.....	71
4.3.1.6 Υδροδυναμικές καταγραφές.....	72
5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	77

6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	78
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	79



ΔΕΣΜΟΙ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Περίληψη

Στο πλαίσιο του έργου Beachtech έλαβαν χώρα πειράματα πεδίου στο χερσαίο και παράκτιο περιβάλλον σε επιλεγμένες παραλίες του Βορειοανατολικού Αιγαίου και της Κύπρου, χρησιμοποιώντας εξοπλισμό τελευταίας τεχνολογίας, με στόχο τη συλλογή μορφολογικών δεδομένων αλλά και δεδομένων ιζήματος για τον εμπλουτισμό των παράκτιων υδροδυναμικών/μορφοδυναμικών μοντέλων προσομοίωσης. Τα υδροδυναμικά που έλαβαν χώρα περιλάμβαναν μετρήσεις υψηλής χρονικής διακριτικότητας με λεπτομερή καταγραφή των υδροδυναμικών συνθηκών στις πιλοτικές περιοχές. Τα δεδομένα αυτά μαζί με εκείνα από τους κυματογράφους μακροχρόνιας παρακολούθησης που εγκαταστάθηκαν χρησιμοποιούνται για την εξέλιξη και αξιολόγηση των παράκτιων υδροδυναμικών μοντέλων, με στόχο την καλύτερη κατανόηση του υποθαλάσσιου περιβάλλοντος και των διαδικασιών που το επηρεάζουν.



1 Εισαγωγή

Οι αμμώδεις παραλίες χαμηλού αναγλύφου (low-lying coastlines) ανήκουν στα πιο ευαίσθητα παράκτια συστήματα παγκοσμίως. Πολλά από τα συστήματα αυτά βρίσκονται υπό το καθεστώς της διάβρωσης που εκδηλώνεται με την υποχώρηση της ακτογραμμής λόγω: (α) της σχετικής μέσης ανόδου της θαλάσσιας στάθμης (RSLR) και (β) της εμφάνισης ακραίων καιρικών φαινομένων (π.χ. μετεωρολογική παλίρροια). Οι παραλίες αυτές είναι ιδιαίτερα σημαντικές καθώς αποτελούν, ταυτόχρονα, σημαντικούς οικοτόπους, παρέχουν προστασία από τις παράκτιες πλημμύρες αλλά προστατεύουν και τα υπερκείμενα παράκτια οικοσυστήματα, καθώς επίσης αποτελούν κορωνίδα της τουριστικής βιομηχανίας ιδιαίτερα στις νησιωτικές περιοχές και συχνά αποτελούν δημοφιλείς τουριστικούς προορισμούς, συμβάλλοντας σημαντικά στις οικονομίες πολλών περιοχών.

Ο δυναμικός χαρακτήρας της παραλιακής ζώνης απαιτεί παρακολούθηση των διεργασιών και της εξέλιξης της ακτογραμμής σε διαφορετικές χωρο-χρονικές κλίμακες, για είναι δυνατή η διάγνωση και πρόγνωση των διεργασιών και των αποτελεσμάτων τους στην εξέλιξη της μορφολογίας των παραλιών και της θέσης της ακτογραμμής (παραλιακή μορφοδυναμική), ένα θέμα με εξαιρετική περιβαλλοντική και οικονομική σημασία. Εξ' άλλου ο ακριβής καθορισμός της ακτογραμμής σε διαφορετικές χωροχρονικές κλίμακες είναι και νομική υποχρέωση σύμφωνα με το Άρθρο 8(2) του Πρωτόκολλου για την Ολοκληρωμένη Διαχείριση της Παράκτιας Ζώνης, 2008 ICZM - Barcelona Convention που έχει επικυρώσει η ΕΕ καθώς και την Ελληνική νομοθεσία. Τα τελευταία χρόνια φαίνεται ότι η πλέον αποτελεσματική (και χαμηλού κόστους) μεθοδολογία για τη μακροχρόνια, και με υψηλή χωρο-χρονική ανάλυση, παρακολούθηση της παραλιακής μορφοδυναμικής (που είναι αναγκαία για τον ακριβή καθορισμό της ακτογραμμής/κυματικής αναρρίχησης και διάβρωσης υπό φυσιολογικές και ακραίες (θυελλώδεις) συνθήκες) βασίζεται στη συλλογή οπτικής πληροφορίας/βιντεο-εικόνων (Velegrakis et al., 2007, 2017; Vousedoukas et al., 2012). Τα δεδομένα όμως αυτά πρέπει να αξιολογούνται / επαληθεύονται / συγκρίνονται σε τακτά χρονικά διαστήματα ως προς την ποιότητα και ακρίβεια τους με επιτόπου μετρήσεις των παράκτιων μορφο-υδροδυναμικών συνθηκών.

Σε σχέση με τα προαναφερθέντα, και μετά από συστηματική μελέτη αξιολόγησης των φυσικο-γεωγραφικών χαρακτηριστικών πλήθους παραλιών (σε πολλές εκ των οποίων έγινε και επιτόπου επίσκεψη), έγινε επιλογή πέντε τουριστικών παράκτιων (πιλοτικών) περιοχών του Αιγαίου και της Κύπρου. Συγκεκριμένα από το βορειοανατολικό Αιγαίο επιλέχθηκαν τρεις παραλίες από το νησί της Λέσβου (α) η παραλία της Ερεσού η οποία λειτούργησε σαν παραλία ελέγχου καθώς εκεί πραγματοποιήθηκαν όλες οι δοκιμές και οι βαθμονομήσεις των οργάνων που χρησιμοποιήθηκαν στις μετρήσεις πεδίου. Η συγκεκριμένη παραλία αποτελεί περιοχή μακρόχρονης μελέτης από ΤΩΘΒΕ, στην οποία επιπλέον ελέγχονται/δοκιμάζονται τα μοντέλα που σχετίζονται με το σχεδιασμό τεχνικών έργων διότι αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς τουριστικούς προορισμούς στη Λέσβο που όμως χαρακτηρίζεται από έντονα φαινόμενα παράκτιας διάβρωσης. (β) Η παραλία της Πέτρας, μια εξίσου τουριστική παραλία και (γ) η παραλία του Ιστορικού, η πλησιέστερη στην πόλη της Μυτιλήνης. Από το νησί της Χίου επιλέχθηκε η παραλία της

Κώμης, ένας τουριστικός προορισμός, στην οποία έχουν παρατηρηθεί φαινόμενα διάβρωσης. Από την Κύπρο επιλέχθηκε ως πιλοτική η παραλία στον Κόλπο των Κοραλλιών.

Έτσι, στο πλαίσιο της συγκεκριμένης μελέτης (i) μελετήθηκε η παράκτια μορφολογία/ιζηματολογία με τοπογραφικές (συμπεριλαμβανομένων και απεικονίσεων από επίγειο σαρωτή (TLS – Terrestrial Laser Scanner)), βυθομετρικές, μορφολογικές και ιζηματολογικές αποτυπώσεις και (ii) σε κατάλληλες θέσεις τοποθετήθηκαν μετεωρολογικοί σταθμοί μαζί με παράκτια οπτικά συστήματα παρακολούθησης για να συλλεχθεί μακρόχρονη πληροφορία για τη παραλιακή μορφοδυναμική μεγάλης χωροχρονικής ανάλυσης. Έγιναν επίσης μικρής διάρκειας παρατηρήσεις των υδροδυναμικών συνθηκών (παράκτιου κυματικού και ρευματικού πεδίου) στις πιλοτικές παραλίες, με χρήση υψίσυχων κυματογράφων (RBR) και ηλεκτρομαγνητικών ρευματογράφων (Infinity).

Αποτελέσματα της παρούσας μελέτης χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα εισόδου (στοιχεία βαθυμετρίας, κοκκομετρίας, μορφολογίας στο μορφοδυναμικό μοντέλο (Παραδοτέο 5.1.1). Οι υδροδυναμικές παρατηρήσεις συγκρίθηκαν με οπτικά δεδομένα κατά τις συγκεκριμένες περιόδους υλοποίησης των πειραμάτων υδροδυναμικής για τη καλύτερη διάγνωση των παράκτιων διεργασιών στις πιλοτικές περιοχές.



2 Περιοχές έρευνας

Η επιλογή των πιλοτικών παραλιών έγινε με βάση τα φυσιογραφικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά τους, την τοποθεσία τους, τον κίνδυνο έκθεσης τους στην παράκτια διάβρωση αλλά και την κοινωνικο-οικονομική τους αξία (Εικόνα 1). Ανάμεσα στις παραλίες που επιλέχθηκαν εντάσσεται και η παραλία της Ερεσού στη Λέσβο, η οποία λόγω της πληθώρας πειραμάτων και μελετών που έχουν πραγματοποιηθεί, αλλά και της συστηματικής παρακολούθησης της όσον αφορά το φαινόμενο της παράκτιας διάβρωσης από το «Εργαστήριο Παράκτιας Μορφοδυναμικής, Διαχείρισης και Θαλάσσιας Γεωλογίας» του ΤΩΘΒΕ αποτελεί ιδανική πιλοτική περιοχή για την δοκιμή του εξοπλισμού αλλά και τη σύγκριση χρονοσειρών δεδομένων.



Εικόνα 1: Οι πιλοτικές παραλίες (1) στη Λέσβο (i) της Ερεσού και (ii) της Πέτρας, (2) στη Χίο της Κώμης και (3) στην Κύπρο της παραλίας των Κοραλλιών.

Στο Κεφάλαιο αυτό δίνονται πληροφορίες που αφορούν τα κύρια φυσικά χαρακτηριστικά των περιοχών μελέτης (π.χ. γεωλογία, γεωμορφολογία, κλίμα), μετά από μια αρχική (εισαγωγική) αξιολόγηση των κύριων χαρακτηριστικών της ευρύτερης περιοχής όσον αφορά το κλίμα, τη παράκτια γεωμορφολογία και τους παράγοντες διάβρωσης των παραλιών.

Η επιλογή των συγκεκριμένων παραλιών μελέτης στις νήσους Λέσβος, Χίος, και Κύπρος έγινε μετά σύμφωνα με τα ακόλουθα: (α) την ύπαρξη διάβρωσης με σημαντικούς ρυθμούς που επιβεβαιώνονται από τις τοπικές αρχές, (β) το τουριστικό δυναμικό και την ύπαρξη υποδομών που επηρεάζονται άμεσα ή είναι πολύ πιθανό σύντομα να επηρεαστούν (στις περιπτώσεις αποδεδειγμένων υψηλών ρυθμών παραλιακής οπισθιχώρησης) (κοινωνικο-οικονομικό κριτήριο), (γ) τα γεωμορφολογικά, ιζηματολογικά και ωκεανογραφικά χαρακτηριστικά τους (γεω-περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά), (δ) την προ-ύπαρξη σχετικών δεδομένων/μελετών που επιτρέπουν συγκρίσεις σε βάθος χρόνου και (ε) την προσβασιμότητα για τις μετρήσεις πεδίου και την εγκατάσταση οργάνων παρακολούθησης. Στην τελική επιλογή συνέβαλε σε σημαντικό βαθμό και η μοντελοποίηση της πρόγνωσης κινδύνου διάβρωσης σε επίπεδο νήσου κάτω από σενάρια μακροχρόνιας ή/και βραχυχρόνιας ανόδου της στάθμης της θάλασσας, από την οποία διακρίθηκαν οι παραλίες με τη μεγαλύτερη επικινδυνότητα και συγχρόνως με σημαντικό ποσοστό υποδομών πίσω από αυτές που δυνητικά μπορούν να επηρεαστούν.

2.1 Λέσβος

Από το νησί της Λέσβου επιλέχθηκαν δύο πιλοτικές παραλίες, του Ιστορικού Μυτιλήνης και της Πέτρας. Όλα τα συστήματα, όμως, βαθμονομήθηκαν και τα πρωτόκολλα δειγματοληψιών ελέγχθηκαν στην παραλία της Ερεσού που αποτελεί μια μόνιμη περιοχή ελέγχου της λειτουργικής κατάστασης όλων σχεδόν των συστημάτων πριν από κάθε έρευνα.

2.1.1 Ερεσός

Η παραλία της Ερεσού, γνωστή και ως Σκάλα Ερεσού (Εικόνα 1iii, 2), βρίσκεται στη νοτιοδυτική ακτή της νήσου Λέσβου και αποτελεί ένα από τα δημοφιλέστερα τουριστικά προορισμούς στο νησί. Γεωγραφικά, η παραλία αυτή είναι μια κυρτή παραλία που αποτελείται από φράγμα μήκους περίπου 1,7 χιλιόμετρα. Η ευρύτερη περιοχή της Σκάλας Ερεσού διακρίνεται από ένα ήπιο ανάγλυφο, με κλίσεις που κυμαίνονται από 0 μοίρες έως 10 μοίρες.

Το ύδατα που συγκεντρώνονται στην περιοχή αυτή απορρέουν σε μια λεκάνη απορροής περίπου 57 τετραγωνικών χιλιομέτρων, με περίπου 26 τετραγωνικά χιλιόμετρα αποστραγγίζονται μέσω του χειμάρρου Χαλάνδρα προς το Φράγμα Ερεσού. Το φράγμα αυτό κατασκευάστηκε το 1999 και διατηρεί το μεγαλύτερο μέρος του ιζήματος, περίπου 52-55%. Γεωλογικά, η περιοχή αυτή αποτελείται από ασβεστόλιθους, κροκαλοπαγή και νεογενείς ηφαιστίτες, με το κάτω τμήμα της να περιλαμβάνει αλλουβιακές αποθέσεις και παράκτιες άμμοι.

Η παραλία παρουσιάζει χαρακτηριστικά μικρο-παλιρροιακής περιοχής, με μέγιστο εύρος της παλίρροιας περίπου 0,15 μέτρα, και εκτίθεται σε έντονους νότιους ανέμους, με τον άνεμο να φτάνει μέχρι και τα 166 χιλιόμετρα.

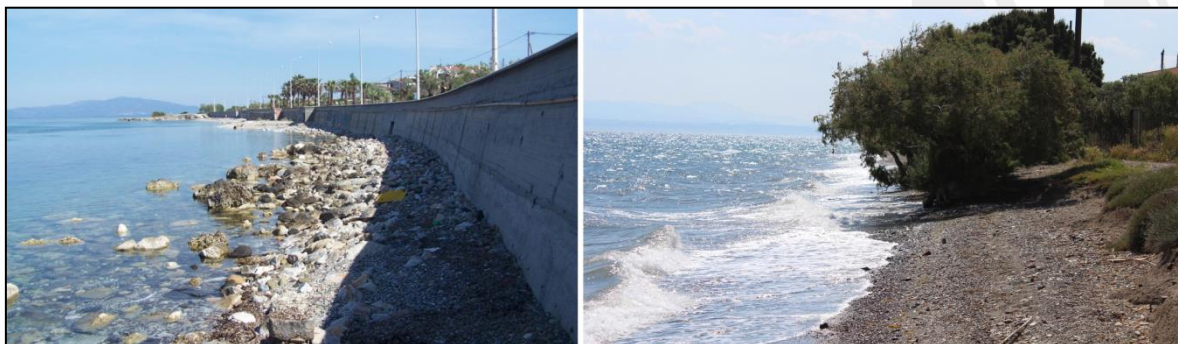


Εικόνα 2: Μακροχρόνια διάβρωση παραλίας Ερεσού. Το βέλος δείχνει το ίδιο κτίριο (από Δ.Δ. Ανδρεάδη, 2022).

Η συνολική ανάλυση της γεωγραφικής μορφολογίας, των ιζηματολογικών στοιχείων και των υδροδυναμικών υποδείχθηκε ότι η παραλία αντιμετωπίζει φαινόμενα διάβρωσης, τα οποία μπορούν να αποδοθούν κυρίως στις ακόλουθες αιτίες: (i) δυναμική αλλαγή στο κυματικό καθεστώς, (ii) κατασκευή του φράγματος το 1999, (iii) εκτεταμένη αστική ανάπτυξη στο νοτιοανατολικό τμήμα της παραλίας, καθώς και την ανέγερση ενός παράκτιου τείχους προστασίας. Είναι επίσης σημαντικό να σημειωθεί ότι η αύξηση της θαλάσσιας στάθμης λόγω της κλιματικής αλλαγής αποτελεί παράγοντα που επηρεάζει την παραλία.

2.1.2 Ιστορικό

Η περιοχή «Ιστορικό» εντάσσεται στην ευρύτερη περιοχή του Στενού της Μυτιλήνης και αναφέρεται στη θαλάσσια περιοχή που χωρίζει τη νήσο Λέσβο από τις ακτές της Τουρκίας στα ανατολικά (Εικόνα1i, 3). Η περιοχή μελέτης εκτείνεται από το ακρωτήριο Μαχαίρα στα βόρεια μέχρι το αεροδρόμιο στα νότια και περιλαμβάνει το ρηχότερο τμήμα του στενού, με μέγιστο βάθος περίπου 45 μέτρα.



Εικόνα 3: Η ευρύτερη περιοχή του Ιστορικού.

Η γεωλογική δομή αυτής της περιοχής, και γενικά του νοτιοανατολικού άκρου της Λέσβου, αποτελείται κυρίως από μεταμορφωμένες πέτρες, κυρίως σχιστόλιθους με ενστρώσεις

κρυσταλλικών ασβεστόλιθων και δολομιτών. Επίσης, σε άλλες περιοχές της Μυτιλήνης, υπάρχουν λιμναίες ασβεστολιθικές αποθέσεις, όπως μάργες και ψαμμίτες.

Κατά την τελευταία παγετώδη περίοδο, η ανατολική πλευρά της Λέσβου ήταν συνδεδεμένη με τη Μικρά Ασία, ενώ ένα μικρό τμήμα στο νότιο και νοτιοδυτικό τμήμα ήταν παράκτια περιοχή. Προηγούμενες θαλάσσιες γεωφυσικές και ιζηματολογικές μελέτες που διεξήχθησαν για την εύρεση θαλασσίων αδρανών υλικών αποκάλυψαν το σχήμα του ρηχότερου τμήματος των ανατολικών ακτών της Λέσβου, με βάθη που κυμαίνονται από 8 μέτρα έως 62 μέτρα, καθώς και περιοχές με αμμώδη ιζήματα που είναι κατάλληλες για εκμετάλλευση.

2.1.3 Πέτρα

Η Πέτρα είναι μεγάλος παραθαλάσσιος οικισμός με μόνιμο πληθυσμό 1108 κατοίκων. Η παραλία βρίσκεται στο Β-ΒΔ μέρος της Λέσβου, έχει προσανατολισμό προς δυσμάς και είναι οργανωμένη αμμώδης παραλία με μέτρια ψιλή άμμο και εύκολη προσβασιμότητα σε μικρή απόσταση από τον Μόλυβο με αποτέλεσμα να φιλοξενεί σημαντικό αριθμό λουομένων στη διάρκεια της τουριστικής περιόδου. Το συνολικό μήκος της παραλίας είναι 780m (Εικόνα 1ii, 4)



Εικόνα 4: Η παραλία της Πέτρας.

2.2 Χίος

Από την περιοχή της Χίου επιλέχθηκε μία παραλία, αυτή της Κώμης στο νότιο τμήμα του νησιού.

2.2.1 Κώμη

Η παραλία της Κώμης βρίσκεται στην νοτιοανατολική Χίο (Εικόνα 1(2)). Έχει σημαντική πυθκνότητα υποδομών και περιουσιακών στοιχείων στην οπισθοπαραλία και αναπτυσσόμενη τουριστική δραστηριότητα. Το παραλιακό μέτωπο αποτελείται από άμμους με διάφορες κοκκομετρικές διαβαθμίσεις καθώς και αδρομερέστερα υλικά κατά τόπους. Η ακτογραμμή αναπτύσσεται κατά μήκος ΝΔ-ΒΑ διεύθυνσης με εμφανή σημάδια διάβρωσης στη ΒΑ και ΝΔ παραλία μπροστά από παραθαλάσσιες οικίες. Η παραλία

βρίσκεται στον κόλπο της Καλαμωτής το οποίο αποτελεί παράκτιο μέτωπο αλλουβιακού ριπιδίου του χειμάρου Κατράρη και Φανεπύργων στο οποίο και ορθώνεται φράγμα που απέκοψε κατά πολύ την εισροή φερτών υλικών. Από μελέτη της μακροχρόνιας μεταβολής της ακτογραμμής με τη βοήθεια αεροφωτογραφιών (1945 – 2012), φαίνεται σημαντική οπισθοχώρηση συνολικά σε όλο το παραλιακό μέτωπο αλλά ιδιαίτερα στο ΝΔ και κεντρικό τμήμα της παραλίας (Εικόνα 5) (από ΔΔ Ανδρεάδη, 2022).



Εικόνα 5: Μακροχρόνια διάβρωση παραλίας Κώμης. Το βέλος δείχνει το ίδιο κτίριο (από Δ.Δ. Ανδρεάδη, 2022).

2.3 Κύπρος

Τις τελευταίες δεκαετίες η Κύπρος έχει αναδειχθεί σε σημαντικό τουριστικό προορισμό στην ανατολική Μεσόγειο λόγω του σχεδόν μόνιμα ηλιόλουστου καιρού και του φυσικού πλούτου. Προκειμένου να αναδειχθεί το πρόβλημα της διάβρωσης των ακτών σε τοπική κλίμακα, έπειτα από αξιολόγηση, επιλέχθηκε μία πιλοτική παραλία στο νοτιοδυτικό τμήμα της Κύπρου, στον Δήμο Πέγειας (Εικόνα 1(3)).

2.3.1 Κόλπος των Κοραλλίων

Ο Κόλπος των Κοραλλίων είναι μια τυπική παραλία τσέπης (rocket beach) της δυτικής Κύπρου, που οριοθετείται από δύο ακρωτήρια. Έχει νότιο-νοτιοδυτικό προσανατολισμό και επηρεάζεται κυρίως από ανέμους και κύματα με διεύθυνση νότια προς δυτικά (Εικόνα 6). Οι τοπικές αρχές έχουν αναφέρει φαινόμενα διάβρωσης τα οποία εκδηλώθηκαν κατά τη διάρκεια έντονων καιρικών φαινομένων (μετεωρολογική παλίρροια) σε συνδυασμό με έντονη κυματική δράση, καθώς επίσης έντονα διαβρωσιγενή χαρακτηριστικά εντοπίζονται πλησίον του παραθαλάσσιου οικισμού στο ανατολικό τμήμα της περιοχής., σε έναν ς πλησίον του οποίου εκδηλώνονται συχνά φαινόμενα διάβρωσης. Η ευρύτερη παράκτια περιοχή κυριαρχείται από χερσαίες αποθέσεις του Πλειστόκαινου που αποτελούνται από ψαμμίτες, άμμους και χαλίκια και χαλαρές προσχώσεων του Ολόκαινου (χαλίκια, άμμος, ιλύς και άργιλος). Το υδρογραφικό δίκτυο είναι πολύ φτωχό με αμελητέες-εποχικές παροχές.



Εικόνα 6: Η παραλία του Coral Bay στην Κύπρο.

3 Συλλογή και Επεξεργασία Δεδομένων

Η συλλογή των δεδομένων από τις πιλοτικές παραλίες ξεκίνησε από το Μάρτιο του 2022 και ολοκληρώθηκε στις αρχές του Οκτωβρίου του 2023.

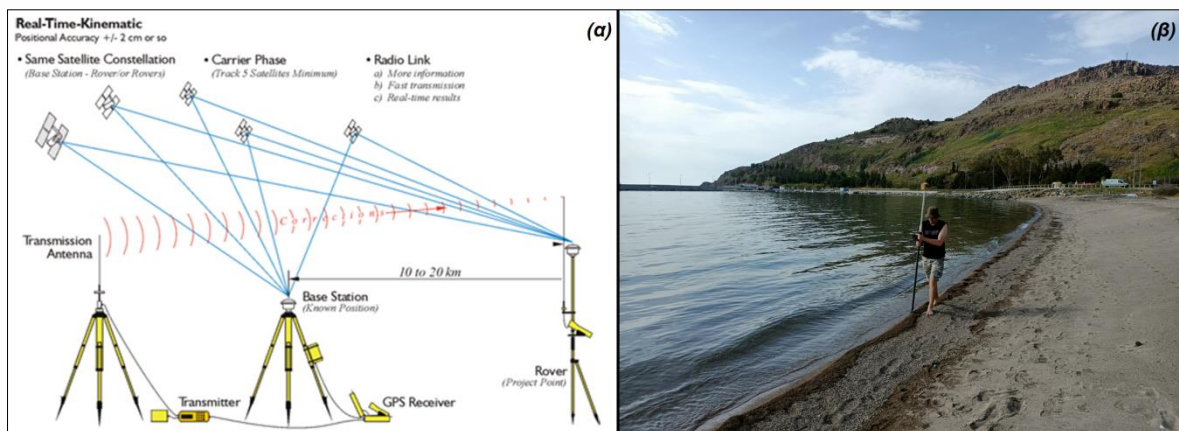
ΔΕΣΜΟΙ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

3.1 Τοπογραφικές αποτυπώσεις

Για τις εργασίες προσδιορισμού των τοπογραφικών χαρακτηριστικών των παραλιών (μήκος, πλάτος, κλίση, μορφολογία) χρησιμοποιήθηκαν κλασικές τοπογραφικές μέθοδοι υψηλής ακρίβειας (χρήση διαφορικού συστήματος προσδιορισμού θέσης (RTK-GPS) τύπου Top Con Hiper HR – Εικόνα 7), καθώς και καινοτόμες μέθοδοι καταγραφής της παράκτιας τοπογραφίας με μη επανδρωμένα πτητικά μέσα (Συστήματα μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών - ΣμηΕΑ). Τέλος, πραγματοποιήθηκε πειραματική αποτύπωση της παράκτιας γεωμορφολογίας με πολύ υψηλή ακρίβεια με χρήση Terrestrial Laser Scanner (TLS).

3.1.1 Διαφορικό σύστημα προσδιορισμού θέσης RTK-DGPS

Πραγματοποιήθηκε λεπτομερής αποτύπωση του εσωτερικού (ανώτερου) ορίου της κάθε παραλίας, της ακτογραμμής καθώς και πλήθος κάθετων τομών, έτσι ώστε να προσδιοριστεί με ακρίβεια η έκταση της παραλίας. Ως εσωτερικό όριο των παραλιών θεωρήθηκε το προς τη θάλασσα όριο των αμμωδών θινών, ανθρωπογενείς κατασκευές, ο πόδας απότομων πρανών κλπ. Τα δεδομένα αποθηκεύτηκαν σε αρχεία κατάλληλου τύπου, ώστε να είναι δυνατή η επεξεργασία και η εισαγωγή τους σε περιβάλλον Matlab και GIS, από όπου προέκυψαν, εκτός από την ακριβή έκταση των παραλιών, χαρακτηριστικές τομές (προφίλ), κλίσεις, μεταβολές της μορφολογίας κλπ.






Εικόνα 7: (α) Αρχή λειτουργίας RTK-GPS και (β) τοπογραφική αποτύπωση παραλίας.

Ειδικότερα για την παραλία του Coral Bay στην Κύπρο, λόγω χρήσης διαφορετικού γεωδαιτικού συστήματος, οι καταγραφές με RTK-DGPS πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας τον γεωδαιτικό δέκτη GNSS της Leica Viva GS15 (Εικόνα 7). Ο δέκτης GNSS χρησιμοποιείται κυρίως για τον προσδιορισμό των τρισδιάστατων συντεταγμένων με ιδιαίτερα υψηλή ακρίβεια στο Κυπριακό γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς ΓΣΑ'93. Δυο μέθοδοι μπορούν να εφαρμοστούν για τον προσδιορισμό της θέσης, είτε με την χρήση δυο δεκτών GNSS, είτε η σύνδεση του δέκτη με το κυπριακό δίκτυο (CYPOS) των επτά μόνιμων σταθμών (Ηλία, 2012).

3.1.2 Συστήματα μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (ΣμηΕΑ)

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για την αποτύπωση με φωτογραμμετρία είναι τα Συστήματα μη επανδρωμένων αεροσκαφών (ΣμηΕΑ), γνωστά και ως Unmanned Aerial Vehicle (UAV) που έχουν καθιερωθεί στο χώρο της φωτογραμμετρίας. Στις μέρες μας, τα ΣμηΕΑ αποτελούν μια πολύτιμη πηγή δεδομένων για θέματα της χαρτογράφησης και της τρισδιάστατης μοντελοποίησης. Τα ΣμηΕΑ μπορούν να πραγματοποιήσουν λήψεις με την ενσωματωμένη υψηλής ανάλυσης ψηφιακή κάμερα ή ακόμα μπορεί να εγκατασταθούν ερασιτεχνικές ή SLR ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές. Οι εναλλακτικές λύσεις χαμηλού κόστους του ΣμηΕΑ με την κλασική επανδρωμένη αεροφωτογράφιση έχει οδηγήσει στην εισαγωγή αρκετών νέων εφαρμογών σε τομείς μικρής και βραχείας εμβέλειας. Τα ΣμηΕΑ μπορούν να πετάξουν σε χειροκίνητες, ημιαυτόματες και αυτόνομες λειτουργίες και με ένα αυτοματοποιημένο τρόπο μπορούν να εξαχθούν αποτελέσματα όπως τρισδιάστατα μοντέλα, Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους και επιφάνειας (DTM/DSM) κλπ. Πλεονεκτήματα με την χρήση των UAV's είναι η ταχύτητα και η χαμηλού κόστους πτήσεις. Από την άλλη υπάρχουν και μειονεκτήματα στην χρήση των UAV's όπως είναι ο καιρός. Οι δυνατοί άνεμοι προκαλούν αστάθεια στο UAV και η ακρίβεια των αποτελεσμάτων με τέτοιες πτήσεις να μην είναι ικανοποιητική.

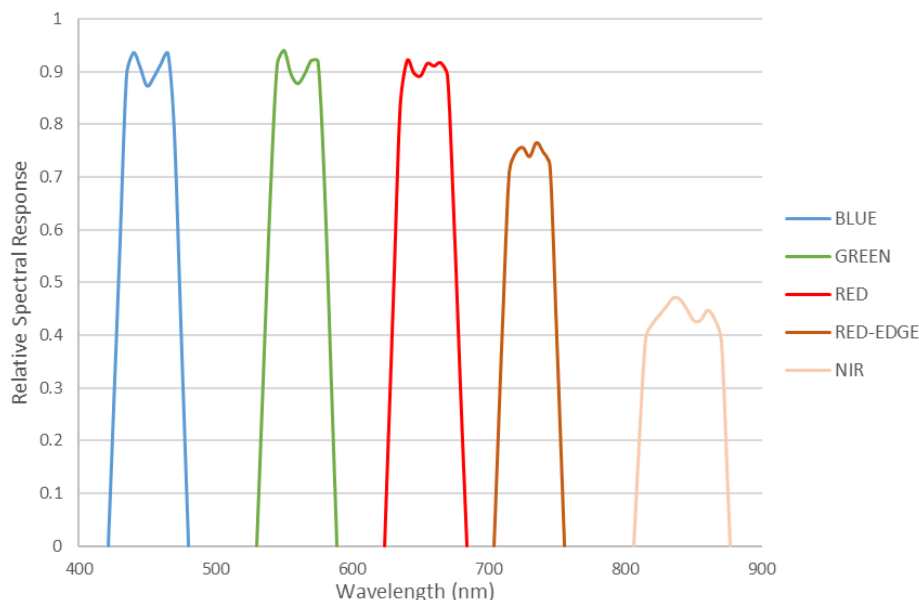
Πίνακας 1: Γενικά χαρακτηριστικά των μη επανδρωμένων αεροσκαφών με RGB αισθητήρα.

			
Όνομα μοντέλου ΣμηΕΑ	DJI Phantom 4	Phantom 4 RTK	DJI Phantom 4 Multispectral
Αισθητήρας	RGB	RGB	RGB + 5 Μονοχρωμικούς Αισθητήρες
Ανάλυση κάμερας	12 MP	20 MP	2.08 MP
Ανάλυση εικόνας	4000×3000	5472 × 3648	1600×1300
Εστιακό βάθος	20mm	24 mm	5.74 mm
Μέγεθος αισθητήρα	1/2.3"	1inch	1/2.9"

Για την υλοποίηση του ερευνητικού έργου συλλέχθηκαν δεδομένα υψηλής ακρίβειας από ΣμηΕΑ εξοπλισμένα με κατάλληλους οπτικούς αισθητήρες RGB. Όλες οι πτήσεις προγραμματίστηκαν κατάλληλα και πραγματοποιήθηκαν αυτοματοποιημένα με τη χρήση του λογισμικού DJI GS PRO. Τα ΣμηΕΑ που χρησιμοποιήθηκαν για την συλλογή των

δεδομένων ήταν το DJI Phantom 4 και το DJI Phantom 4 RTK τα οποία διαθέτουν οπτικό αισθητήρα RGB, καθώς και το DJI Phantom 4 Multispectral το οποίο διαθέτει αισθητήρα RGB μαζί με αισθητήρα πολυφασματικής ανάλυσης. Τα βασικά χαρακτηριστικά των ΣμηΕΑ που χρησιμοποιήθηκαν στην έρευνα παρατίθενται στον πίνακα

Το μη επανδρωμένο αεροσκάφος της DJI P4 Multispectral διαθέτει έξι ενσωματωμένους αισθητήρες (ένας RGB και πέντε πολυφασματικούς μονοχρωματικούς αισθητήρες). Κάθε αισθητήρας χρησιμοποιεί αποτελεσματικά εικονοστοιχεία 2,08 MP. Τα φίλτρα που χρησιμοποιούνται είναι: Μπλε (450 nm ± 16 nm), Πράσινο (560 nm ± 16 nm), Κόκκινο (650 nm ± 16 nm), Κόκκινο άκρο (730 nm ± 16 nm) και Εγγύς υπέρυθρο (840 nm ± 26 nm). Το FOV των φακών που χρησιμοποιούνται είναι 62.7°. Ένας άλλος αισθητήρας που χρησιμοποιείται από το UAV είναι ο ενσωματωμένος αισθητήρας φασματικού ηλιακού φωτός που συλλαμβάνει την ηλιακή ακτινοβολία. Στην Εικόνα 8 παρουσιάζεται η Σχετική Φασματική Απόκριση (Relative Spectral Response - RSR) του DJI PM4 που χρησιμοποιήθηκε στην έρευνα.



Εικόνα 8: Σχετική φασματική απόκριση (RSR) της DJI P4M.

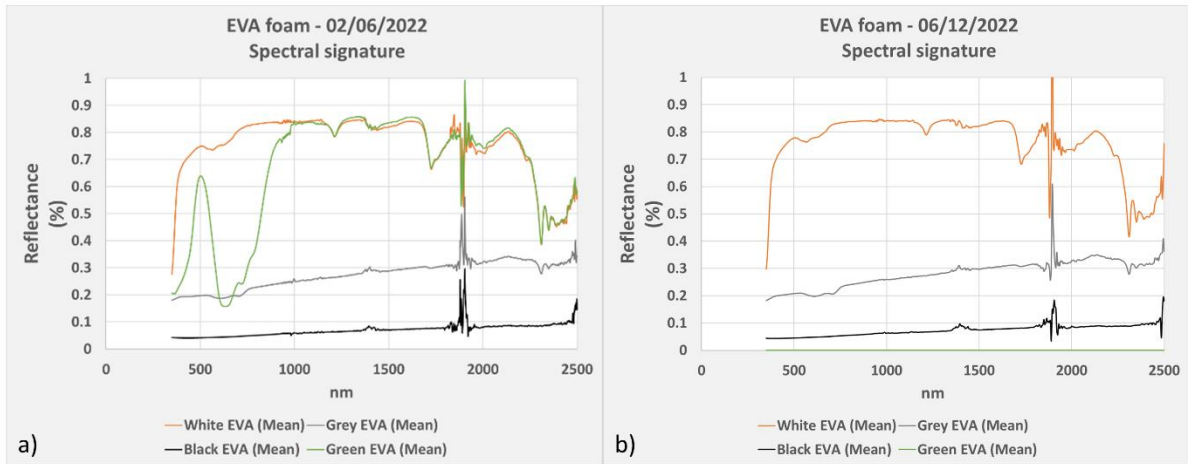
Παράλληλα, συλλέχθηκαν δεδομένα επικύρωσης των τιμών ανακλαστικότητας χρησιμοποιώντας το φασματοραδιόμετρο SVC 1024 (Εικόνα 9a) το οποίο έχει φασματικό εύρος 350 - 2500 nm. Οι εμπρόσθιοι οπτικοί φακοί που χρησιμοποιήθηκαν είχαν οπτικό πεδίο 4° και όλα τα δεδομένα συλλέχθηκαν από ύψος 1.1 m, το οποίο μεταφράζεται σε κυκλική κάλυψη εδάφους με διάμετρο 0.08 m. Το όργανο χρησιμοποιεί τρεις ανιχνευτές που εκτείνονται στο ορατό, εγγύς υπέρυθρο και βραχύ κύμα υπέρυθρου με εύρος ζώνης: ≤ 3.5 nm για 350 - 1000 nm, ≤ 3.8 nm για 1000 - 1885 nm και ≤ 2.5 nm για 1885 - 2500 nm. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν μεταξύ 10:00 π.μ. και 14:00 μ.μ. τοπική ώρα. Ένα βαθμονομημένο πάνελ φασμάτων (Spectralon Panel) -επιφάνεια Lambertian- χρησιμοποιήθηκε για την βαθμονόμηση των μετρήσεων.



Εικόνα 9: α) Το φασματοραδιόμετρο HR 1024 και πάνελ αφρού EVA που χρησιμοποιήθηκαν για τη βαθμονόμηση των δεδομένων του πολυφασματικού δέκτη. β) Παράδειγμα εφαρμογής χρωματικής μάσκας στα πάνελ βαθμονόμησης.

Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο πεδίο για τη βαθμονόμηση/επικύρωση των οπτικών δεδομένων από τα ΣμηΕΑ που έφεραν πολυφασματικό δέκτη (στην περίπτωση της παραλίας του Coral Bay) ήταν πάνελ από αφρό EVA ή αλλιώς συμπολυμερές αιθυλενίου- οξικού βινυλίου. Οι αφροί EVA έχουν λαμπεριανή συμπεριφορά αλλά και υψηλή οριζόντια ομοιογένεια (Ponce-Alcántara et al. 2015). Οι διαστάσεις κάθε πάνελ αφρού EVA, που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη, ήταν 30 cm (μήκος) x 30 cm (πλάτος) x 1 cm (πάχος). Τα χρώματα των αφρών EVA που χρησιμοποιήθηκαν ήταν το μαύρο, το γκρι, το λευκό (Εικόνα 9b) καθώς και το πράσινο το οποίο χρησιμοποιήθηκε στην επικύρωση των αποτελεσμάτων ανακλαστικότητας κατά την βαθμονόμησης του ορθομωσαϊκού. Αυτά τα πάνελ είναι πολύ βολικά αφού είναι ελαφριά, εύκολα στην μεταφορά τους και καθαρίζονται εύκολα χρησιμοποιώντας πιεσμένο αέρα. Παρέχουν ένα καλό υλικό για αναφορά ανάκλασης όταν πρόκειται για τη βαθμονόμηση εικόνων μη επανδρωμένων αεροσκαφών και ραδιομετρικών μετρήσεων (Padró et al., 2018).

Στις εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζονται οι μέσες τιμές ανακλαστικότητας όλων των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκε με λήψη εικόνων των EVA από ΣμηΕΑ στις 02/06/2022 και 06/12/2022 στην παραλία του Coral Bay, όπου ήταν και η μοναδική παραλία στην οποία πραγματοποιήθηκε πτήση και με πολυφασματικό αισθητήρα 5 χρωμάτων, πέρα από τον κλασικό RGB αισθητήρα που χρησιμοποιήθηκε σε όλες τις περιοχές μελέτης.



Εικόνα 10: Φασματικές υπογραφές των πάνελς EVA όπως ανιχνεύτηκαν στις φωτογραφίες των ΣμηΕΑ που ελήφθησαν στις α) 02/06/2022 και β) 06/12/2022 από την παραλία Coral Bay.

Ακολούθησε ο υπολογισμός της ανάκλασης που παίρνει σε κάθε μήκος κύματος ($C_k(\lambda)$) για κάθε κανάλι της πολυφασματικής εικόνας με την βοήθεια της RSR που παρουσιάζεται στην εικόνα 10.

Η εξίσωση που χρησιμοποιείται συνήθως για τον υπολογισμό της αντιπροσωπευτικής τιμής ανάκλασης για τους αισθητήρες της κάμερας είναι:

$$r_{x,k} = \frac{\int_{425}^{875} R_x(\lambda) C_k(\lambda) d\lambda}{\int_{425}^{875} C_k(\lambda) d\lambda}$$

όπου $r_{x,k}$ = μέση τιμή φασματικής τιμής του πίνακα βαθμονόμησης x και της ζώνης k . λ = μήκος κύματος (nm) x = μεταβολή επιφάνειας για την περιοχή από 425 έως 875 nm του πίνακα βαθμονόμησης/επικύρωσης x και C_k = σχετική φασματική ευαισθησία της ζώνης k για τον αισθητήρα DJI P4M στην περιοχή από 425 έως 875 nm .

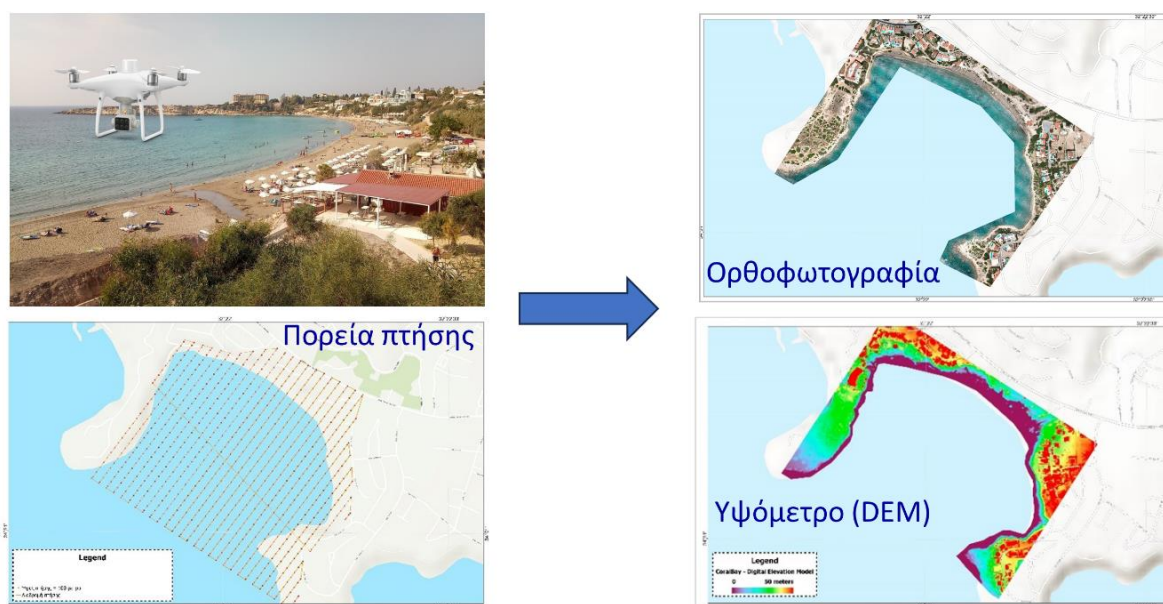
Τα μετρούμενα φάσματα ανάκλασης των πινάκων βαθμονόμησης και επικύρωσης μετατράπηκαν στις μέσες τιμές φασματικής ανάκλασης προσαρμοσμένες στη φασματική ευαισθησία των αισθητήρων και παρουσιάζονται.

Για τις ανάγκες του έργου πραγματοποιήθηκαν 3 πτήσεις στην περιοχή της παραλίας Πέτρας Λέσβου, 2 πτήσεις στην παραλία της Κώμης Χίου (μια στο πλαίσιο του έργου και μια από παλιότερη καταγραφή), 1 στην παραλία του Ιστορικού και 2 στην παραλία του Coral Bay. Στο παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι ημερομηνίες συλλογής των οπτικών δεδομένων (φωτογραφιών). Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 8 πτήσεις κατά τις οποίες συνελέγησαν 2,387 αεροφωτογραφίες υψηλής ανάλυσης.

Πίνακας 2: Ημερομηνίες διεξαγωγής πτήσεων με ΣμηΕΑ για την αποτύπωση της παράκτιας τοπογραφίας.

Αριθμός Πτήσης - Μοντέλο ΣμηΕΑ	Ημερομηνία	Παραλία	Αριθμός Φωτογραφιών
1 - Phantom 4	12/09/2022	Πέτρα	151
2 - Phantom 4 RTK	20/02/2023	Πέτρα	178
3 - Phantom 4 RTK	08/06/2023	Πέτρα	168
4 - Phantom 4	07/06/2016	Κώμη	478
5 - Phantom 4 RTK	17/10/2023	Κώμη	470
6 - Phantom 4 RTK	12/10/2022	Ιστορικό	208
7 - Phantom 4 Multispectral & Phantom 4 RTK	02/06/2022	Coral Bay	1,655 & 1,083
8 - Phantom 4 Multispectral & Phantom 4 RTK	06/12/2022	Coral Bay	319 & 933

Τα οπτικά δεδομένα των ΣμηΕΑ επεξεργάστηκαν με το λογισμικό Agisoft Metashape. Στην περίπτωση των πτήσεων με RGB αισθητήρα τα τελικά αποτελέσματα ήταν ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM) υψηλής χωρικής ανάλυσης, καθώς και μια ορθοφωτογραφία για κάθε πτήση (Εικόνα 11) ενώ στην πτήση με ΣμηΕΑ που έφεραν πολυφασματικό δέκτη (στην περίπτωση του Coral Bay), τα τελικά προϊόντα της ανάλυσης ήταν ένα DEM χαμηλότερης ανάλυσης και μια πολυφασματική εικόνα για κάθε πτήση.



Εικόνα 11: Τα διεργαστικά στάδια που ακολουθήθηκαν για την παραγωγή του ψηφιακού μοντέλου εδάφους υψηλής ακρίβειας (DEM) (παράδειγμα από δεδομένα της παραλίας του Coral Bay).

Για την επεξεργασία των εικόνων που λήφθηκαν από RGB αισθητήρα, ακολουθήθηκαν τα ακόλουθα διεργαστικά βήματα:

- (1) Εισαγωγή των εικόνων στο λογισμικό Agisoft Metashape
- (2) Ρυθμίσεις του Συστήματος Αναφοράς (ΣΑ).
- (3) Εισαγωγή των μετρήσεων πεδίου με GPS.
- (4) Δημιουργία Μασκών στο σετ εικόνων.
- (5) Εντολή ευθυγράμμισης (Alignment).
- (6) Βελτιστοποίηση ευθυγράμμισης (Optimize alignment).
- (7) Καθορισμός πλαισίου ανακατασκευής (Boundary box).
- (8) Δημιουργία πυκνού νέφους σημείων (Dense Cloud).
- (9) Δημιουργία Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους (Build DEM).
- (10) Δημιουργία Ορθό-φωτογραφίας της περιοχής μελέτης (Build Orthomosaic).

Για την επεξεργασία των εικόνων που λήφθηκαν από πολυφασματικό αισθητήρα, ακολουθήθηκαν τα ακόλουθα διεργαστικά βήματα:

- (1) Εισαγωγή των εικόνων στο λογισμικό
- (2) Ετοιμασία στόχων βαθμονόμησης ανακλαστικότητας (Panel Eva).
- (3) Εισαγωγή μετρήσεων ραδιομέτρου για το πάνελ βαθμονόμησης που μετρήθηκε.
- (4) Εισαγωγή των μετρήσεων πεδίου με GPS.
- (5) Δημιουργία Μασκών στο σετ εικόνων.
- (6) Εντολή ευθυγράμμισης (Alignment).
- (7) Βελτιστοποίηση ευθυγράμμισης (Optimize alignment).
- (8) Καθορισμός πλαισίου ανακατασκευής (Boundary box).
- (9) Δημιουργία Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους - ΨΜΕ (Build DEM).
- (10) Δημιουργία Ορθό-φωτογραφίας της περιοχής μελέτης (Build Orthomosaic).
- (11) Μετασχηματισμός ψηφιδωτού.
- (12) Εξαγωγή ορθομωσαϊκού.

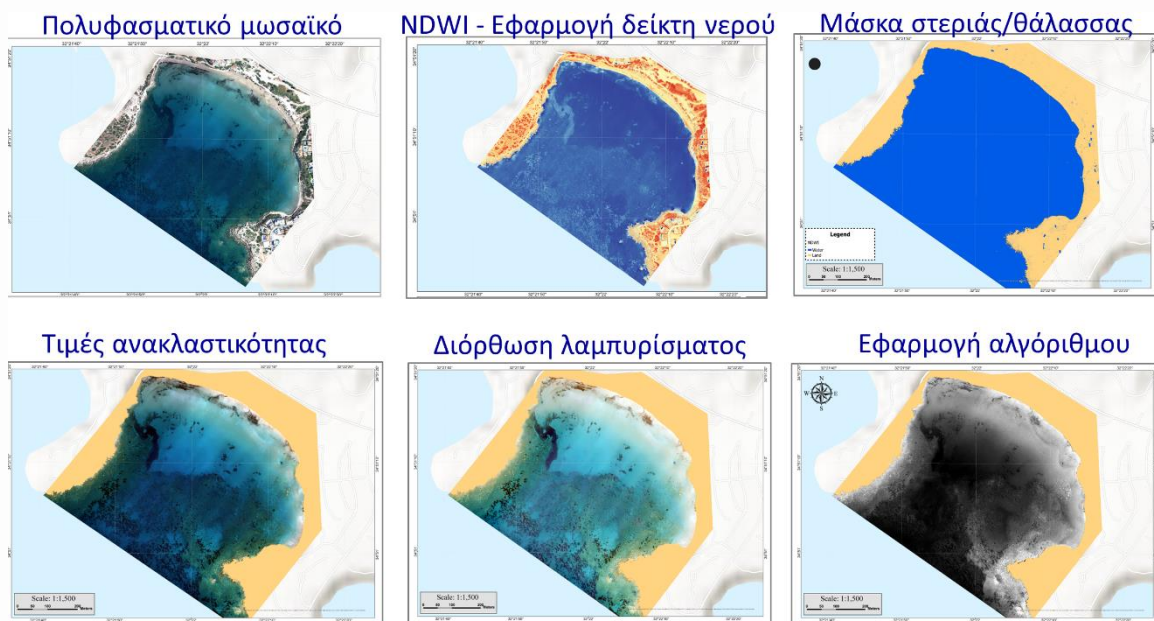
Καταγράφηκε με ακρίβεια η θέση της ακτογραμμής για κάθε πτήση που πραγματοποιήθηκε. Επιπρόσθετα, στην περίπτωση περισσότερων από μίας πτήσεων στην ίδια παραλία (Πέτρα και Κώμη), πραγματοποιήθηκε σύγκριση της θέσης της ακτογραμμής μεταξύ των διαφορετικών ημερομηνιών, ενώ εκτιμήθηκαν τα εμβαδά διάβρωσης και απόθεσης. Κάτι τέτοιο κατέστη εφικτό με χρήση του εργαλείου Digital Shoreline Analysis System (DSAS) μέσω του οποίου εξήχθη ο δείκτης Net Shoreline Movement (NSM) από τον οποίο υπολογίζεται η μέγιστη και μέση απόσταση, των 2 συγκρινόμενων ακτογραμμών. Επιπρόσθετα, ο συγκεκριμένος δείκτης προσδίδει το ποσοστό των παραλιακών προφίλ (θέσεων κάθετα προς την παραλία) που εμφανίζουν διαφοροποιήσεις. Οι θετικές τιμές εκφράζουν το φαινόμενο της απόθεσης ενώ οι αρνητικές το φαινόμενο της διάβρωσης.

Παράλληλα, πραγματοποιήθηκε πείραμα διερεύνησης του ενδεχόμενου εξαγωγής της παράκτιας βαθυμετρίας μέσα από τα δεδομένα των ΣμηΕΑ που λήφθηκαν στην παραλία Coral Bay. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκαν τα σχεδόν ταυτόχρονα ορθομωσαϊκά και ορθοφωτογραφίες (που παράχθηκαν από επεξεργασία των δεδομένων πτήσεων με RGB και πολυφασματικό αισθητήρα αντίστοιχα). Το πρώτο βήμα που υλοποιήθηκε για την

Εκτίμηση Βαθυμετρίας (ΕΒ) είναι ο διαχωρισμός Στεριάς/Θάλασσας χρησιμοποιώντας τον Δείκτη Νερού Κανονικοποιημένης Διαφοράς (NDWI) με τον οποίο μπορούν να οριοθετηθούν τα χαρακτηριστικά νερού στις ψηφιακές εικόνες με τους παθητικούς δέκτες (McFeeters, 2007). Η ακόλουθη εξίσωση δείχνει τον δείκτη NDWI που χρησιμοποιήθηκε:

$$NDWI = \frac{B_{green} - B_{NIR}}{B_{green} + B_{NIR}}$$

όπου, B_{green} είναι η πράσινη ζώνη, ενώ η τιμή B_{NIR} αντιπροσωπεύει τις τιμές ζώνης της ακτινοβολίας στο εγγύς υπέρυθρο.



Εικόνα 12: Τα διεργαστικά μεθοδολογικά βήματα που ακολουθήθηκαν για την εξαγωγή της παράκτιας βαθυμετρίας από τα δεδομένα ΣμηΕΑ στην παραλία του Coral Bay.

Με την χρήση του λογισμικού ArcGIS pro εφαρμόστηκε η πιο πάνω εξίσωση στις πολυφασματικές εικόνες. Στην συνέχεια εντοπίστηκε η τιμή διαχωρισμού του νερού/στεριάς (0.35) και με την βοήθεια του εργαλείου Raster Calculator και Simplify polygons δημιουργήθηκαν οι μάσκες στεριάς και θάλασσας. Χρησιμοποιώντας την μάσκα της θάλασσας και την πολυφασματική εικόνα (06/12/2022) απομονώθηκαν τα κελία της θάλασσας. Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος μετασχηματισμού λόγου του Stumpf et al., (2003). Η μέθοδος μετασχηματισμού λόγου έχει αρκετά πλεονεκτήματα για τη χρήση παθητικών εικόνων πολυφασματικών εικόνων για τη χαρτογράφηση βαθυμετρίας ρηχού νερού σε σχέση με άλλες μεθόδους. Ο αλγόριθμος μετατροπής αναλογίας που προτάθηκε από τον Stumpf et al., (2003) μπορεί να εφαρμοστεί σε ζώνες με διαφορετική απορρόφηση στο νερό και να εφαρμοστούν κατάλληλα σε μήκη κύματος οποιουδήποτε αισθητήρα. Επειδή οι μπλε και πράσινες ζώνες έχουν χαμηλότερη απορρόφηση, ο λόγος των δυο ζωνών παραμένει ο ίδιος παρά τη διαφορετική σκίαση του πυθμένα σε σταθερό βάθος. Έτσι η μαθηματική εξίσωση του Stumpf έχει ως εξής:

$$Z = m_0 \frac{\ln(n * r_{rs}(li))}{\ln(n * r_{rs}(lj))} - m_1$$

όπου Z είναι το βάθος, m_0 και m_1 είναι σταθερά για τον συντονισμό του μοντέλου με το πραγματικό βάθος, το n είναι μια σταθερά για να διασφαλιστεί ότι ο λόγος παραμένει θετικός κάτω από όλες τις τιμές και $R(li)$ και $R(lj)$ είναι οι ζώνες στο μπλε ορατό (li) και πράσινο (lj).

Χρησιμοποιώντας τα σημεία βαθμονόμησης και την ανωτέρω εξίσωση/αλγόριθμο, παράχθηκε ένας βαθυμετρικός χάρτης της περιοχής μελέτης. Για την επικύρωση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκαν οι αναλυτικές βαθυμετρικές αποτυπώσεις οι οποίες παρουσιάζονται στην ενότητα 3.3.1.4.

Σημειώνεται ότι η μεθοδολογία και τα αποτελέσματα των αποτυπώσεων με ΣμηΕΑ παρουσιάζονται στο συγκεκριμένο παραδοτέο αφού αποτελούν μια από τις μεθόδους τοπογραφικής αποτύπωσης, και επαναλαμβάνονται στο παραδοτέο 4.3.3 που αφορά τις τηλεπισκοπικές μεθόδους προκειμένου να υπάρχει η αλληλουχία των μεθοδολογιών.

3.1.3 Επίγειος Σαρωτής Laser (TLS)

Ο επίγειος σαρωτής Laser (Terrestrial Laser Scanner - TLS) είναι εξειδικευμένος εξοπλισμός ο οποίος χρησιμοποιήθηκε πειραματικά στην αποτύπωση μέρους της παραλίας του Κόπου των Κοραλλιών (Coral Bay) όπου χρειαζόταν υψηλή ακρίβεια στην δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου εδάφους (DEM). Τα TLS είναι ενεργητικά όργανα με τα οποία μπορούν να συλλεχθούν εκατοντάδες ή χιλιάδες σημεία ανά δευτερόλεπτο. Το laser scanner εκπέμπει ακτίνες laser υπό την μορφή κύματος ή παλμού στο αντικείμενο μελέτης, ανακλάται και επιστρέφει στο όργανο υπολογίζοντας έτσι την απόσταση και τις συντεταγμένες X,Y,Z κάθε σημείου. Το άμεσο προϊόν της σάρωσης είναι ένα νέφος σημείων.

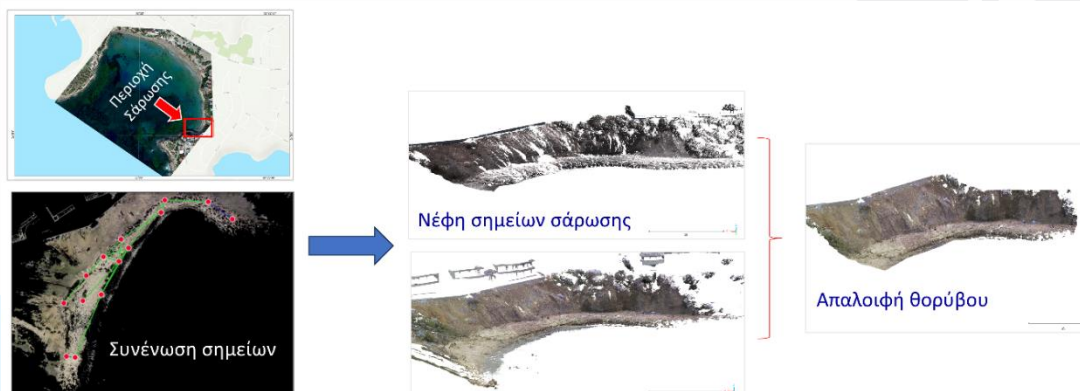
Ο επίγειος σαρωτής ο οποίος που χρησιμοποιήθηκε στην έρευνα παραλίας είναι το ScanStation C10 της εταιρίας Leica και προσφέρει υψηλή ακρίβεια (Εικόνα 13). Ο σαρωτής έχει παλλόμενο λέιζερ δηλαδή τεχνολογίας Time of Flight, με πράσινο κλάσης 3R laser. Επίσης, το όργανο ανήκει στους πανοραμικούς σαρωτές, έχει την δυνατότητα αποτύπωσης 270 μοιρών κατά τον κατακόρυφο άξονα με την βοήθεια των δύο κινούμενων κατόπτρων. Η ακρίβεια μιας μέτρησης είναι 6mm και 4mm ως προς την θέση σε απόσταση με εμβέλεια 1m μέχρι και 50m και η γωνιακή ανάλυση είναι 60 mrad. Υπάρχει ενσωματωμένη έγχρωμη ψηφιακή κάμερα με ανάλυση 4megapixels με zoom video. Το κέντρο εκπομπής της δέσμης λέιζερ ταυτίζεται με το κέντρο της κάμερας. Επίσης, έχει την δυνατότητα να φωτογραφίζει και να αποδίδει χρωματική υφή από την κάμερα στο νέφος σημείων. Ο σαρωτής διαθέτει ενσωματωμένο σκληρό δίσκο χωρητικότητας 80 gb για την αποθήκευση των μετρήσεων καθώς και θύρα USB για την μεταφορά των δεδομένων. Το μέγεθος της κουκίδας λέιζερ είναι 4.5mm στα 50m, με ρυθμό σάρωσης 50.000 σημεία ανά δευτερόλεπτο και με ελάχιστη εστίαση το πολύ 1 μέτρο, ενώ η εμβέλεια είναι έως 300 μέτρα. Επιπλέον, έχει την δυνατότητα αυτόματης αναγνώρισης και

σάρωσης στόχων με υψηλή ανάλυση. Εκτός αυτού, ο σαρωτής μπορεί να πραγματοποιήσει όδευση χωρίς τη χρήση waypoints και η δυνατότητα συνεργασίας με τα τοπογραφικά όργανα (δηλαδή σάρωση με GPS). Τα παρελκόμενα τα οποία χρειάστηκαν κατά την αποτύπωση είναι δυο τρίποδες, τέσσερις τουλάχιστον μπαταρίες του οργάνου και το σύστημα διπλού στόχου το οποίο χρησιμοποιήθηκε στα σημεία όδευσης γνωστών συντεταγμένων. Οι στόχοι είναι συγκεκριμένων διαστάσεων, ειδικοί για κάθε όργανο και το υλικό κατασκευής τους είναι με μεγάλη ανακλαστικότητα.



Εικόνα 13: Ο επίγειος σαρωτής laser τύπου Leica Scan Station C10 όπως αναπτύχθηκε στο Coral Bay.

Τα δεδομένα που ελήφθησαν από το TLS στο πείραμα που έλαβε χώρα στην παραλία του Coral Bay ήταν της τάξης των 3 Terabyte, λόγω της υψηλής χωρικής ανάλυσης (ακρίβεια της τάξης του εκατοστού). Η επεξεργασία τους πραγματοποιήθηκε σε ειδικό υπολογιστή (workstation) και περιελάμβανε αρχικά τη συνένωση των σημείων της περιοχής σάρωσης για τη δημιουργία νέφους σημείων σάρωσης (πυκνό τρισδιάτο κάνναβο – grid) και τέλος την απαλοιφή θορύβου από τα δεδομένα λόγω των διαφορετικών ανακλαστικών επιφανειών (Εικόνα 14). Τέλος, εκτιμήθηκε η τυπική απόκλιση (Standard Deviation - STD) και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (Root Mean Square Error - RMSE) των σημείων σάρωσης, συγκρίνοντας με τα τοπογραφικά δεδομένα που ζητήθηκαν και ελήφθησαν για την περιοχή από το κτηματολόγιο Κύπρου.



Εικόνα 14: Τα μεθοδολογικά βήματα που ακολουθήθηκαν για την επεξεργασία των δεδομένων που ελήφθησαν με το TLS στην παραλία Coral Bay.

3.2 Αποτύπωση υποθαλάσσιας μορφολογίας

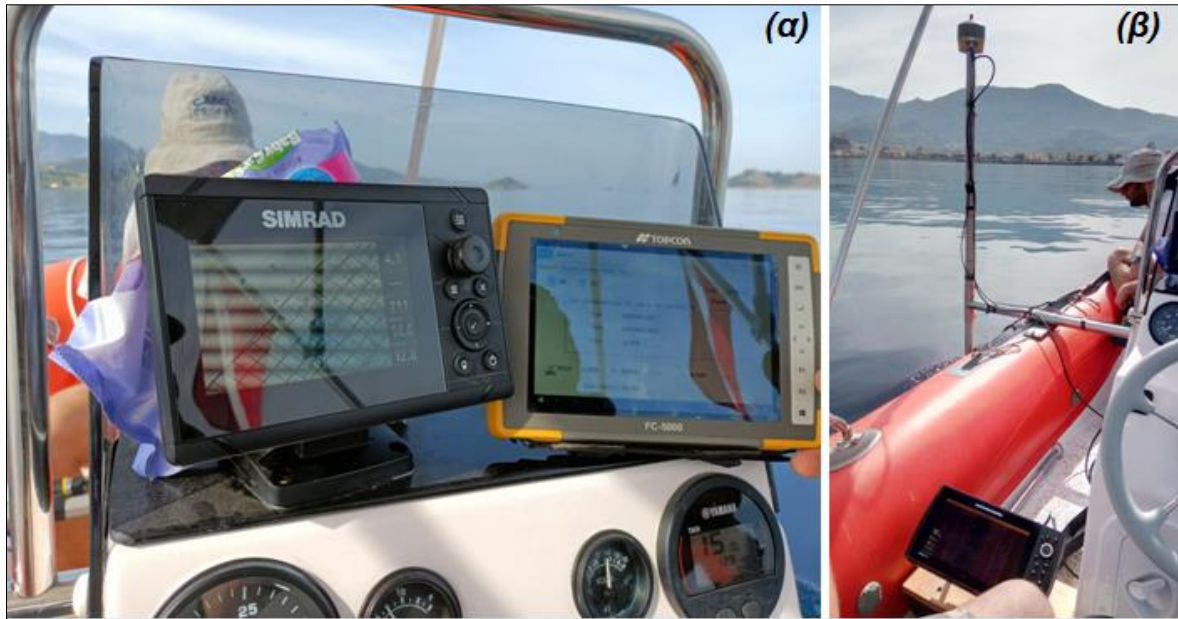
Οι εργασίες πεδίου πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση των φουσκωτών σκαφών «ΑΚΤΑΙΑ» του ΤΩΘΒΕ μήκους 4.5 m και «Β ΙΩ VII» που νοικιάστηκε στην Κύπρο μήκους 7 m (Εικόνα 15). Η ταχύτητα κατά τη διάρκεια συλλογής των βυθομετρικών και μορφολογικών δεδομένων δεν υπερέβη τους 3.5 – 4 κόμβους. Η συνδυαστική βυθομετρική-μορφολογική αποτύπωση των πιλοτικών παραλιών έγινε με χαρτογράφηση για βάθη περίπου 0.5 - 30 m.



Εικόνα 15: Φωτογραφίες των δύο πλωτών μέσων που χρησιμοποιήθηκαν στις έρευνες πεδίου: τα φουσκωτά (α) «ΑΚΤΑΙΑ» του ΤΩΘΒΕ και (β) «Β ΙΩ VII».

3.2.1 Βυθομετρική αποτύπωση

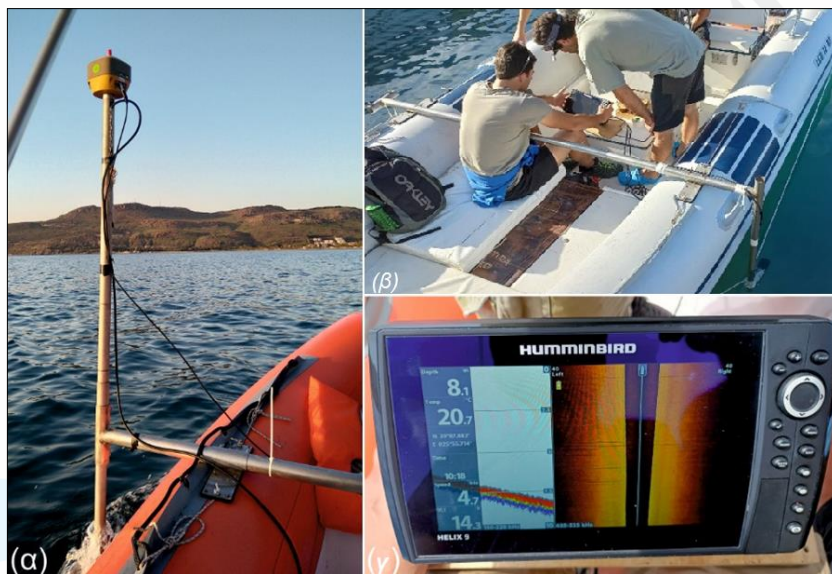
Η αποτύπωση της βυθομετρίας πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του ψηφιακού-υδρογραφικού βυθομέτρου τύπου “SonarMite v5 Echo Sounder” σε συνδυασμό με το διαφορικό δορυφορικό σύστημα προσδιορισμού θέσης (DGPS) τύπου TopCon Hiper HR (Εικόνα 16). Τα δεδομένα (ψηφιακά βάθη και συντεταγμένες) αποθηκεύονταν μέσω κατάλληλου λογισμικού στον ενσωματωμένο υπολογιστή του βυθομέτρου και τελικά μετατράπηκαν σε μορφή αρχείου .txt. Κατά την επεξεργασία, ορισμένα δεδομένα αφαιρέθηκαν καθώς προσέδιδαν σημαντικά σφάλματα στο βυθομετρικού χάρτη. Σε όλα τα σημεία έγινε αναγωγή ως προς το βύθισμα του πομποδέκτη του βυθομέτρου. Οι συντεταγμένες των σημείων γεωαναφέρθηκαν στο Παγκόσμιο Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς WGS84 με Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή UTM. Τα επεξεργασμένα αρχεία εισήχθησαν στο QGIS και δημιουργήθηκαν shapefiles με τα καταγεγραμμένα σημεία μαζί με τα βάθη τους. Η μετατροπή της σημειακής πληροφορίας σε συνεχή πληροφορία επιφανείας έγινε με μεθόδους χωρικής παρεμβολής. Το τελευταίο στάδιο ήταν η δημιουργία των βυθομετρικών χαρτών στους οποίους ενσωματώθηκε ένα υπόβαθρο τύπου Google Earth.



Εικόνα 16: (α) Η μονάδα καταγραφής του ψηφιακού βυθομέτρου “SonarMite v5 Echo Sounder” και (β) το RTK-GPS τύπου TopCon Higher HR προσαρμοσμένο πάνω από τον πομποδέκτη του βυθομέτρου.

3.2.2 Μορφολογική αποτύπωση

Για τη μορφολογική αποτύπωση έγινε χρήση του βυθομέτρου “Humminbird Helix 10” (Εικόνα 17), το οποίο χρησιμοποιεί την τεχνολογία CHIRP 2D sonar με δύο κανάλια καταγραφής σε τρεις συχνότητες (low:28-64, medium: 64-135 και high:135-250 kHz) με αποτέλεσμα να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα μεγάλο εύρος βαθών, ωστόσο είναι ιδανικό για ρηχά νερά. Η χρήση του έγινε παράλληλα με το GPS-RTK, το οποίο τοποθετήθηκε στη βάση του φουσκωτού ακριβώς πάνω από το όργανο καταγραφής προκειμένου να επιτευχθεί και η μέγιστη ακρίβεια. Η συλλογή των ψηφιακών δεδομένων έγινε με το λογισμικό του οργάνου (Humminbird).



Εικόνα 17: (α) το RTK-GPS τύπου TopCon Higher HR προσαρμοσμένο στη βάση του βυθομέτρου, (β) η διάταξη του εξοπλισμού πάνω στο φουσκωτό και (γ) το σύστημα καταγραφής Humminbird.

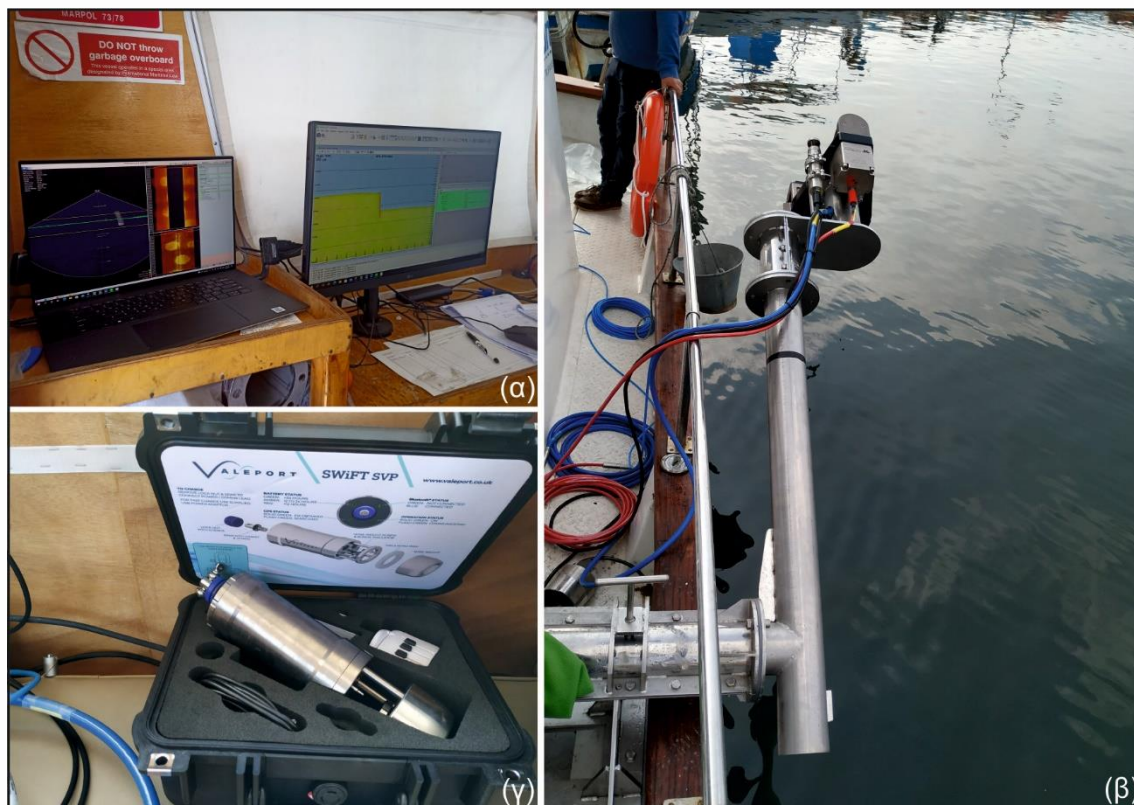
Μεταξύ των πορειών υπήρχε επικάλυψη έτσι ώστε να είναι δυνατή η κατασκευή μωσαϊκών ηχογραφιών. Το εύρος καταγραφής κυμαίνονταν μεταξύ 80 και 120 m, ανάλογα με την περιοχή. Οι καταγραφές που συλλέχθηκαν μετατράπηκαν μέσω του ίδιου προγράμματος σε αρχεία τύπου .xtf, τα οποία είναι διαχειρίσιμα από το λογισμικό SonarwizMap που επιτρέπει την περαιτέρω ανάλυση ψηφιακών θαλάσσιων γεωφυσικών δεδομένων. Μέσω του λογισμικού αυτού οι καταγραφές διορθώθηκαν ως προς την υδάτινη στήλη (αυτόματη ή χειροκίνητη μέσω του bottom tracking) έτσι ώστε οι καταγραφές να γίνουν ισομετρικές (διόρθωση εύρους σάρωσης), ενισχύθηκε η ένταση των ηχογραφιών για την καλύτερη αποτύπωση διάφορων χαρακτηριστικών και τελικά από τη σύνθεση των επικαλυπτόμενων ηχογραφιών κατασκευάστηκαν “γεω-αναφερμένα μωσαϊκά” (.geotiff) υψηλής ανάλυσης και εισήχθησαν σε περιβάλλον QGIS σε WGS 84 – UTM projection. Η περαιτέρω μελέτη των ηχογραφιών (μεμονωμένα) αλλά και των μωσαϊκών οδήγησε στη χαρτογράφηση των σημαντικότερων τύπων ανακλαστικότητας και τελικά στην κατασκευή των μορφολογικών χαρτών των περιοχών μελέτης.

3.2.2.1 Πολυδεσμικός ηχοβολιστής (MBES)

Στη μοναδική περίπτωση του βαθύτερου τμήματος του Ιστορικού στη Λέσβο έγινε χρήση του πολυδεσμικού ηχοβολιστή (MBES). Η χρήση του συστήματος SeaBat T20-R έγινε αποκλειστικά με το «Ε/Σ Αμφιτρίτη», καθώς η μετακίνησή του και η επανεγκατάστασή του σε άλλο σκάφος είναι δύσκολη και αρκετά χρονοβόρα. Το σύστημα SeaBat T20-R αποτελείται από:

- Την μονάδα επεξεργασίας και ελέγχου Rack-mounted Sonar Processor (RSP)
- Τον πομπό TC2181 single broadband
- Τον δέκτη EM7219 single broadband
- Την μονάδα μέτρησης αδράνειας IMU
- Την μονάδα μέτρησης ταχύτητας επιφανείας (SVS)
- Δύο κεραίες GPS (κύρια, δευτερεύουσα)
- Φορητό υπολογιστή με το λογισμικό πλοήγησης PDS

Το σύστημα συνοδεύεται από το SWiFT SVP, το οποίο χρησιμοποιείται στα πλαίσια βαθμονόμησης, διορθώνοντας την ταχύτητα ήχου στην υδάτινη στήλη (Εικόνα 18).

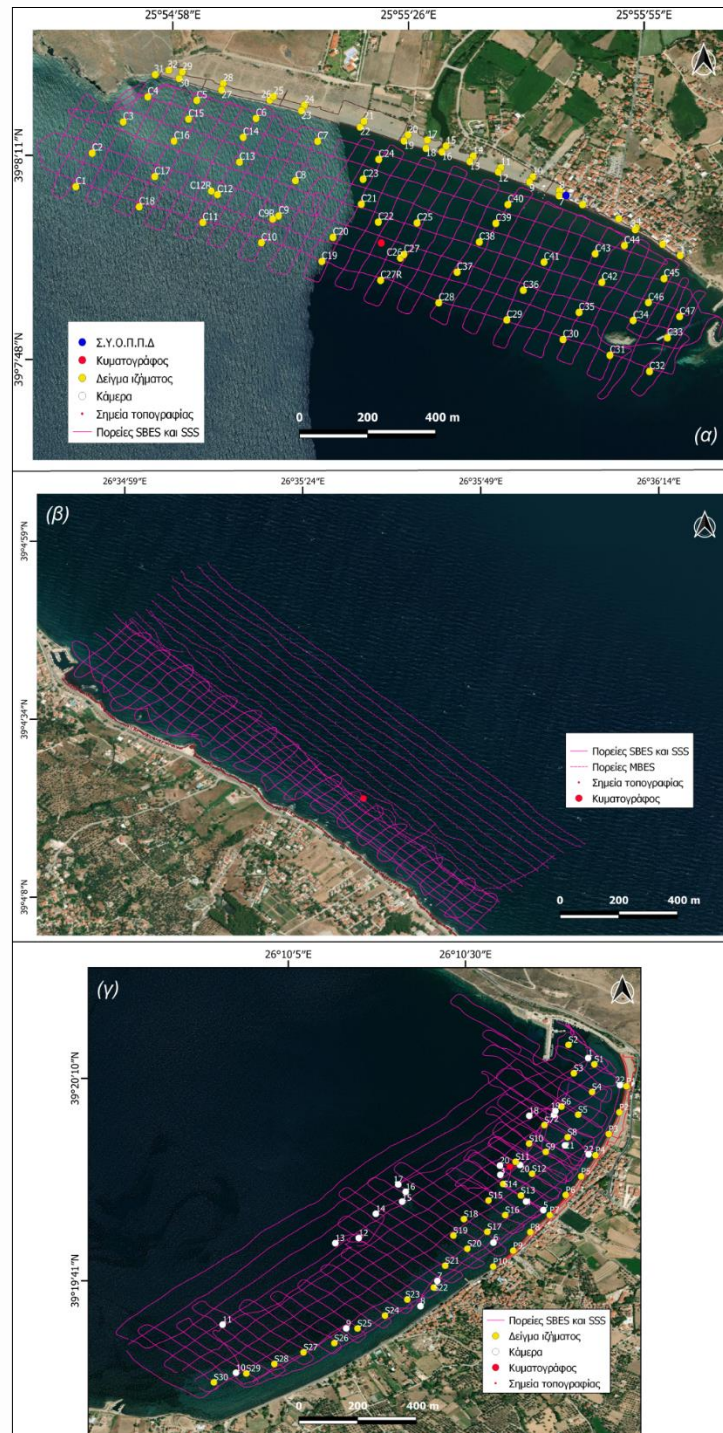


Εικόνα 18: (α) Ο υπολογιστής κατά τη συλλογή δεδομένων με το λογισμικό PDS, (β) η καταδυόμενη μονάδα του MBES στη βάση της πάνω στο Ε/Σ «Αμφιτριτη» και (γ) το SVP.

Ο σχεδιασμός του κανάβου των πορειών βασίστηκε στη διεύθυνση και προσανατολισμό της παραλίας, καθώς ο καιρός το επέτρεψε. Η απόσταση μεταξύ των πορειών ορίστηκε στα 180 m.

Πριν την έναρξη συλλογής δεδομένων με το MBES, προηγήθηκε η διαδικασία της βαθμονόμησης του οργάνου (με τέσσερις δοκιμαστικές πορείες όπως ορίζεται από τον κατασκευαστή), καθώς επίσης κατά τη συλλογή των δεδομένων γινόταν, όπου ήταν απαραίτητο, λήψη προφίλ με το SVP προκειμένου να διορθωθεί η ταχύτητα του ήχου στην υδάτινη στήλη. Η ταχύτητα του σκάφους κατά τη διάρκεια συλλογής των μορφολογικών δεδομένων δεν υπερέβη τους 3-3.5 κόμβους. Η γεωαναφορά των δεδομένων έγινε με το DGPS – RTK του συστήματος SeaBat T20-R και η απεικόνιση των δεδομένων έγινε στο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς WGS84 - UTM. Κατά τη συλλογή των δεδομένων οι ρυθμίσεις που επιλέχθηκαν ήταν 512 ηχητικές δέσμες (beams) με εύρος σάρωσης (swath coverage) 140° και συχνότητα 420 kHz. Η επεξεργασία των δεδομένων βαθυμετρίας και οπισθοσκέδασης (backscatter) από το σύστημα SeaBat T20-R έγινε με το λογισμικό PDS από όπου εξήχθησαν αρχεία τύπου ASCII με χωρική ανάλυση 1 m και η χαρτογράφηση και παρουσίαση των δεδομένων έγινε με το λογισμικό QGIS. Λαμβάνοντας υπόψη τα προφίλ ταχύτητας του ήχου, τα roll, pitch και heave, τη ταχύτητα του σκάφους και άλλες παραμέτρους, εφαρμόστηκαν μέσω του λογισμικού PDS (της TELEDYNE) φίλτρα, βαθμονόμηση και διορθώσεις (αυτομαποιοημένα και χειροκίνητα) στα βαθυμετρικά δεδομένα με στόχο την διόρθωση σφαλμάτων.

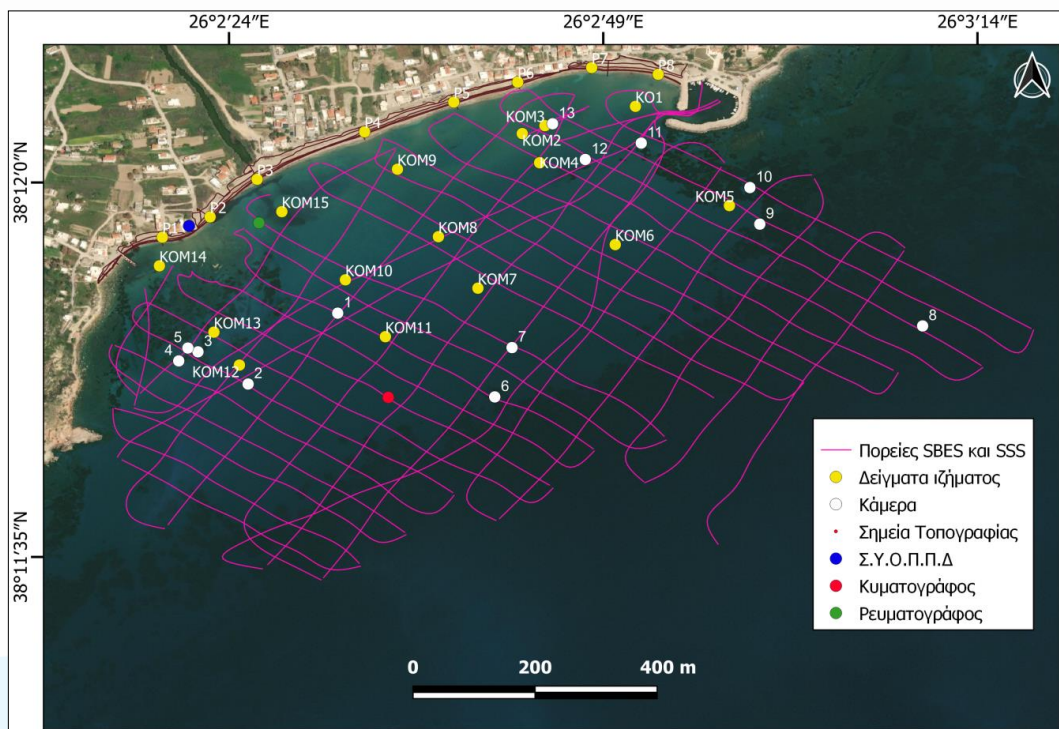
Στις εικόνες 19 έως και 24 φαίνονται τα δίκτυα πορειών / δειγματοληψιών που πραγματοποιήθηκαν σε όλες τις περιοχές έρευνας, καθώς και τα μωσαϊκά ηχογραφιών που προέκυψαν από την ανάλυση/επεξεργασία των ηχογραφιών στις πιλοτικές παραλίες της Λέσβου (Εικόνες 19 και 20), στην Κώμη Χίου (Εικόνες 21 και 22) και στην παραλία Κοραλλίων (Εικόνες 23 και 24).



Εικόνα 19: Το σύνθετο δίκτυο συλλογής δεδομένων, δειγματοληψιών και τοποθεσιών εξοπλισμού – σταθμών της Λέσβου, στις περιοχές (α) Ερεσός, (β) Ιστορικό και (γ) Πέτρα.



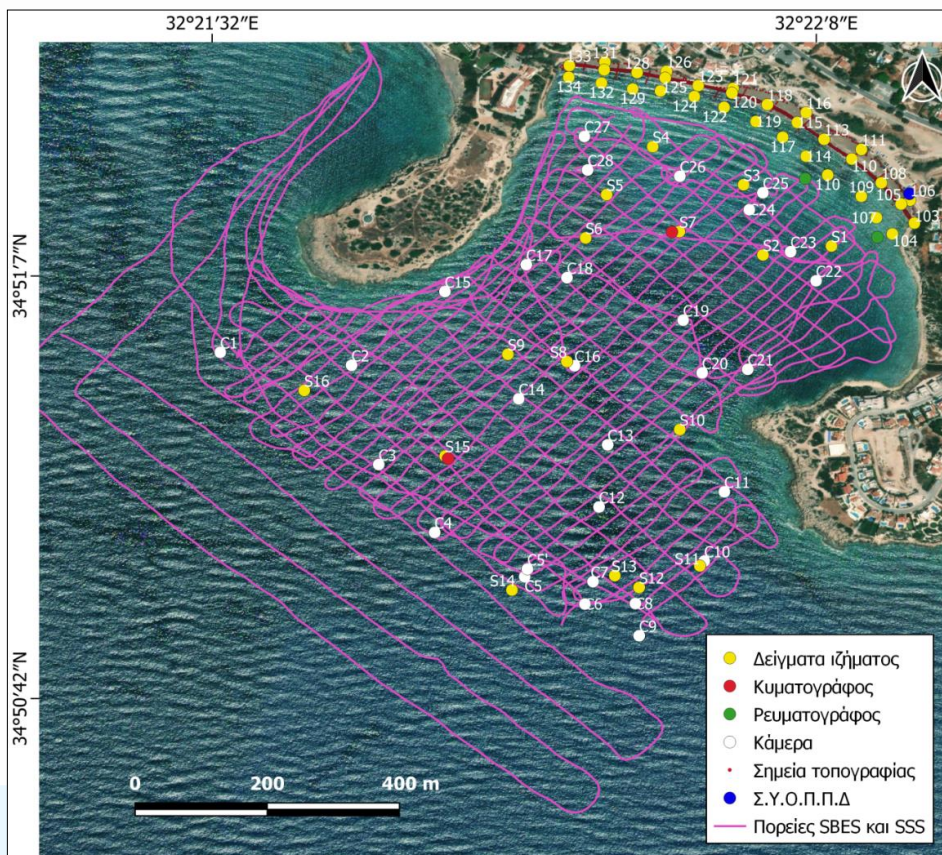
Εικόνα 20: Λέσβος: (α) Το backscatter και (β) το μωσαϊκό ηχογραφιών από την περιοχή του Στενού της Μυτιλήνης και της πράκτιας περιοχής Ιστορικού, και τα μωσαϊκά ηχογραφιών από τις περιοχές (γ) Πέτρας και (δ) Ερεσού.



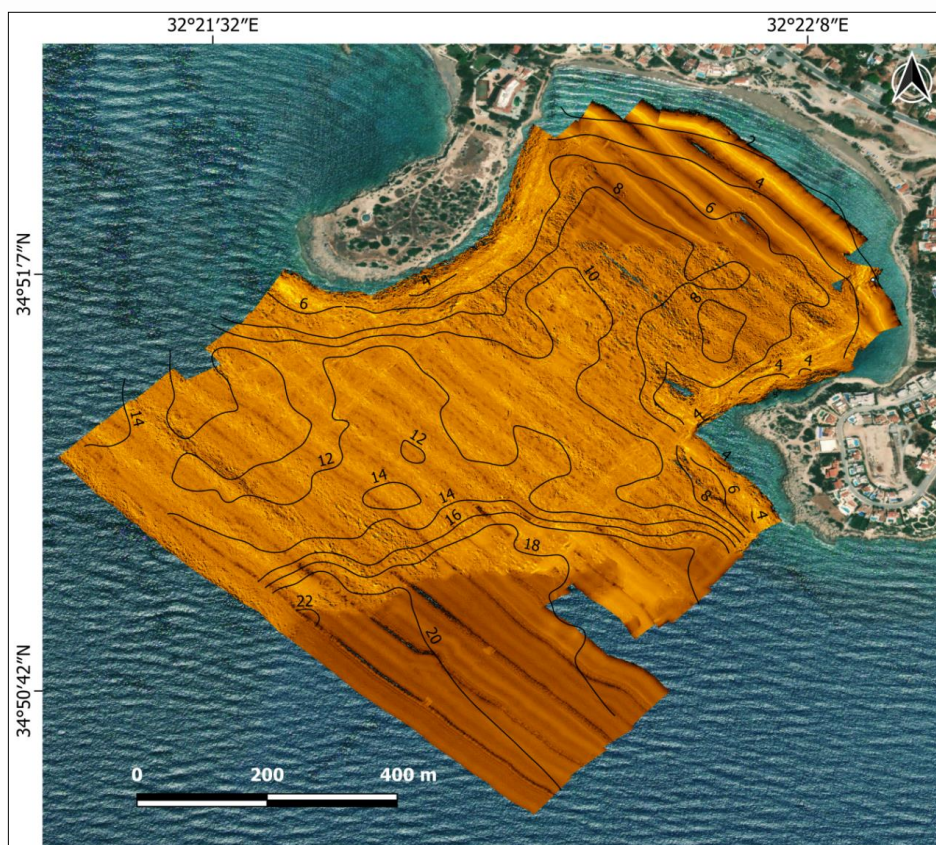
Εικόνα 21: Το σύνθετο δίκτυο συλλογής δεδομένων, δειγματοληψιών και τοποθεσιών εξοπλισμού σταθμών στην περιοχή της Κώμης (Χίος).



Εικόνα 22: Το μωσαϊκό ηχογραφιών από την περιοχή της Κώμης (Χίος).



Εικόνα 23: Το σύνθετο δίκτυο συλλογής δεδομένων, δειγματοληψιών και τοποθεσιών εξοπλισμού – σταθμών στον Κόλπο των Κοραλλιών στην Κύπρο.



Εικόνα 24: Το μωσαϊκό ηχογραφιών από τον Κόλπο των Κοραλλιών στην Κύπρο.

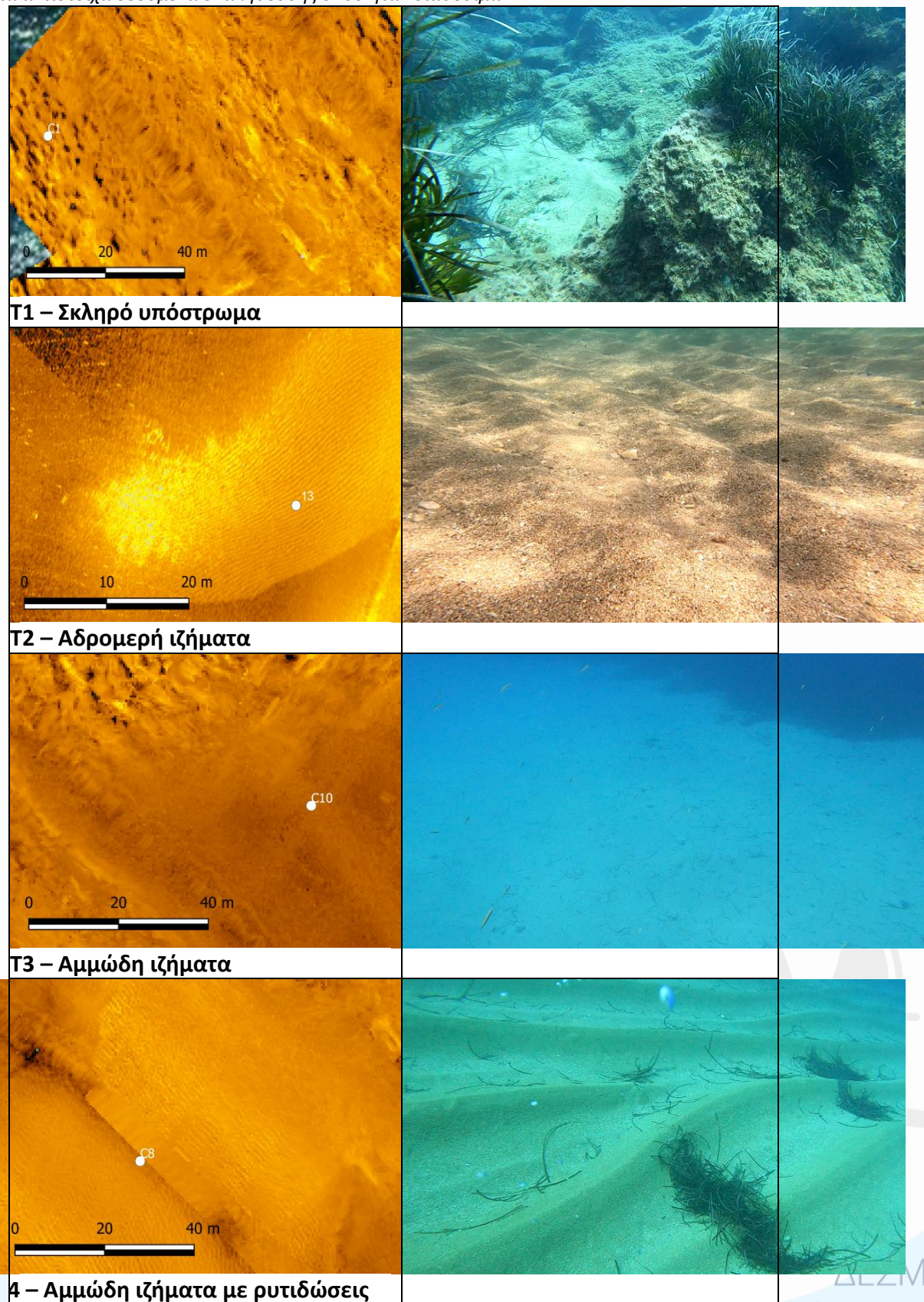
3.2.2.2 Τύποι Ανακλαστικότητας

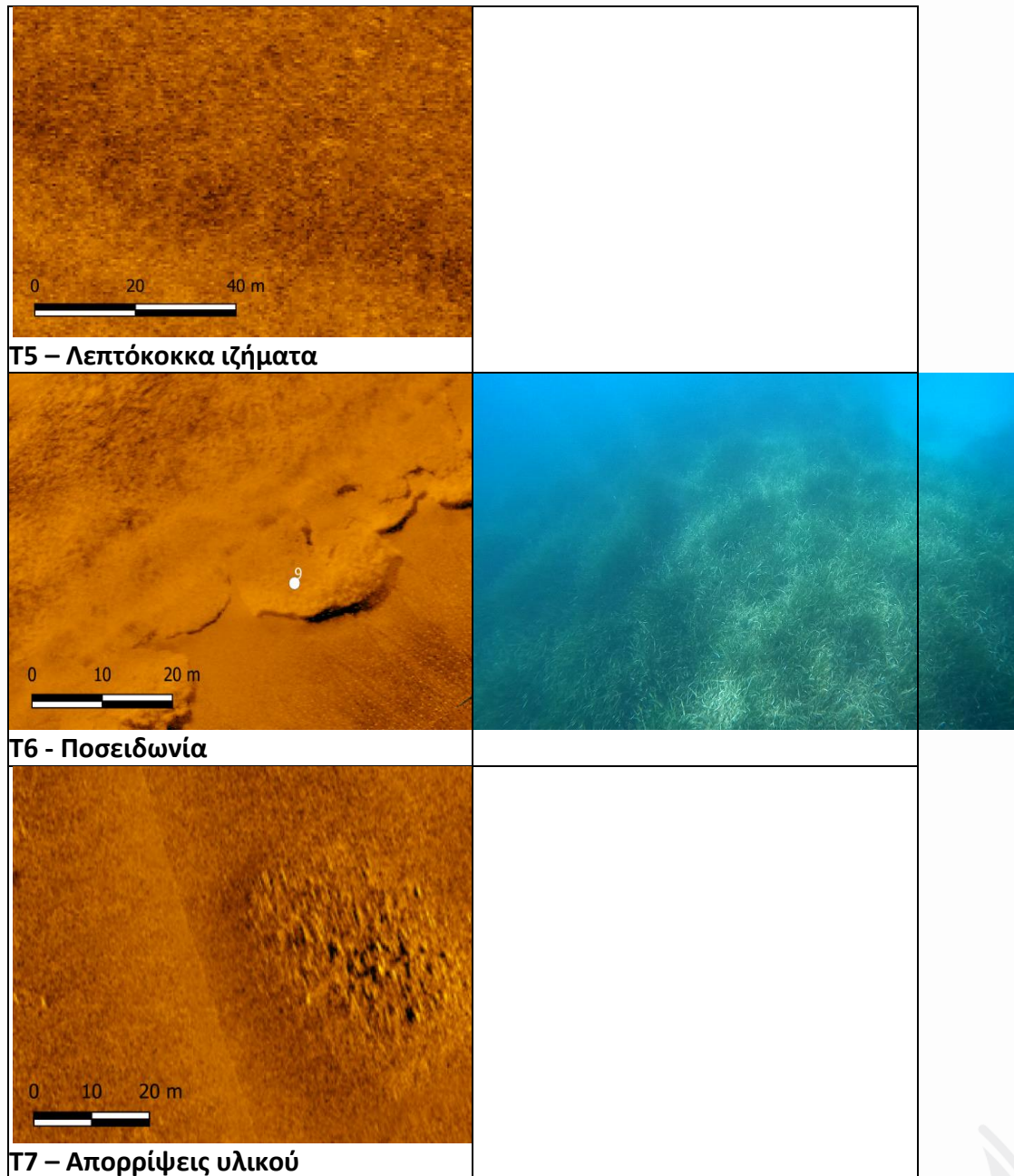
Από την ανάλυση των μωσαϊκών και από τις πέντε πιλοτικές περιοχές, σε σύγκριση και με τα δεδομένα επαλήθευσης (κάμερα – ιζήματα), διακρίθηκαν συνολικά επτά τύποι ανακλαστικότητας (T) που σχετίστηκαν με συγκεκριμένους τύπους υποστρώματος / ενδιαιτημάτων (Πίνακας 4). Σημειώνεται ότι ο παρακάτω πίνακας αφορά συγκεντρωτικά όλες τις επιμέρους περιοχές έρευνας, οι οποίες μελετήθηκαν στο ρηχό (πιλοτικές παράκτιες περιοχές) αλλά και βαθύτερο τμήμα (για την έρευνα αποθέσεων άμμου, βλ. Παραδοτέο 5.1.3) προκειμένου να υπάρχει μία ομογενοποιημένη πληροφορία, καθώς επίσης ότι δεν απαντώνται απαραίτητα όλοι οι τύποι ανακλαστικότητας σε μια περιοχή.

Πίνακας 3: Συγκεντρωτικός πίνακας ποσοτικών χαρακτηριστικών που αφορούν τη συλλογή δεδομένων.

Μετρήσεις/Δειγματοληψίες	Λέσβος			Χίος	Κύπρος
	Ερεσός	Ιστορικό	Πέτρα	Κώμη	Κόλπος Κοραλλιών
Εύρος καταγραφών SSS (m)	~80	~100	~80	~120	~100
Απόσταση πορειών (m)	50-70	~50	50-70	50-80	30-50
Ελάχιστο - μέγιστο βάθος βυθομετρίας (m)	0.5-20	1.6-22	1-30	1.4-27	1.3-22
Αριθμός δειγμάτων	82	0	40	23	48
Αριθμός καμερών	0	0	22	22	28

Πίνακας 4: Αντιπροσωπευτικά τμήματα από τα μωσαϊκά καταγραφών με τους τύπους ανακλαστικότητας και τα αντίστοιχα δεδομένα επαλήθευσης όπου ήταν διαθέσιμα.





Αναλυτικά:

Τύπος 1 – Σκληρό υπόστρωμα: Υψηλή ανακλαστικότητα, συχνά σε συνδυασμό με μικρές ηχητικές σκιές ή και με ζώνες μέσης ανακλαστικότητας. Ο τύπος αυτός δηλώνει ένα μικρο-ανάγλυφο είτε λόγω εμφανίσεων του υποβάθρου, είτε λόγω μεγάλου μεγέθους πυκνά διατεταγμένων τεμαχών (χαλίκια έως μικροί ογκόλιθοι) και μικρών ενδιάμεσων περιοχών / θυλάκων που καλύπτονται από αδρομερή (αμμο-χαλικώδη) ιζήματα. Στις περιοχές αυτές συχνά εντοπίζονται εκτεταμένες συστάδες ποσειδωνίας.

Τύπος 2 – Αδρομερή ιζήματα: Μέτρια με παρεμβολές χαμηλής έως υψηλής ανακλαστικότητας, με τοπική εμφάνιση εναλλαγών ανακλαστικότητας. Αφορά περιβάλλον με αμμώδη ή/και αδρομερέστερα (ψηφιδούχα) ιζήματα, συχνά με μικρο-ρουτιδώσεις.

Τύπος 3 – Αμμώδη ιζήματα: Μέση προς υψηλή ανακλαστικότητα, σχετικά ομοιόμορφη. Αφορά στην παρουσία αμμωδών ιζημάτων.

Τύπος 4 – Αμμώδη ιζήματα με ρυτιδώσεις: Μέση προς χαμηλή ανακλαστικότητα που αντιστοιχεί σε πυθμένα με ομαλό ανάγλυφο, ο οποίος καλύπτεται από χαλαρά αμμώδη ιζήματα. Τοπικά, μικρής έντασης εναλλαγές ανακλαστικότητας αντιστοιχούν σε μικρού μεγέθους ρυτιδώσεις, οι οποίες αν και διακριτές σε μεμονωμένες καταγραφές, στα μωσαϊκά ηχογραφιών λόγω της σημαντικά μικρότερης κλίμακας είναι δυσδιάκριτες.

Τύπος 5 – Λεπτόκοκκα ιζήματα: Μέση προς χαμηλή ανακλαστικότητα, σχετικά ομοιόμορφη. Αφορά στην παρουσία λεπτόκοκκων ιζημάτων.

Τύπος 6 – Ποσειδώνια: Ακανόνιστες εναλλαγές σχετικά υψηλής και μέσης ανακλαστικότητας με εμφάνιση σκιών. Σχετίζεται με την παρουσία συστάδων *Posidonia oceanica* μικρού ύψους και ποικίλης πυκνότητας σε περιβάλλον άμμου.

Τύπος 7 – Απορρίψεις υλικών: Τοπικές εμφανίσεις ακανόνιστου σχήματος έντονης ανακλαστικότητας. Αφορά την παρουσία απορρίψεων υλικού.

Η ερμηνεία των τύπων ανακλαστικότητας επιβεβαιώθηκε από βίντεο που συλλέχθηκαν με χρήση υποβρύχιας κάμερας (GoPro), η οποία βυθίζονταν σε συγκεκριμένα σημεία, μετά από την αρχική επεξεργασία των ηχογραφιών, αλλά και από τη λήψη δειγμάτων ιζήματος.

Πίνακας 5: Συγκεντρωτικός πίνακας με την έκταση (σε km²) και τα ποσοστά κάλυψης του κάθε τύπου ανακλαστικότητας στην κάθε περιοχή.

Τύπος ανακλαστικότητας	Λέσβος			Χίος	Κύπρος
	Ερεσός	Ιστορικό	Πέτρα	Κώμη	Κόλπος Κοραλλιών
T1	0,01 (1.3%)		0,1 (0.6%)	0,05 (1.3%)	0.58 (66.7%)
T2	0.07 (6.7%)			0,01 (5.3%)	
T3	0.88 (90.3%)	0,06 (3.95%)	0.33 (28.6%)	0.53 (54.8%)	0.15 (17.9%)
T4					0.13 (15.4%)
T5					
T6	0.02 (1.7%)	1.46 (96.05%)	0.82 (70.8%)	0.37 (38.6%)	

3.2.3 Ιζηματολογικά χαρακτηριστικά

Συλλέχθηκαν επίσης επιφανειακά δείγματα ιζήματος κατά μήκος συγκεκριμένων τομών στο χερσαίο και υποθαλάσσιο τμήμα των πιλοτικών παραλιών. Η συλλογή των θαλάσσιων δειγμάτων έγινε με αρπάγη τύπου van-veen (Εικόνα 25). Η μακροσκοπική εξέταση έδειξε ότι τα δείγματα αποτελούνταν από αδρομερές αλλά και λεπτόκοκκο υλικό. Όλα τα δείγματα αναλύθηκαν στο εργαστήριο Θαλάσσιας Γεωλογίας-Ιζηματολογίας του ΤΩΘΒΕ. Τα αδρομερή ιζήματα αναλύθηκαν με τη μέθοδο του ξηρού κοσκινίσματος (Folk, 1980). Τα λεπτόκοκκα αναλύθηκαν μετά από το διαχωρισμό τους με τη μέθοδο του υγρού

κοσκινίσματος, με χρήση κόσκινου 63 μm . Οι κλασικές μέθοδοι ανάλυσης λεπτόκοκκων ιζημάτων αποτελούνται κυρίως από τεχνικές που στηρίζονται στην ταχύτητα καταβύθισης των κόκκων, όπως αυτή υπολογίζεται με βάση τον νόμο του Stokes. Στην συγκεκριμένη ανάλυση χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της πιπέτας. Η δημιουργία των κατανομών και η εξαγωγή των κοκκομετρικών παραμέτρων (μέσο μέγεθος, τυπική απόκλιση) έγινε μέσω του υπολογιστικού φύλλου GRADISTAT (Blott and Pye, 2001). Οι χωρικές κατανομές των κοκκομετρικών τάξεων, επιμέρους κλασμάτων και κοκκομετρικών παραμέτρων δημιουργήθηκαν με τη χρήση του QGIS.



Εικόνα 25: (α) Ρήψη αρπάγης Van Veen από το φουσκωστό, (β) ανάλυση ιζημάτων στο εργαστήριο και (γ) η αρπάγη κατά τη συλλογή επιφανειακού θαλάσσιου ιζήματος.

3.3 Υδροδυναμικές Καταγραφές

Συνολικά πραγματοποιήθηκε πόντιση 6 υδροδυναμικών καταγραφών στις πιλοτικές παραλίες της έρευνας (Εικόνα 26). Πιο συγκεκριμένα, εγκαταστάθηκαν 5 κυματογράφοι – καταγραφής πίεσης τύπου RBR|*Virtuoso* και 1 ηλεκτρομαγνητικός ρευματογράφος (Electromagnetic Current Meter – ECM) τύπου JFE, AEM-USB. Οι θέσεις τοποθέτησης των υδροδυναμικών οργάνων στην εκάστοτε πιλοτική παραλία διαφαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 26: Θέσεις των υδροδυναμικών οργάνων που ποντίστηκαν στις πιλοτικές παραλίες.

Οι κυματογράφοι τύπου RBR είναι σε θέση να πραγματοποιούν υψίσυχνες καταγραφές (πάνω από 4 Hz) της υδροστατικής πίεσης, ενώ ο ρευματογράφος τύπου AEM-USB δύναται να πραγματοποιεί καταγραφές της κύριας ρευματικής ταχύτητας (στις συνιστώσες του επιπέδου X και Y), με ομοίως υψίσυχνες μετρήσεις. Για τις ανάγκες της έρευνας, εγκαταστάθηκαν τουλάχιστον για την ενεργητική περίοδο των μηνών Δεκεμβρίου ως Μαΐου, από ένας κυματογράφος τύπου RBR σε κάθε πιλοτική παραλία με σκοπό την υψίσυχη καταγραφή της μεταβολής του βάθους, της παλίρροιας και των κυμάτων (μέγιστα και σημαντικά ύψη κύματος) που προσεγγίζουν τις πιλοτικές παραλίες (σε βάθη μεγαλύτερα των 5 m). Στην περίπτωση της παραλίας Coral Bay εγκαταστάθηκε ένας επιπρόσθετος κυματογράφος μιας και η τοπογραφία της περιοχής είναι τέτοια που δεν επιτρέπει σε όλους τους κυματισμούς που αναπτύσσονται πλησίον της ακτής να προσπίπτουν στην παραλία (βλ. Εικόνα 25). Επίσης, στην ίδια παραλία ποντίστηκε για μικρό χρονικό διάστημα (3 ημερών) ο ρευματογράφος τύπου AEM-USB με σκοπό την καταγραφή ενδεχόμενης παράκτιας κυκλοφορίας. Οι λεπτομέρειες πόντισης των υδροδυναμικών οργάνων παρατίθενται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 6: Χαρακτηριστικά των υδροδυναμικών οργάνων που ποντίστηκαν στις πιλοτικές παραλίες.

Παραλία	Τύπος οργάνου	Βάθος Τοποθέτησης (m)	Συχνότητα Καταγραφών (Hz)	Περίοδος Καταγραφών
Ιστορικό	RBR	7.5	6	23/12/2022 15:00 - 26/07/2023 09:00
Πέτρα	RBR	7.2	6	23/12/2022 10:00 - 08/06/2023 12:00
Κώμη	RBR	7.1	8	04/10/2022 11:00 - 05/03/2023 15:00
Coral Bay	RBR1	12.3	8	02/12/2022 17:00 - 08/05/2023 07:00
	RBR2	8.0	8	04/12/2022 17:00 - 08/05/2023 08:00
	ECM	0.8	6	06/12/2022 14:00 - 09/12/2022 11:00

Όλα τα δεδομένα των υδροδυναμικών καταγραφών αναλύθηκαν και οπτικοποιήθηκαν σε περιβάλλον Matlab. Για την εκτίμηση των κυματικών χαρακτηριστικών και της μεταβολής του βάθους, πραγματοποιήθηκε χρήση της «εργαλειοθήκης» (matlab toolbox) WAFO (Brodtkorb et al., 2000), ενώ οι ρευματικές καταγραφές αναλύθηκαν με διανυσματική σύνθεση των επιμέρους συνιστωσών ταχυτήτων που καταγράφονται από τον ρευματογράφο AEM-USB (στον X και Y άξονα του επιπέδου).



4 Αποτελέσματα

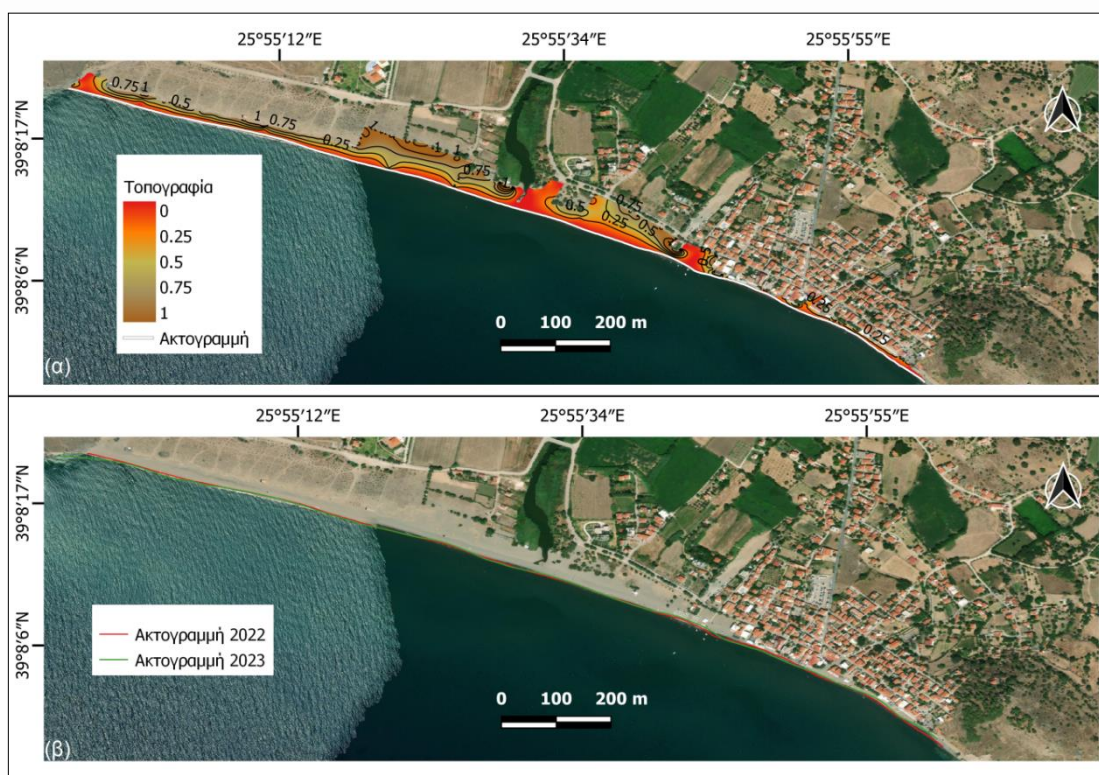
Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που αφορούν την τοπογραφική αποτύπωση των παραλιών, τη βυθομετρία και την μορφολογική αποτύπωση, την ιζηματολογία και τις υδριδυναμικές μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε κάθε μία από τις πιλοτικές παραλίες των νησιών Λέσβου, Χίου και Κύπρου.

4.1 Λέσβος

4.1.1 Ερεσός

4.1.1.1 Τοπογραφική αποτύπωση με RTK

Η μορφολογική εξέλιξη της παραλίας της Ερεσού μεταξύ των δύο αποτυπώσεων (2022-2023) δείχνει ότι η μορφολογία είναι αρκετά διαφορετική μεταξύ το ανατολικού και δυτικού τμήματος (Εικόνα 27). Τεχνικές παρεμβάσεις τόσο στην ακτή όσο και στη λεκάνη απορροής φαίνεται να έχουν παίξει σημαντικό ρόλο.

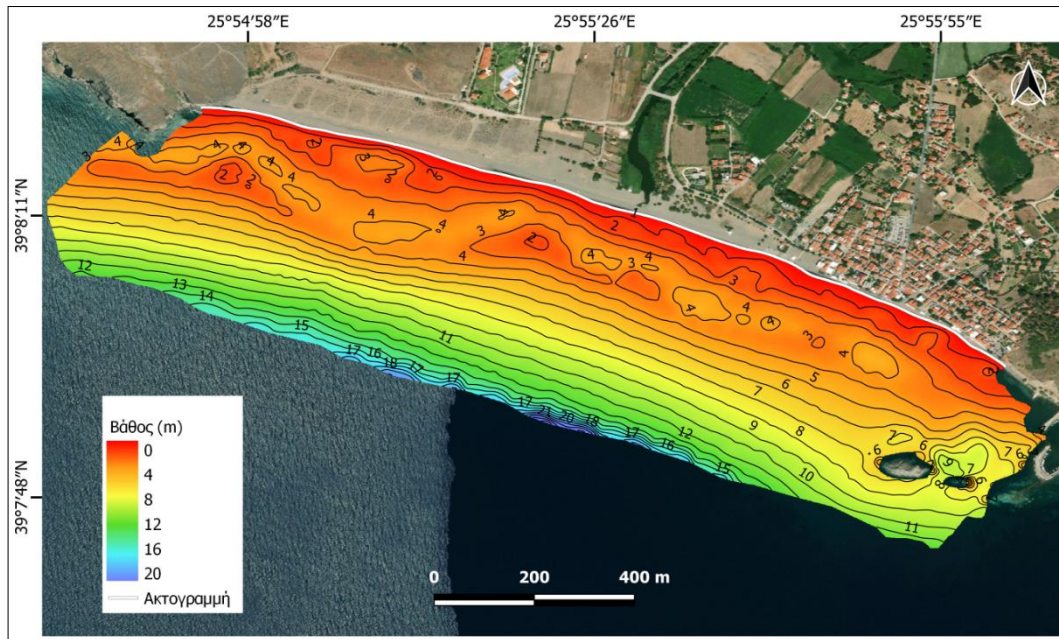


Εικόνα 27: (α) Ο τοπογραφικός χάρτης της παραλίας της Ερεσού (2022), (β) οι δύο ακτογραμμές όπως αποτυπώθηκαν για τα έτη 2022 και 2023.

Η χωρο-χρονική διαφοροποίηση της παραλίας διακρίνεται τοπικά με σημάδια πρόσχωσης/διάβρωσης με το ελάχιστο πλάτος (5 m) της παραλίας να εντοπίζεται στο ανατολικό τμήμα και το μέγιστο να εντοπίζεται στο κεντρικό τμήμα (75 m).

4.1.1.2 Βαθυμετρία και Μορφολογία

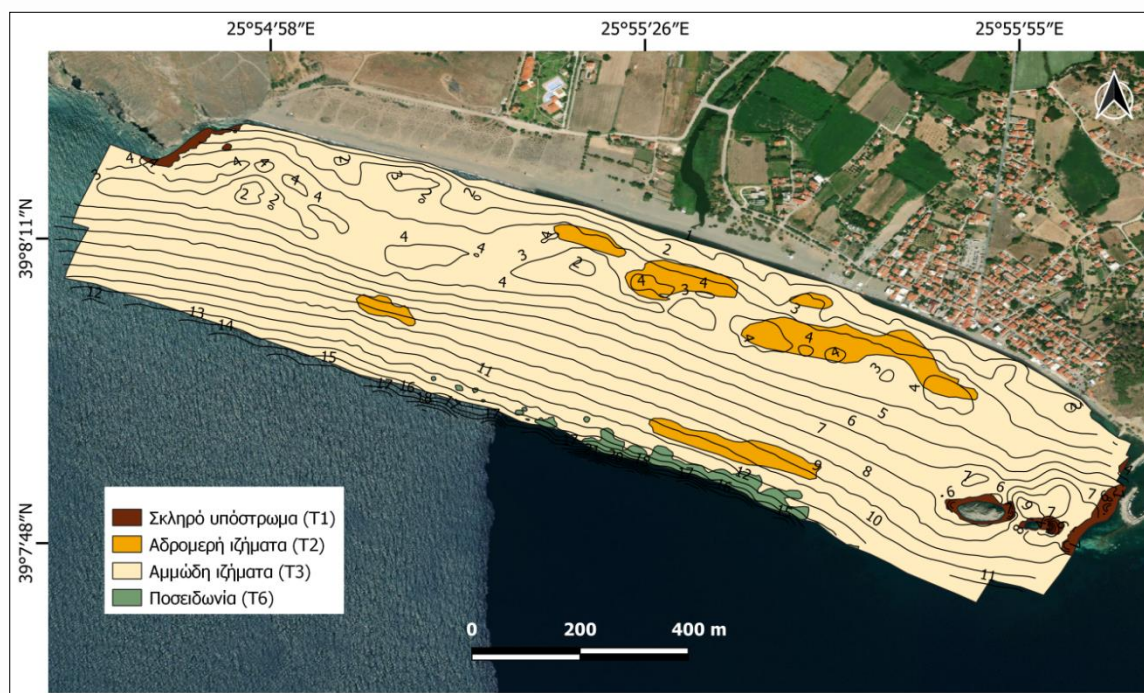
Η βαθυμετρία της περιοχής (Εικόνα 28) παρουσιάζει εξίσου μια πολυπλοκότητα. Στο ρηχότερο τμήμα (μέχρι ~ 5 m) εντοπίζεται μια ζώνη με σημαντικά μορφολογικά στοιχεία τα οποία αντιστοιχούν σε ύφαλους αναβαθμούς, σε μεταβαλλόμενη απόσταση από την ακτογραμμή (100 – 140 m). Σε μεγαλύτερα βάθη το ανάγλυφο δείχνει σχετικά ομοιόμορφο με τα βάθη να αυξάνονται πιο απότομα. Σε βάθη μεγαλύτερα των 11 m το ανάγλυφο φαίνεται να αλλάζει λόγω της παρουσίας των λιβαδιών Ποσειδωνίας.



Εικόνα 28: Βυθομετρικός χάρτης της περιοχής της Ερεσού.

Η σύνθεση και ανάλυση των μορφολογικών δεδομένων της περιοχής της Ερεσού έδειξε την παρουσία τεσσάρων τύπων ανακλαστικότητας (Εικόνα 29). Ο T1 καταλαμβάνει ένα μικρό ποσοστό της έκτασης (1.3% - 0.01 km²). Εντοπίζεται στο ρηχό και βορειοανατολικό τμήμα της περιοχής και στο ανατολικο-νοτιοανατολικό γύρω από το νησί και αντιστοιχεί σε βραχώδες ανάγλυφο. Ο T2 εντοπίζεται κυρίως στο ρηχότερο κεντρικό και ανατολικό τμήμα (μέχρι ~4 m), αλλά και τοπικά σε δύο περιοχές σε μεγαλύτερα βάθη (6-12 m). Καταλαμβάνει μια έκταση 0.7 km² (6.7 %) και αντιστοιχεί στις μορφολογικές δομές των υφάλων. Ο T3 καταλαμβάνει τη μεγαλύτερη έκταση 0.88 km² (90.3 %) και αντιστοιχεί σε έναν ομοιογενή αμμώδη πυθμένα στο οποίο τοπικά εντοπίζονται ρυτιδώσεις, ενδεικτικές του υδροδυναμικού καθεστώτος της περιοχής. Ο T6 εντοπίζεται και καταλαμβάνει μια μικρή έκταση (0.02 km² – 1.7 %) το όριο του βαθύτερου τμήματος (>11 m) και αντιστοιχεί στο ρηχότερο όριο της Ποσειδωνίας.

Δειγματοληψίες ιζημάτων/καμερών για την επιβεβαίωση των δεδομένων όπως και υδροδυναμικές μετρήσεις δεν πραγματοποιήθηκαν στην Ερεσό, αφού είχαν συλλεχθεί πρόσφατα στο πλαίσιο άλλου ερευνητικού προγράμματος και τα συστήματα ήταν βαθμονομημένα κατάλληλα.

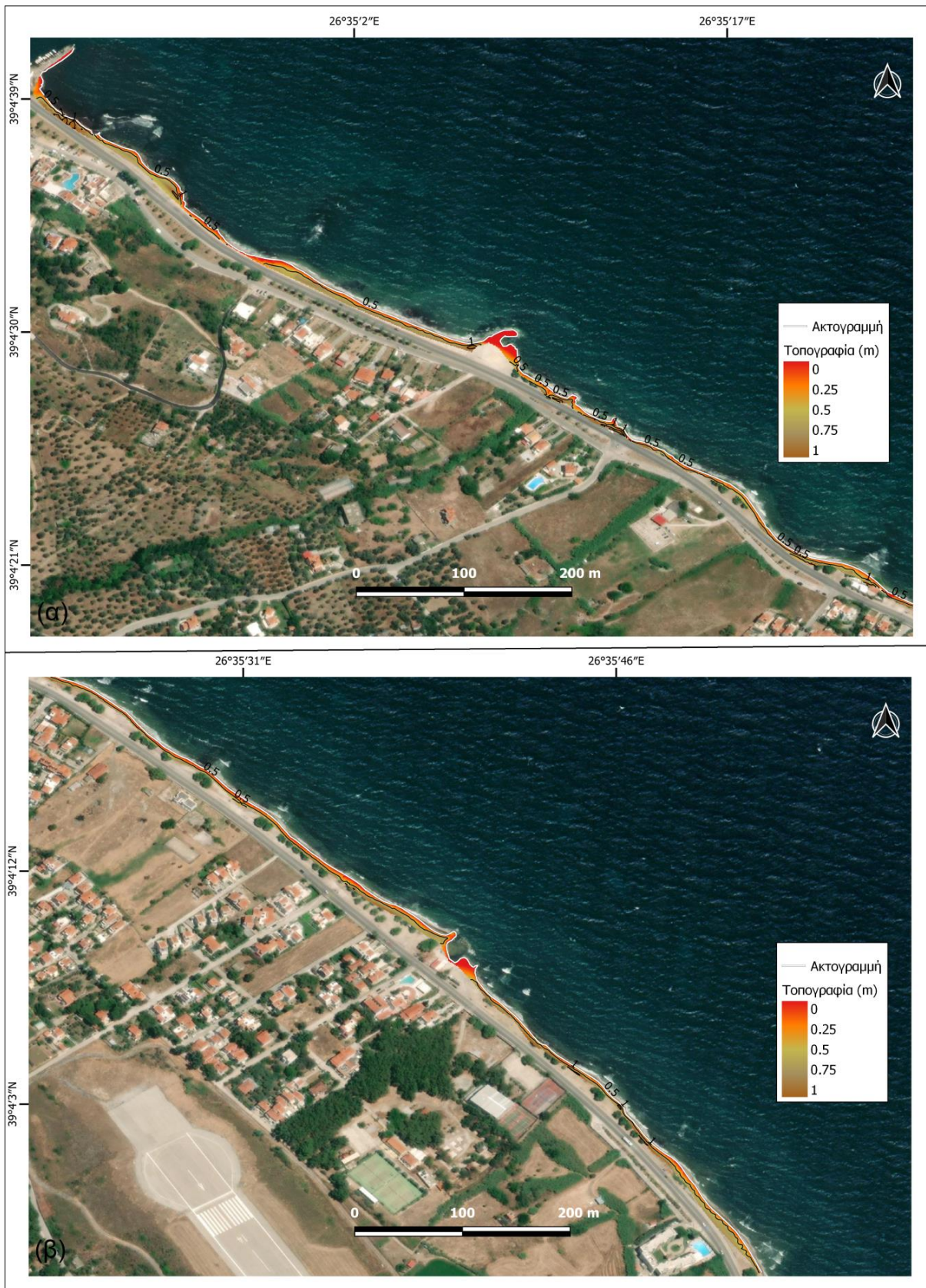


Εικόνα 29: Χάρτης κατανομής των διαφορετικών τύπων ανακλαστικότητας που εντοπίστηκαν στην Ερεσό.

4.1.2 Ιστορικό

4.1.2.1 Τοπογραφική αποτύπωση με RTK

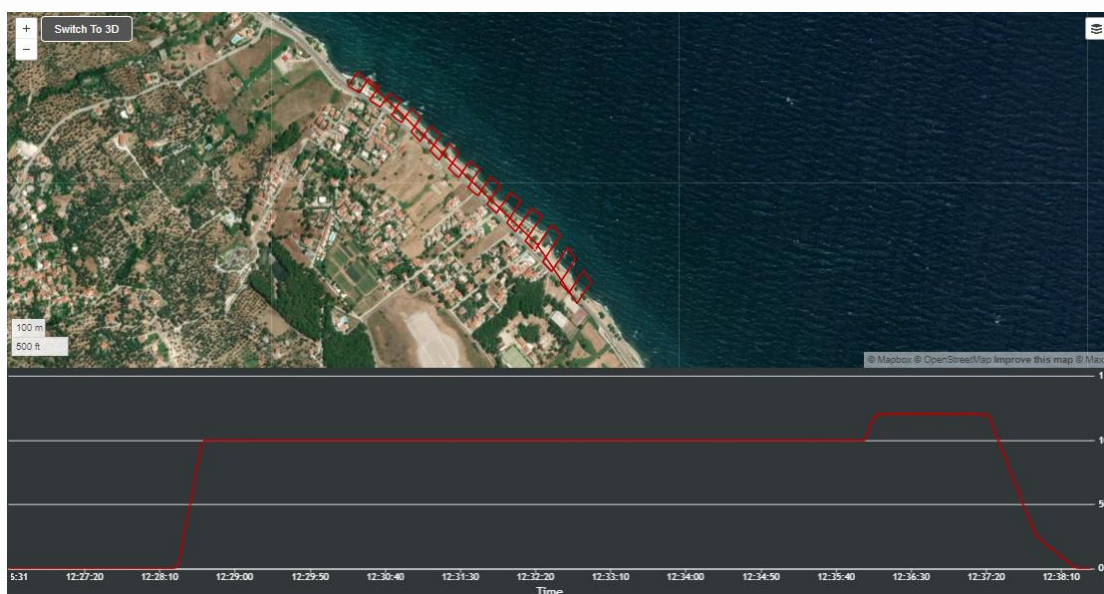
Η μοναδική τοπογραφική αποτύπωση στην ευρύτερη περιοχή του Ιστορικού έδειξε την ανομοιομορφία του μετώπου κατά μήκος όλης της παραλίας (Εικόνα 30). Στο μεγαλύτερο μέρος της παραλίας το πλάτος κυμαίνεται μεταξύ 3 -5 m και τοπικά εντοπίζεται ένα μεγαλύτερο εύρος μεταξύ 15- 30 m σε σημεία όπου φαίνεται να υπάρχει πρόσχωση λόγω ανθρώπινης παρέμβασης (π.χ. το στοιχείο του λιμανιού της Βαρειάς).



Εικόνα 30: Τοπογραφικός χάρτης της παραλίας του Ιστορικού, στο (α) βόρειο και (β) νότιο τμήμα, όπως προέκυψε από τα δεδομένα του RTK-DGPS.

4.1.2.2 Τοπογραφική αποτύπωση με ΣμηΕΑ

Η παραλία του Ιστορικού είναι «στενή» (πλάτη της τάξης των 2-5 m στο μεγαλύτερο τμήμα της), ενώ χαρακτηρίζεται από την παρουσία πληθώρας αλμυρικών δίπλα από τον παράκτιο δρόμο και κοντά στην ακτογραμμή, η οποία στην πλειονότητά της καλύπτεται από νεκρά φυτά Ποσειδωνίας. Χωροταξία τέτοιου τύπου δεν επιτρέπει την καταγραφή με ακρίβεια της παράκτιας τοπογραφίας (και ειδικότερα της ακτογραμμής) με οπτικά μέσα όπως τα ΣμηΕΑ, μιας και οι φωτογραφίες λαμβάνονται από κατάλληλο ύψος (άνω των 10 μέτρων). Κάτι το οποίο επιβεβαιώθηκε και από την δοκιμαστική πτήση που πραγματοποιήθηκε στις 12/10/2022 (Εικόνα 31).



Εικόνα 31: Η πτήση ΣμηΕΑ που σχεδιάστηκε και ακολουθήθηκε για την καταγραφή της τοπογραφίας της παραλίας του Ιστορικού στις 12/10/2022.

Η καταγραφή της ακτογραμμής της παραλίας πραγματοποιήθηκε έπειτα από χειροκίνητη ψηφιοποίηση του παραγόμενου ορθοφωτοχάρτη για τη συγκεκριμένη ημερομηνία (Εικόνα 32).

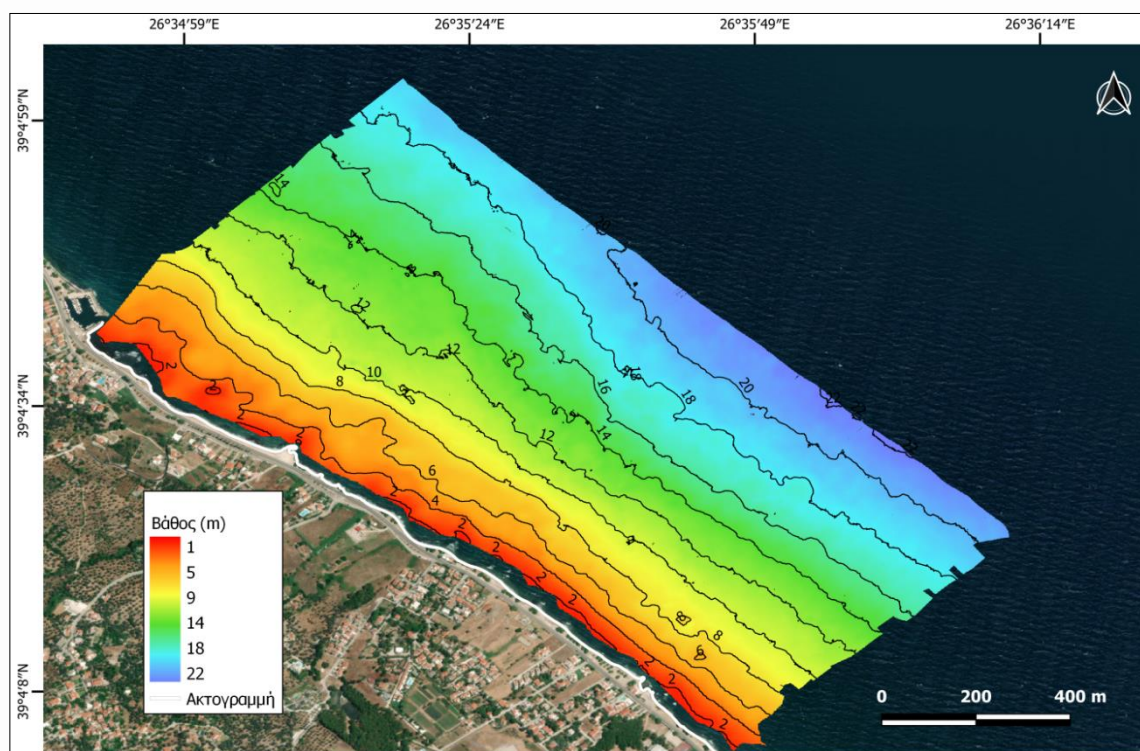


Εικόνα 32: Προσέγγιση της θέσης της ακτογραμμής της παραλίας του Ιστορικού έπειτα από χειροκίνητη ψηφιοποίηση στην παραγόμενη ορθοφωτογραφία από τα δεδομένα της πτήσης με ΣμηΕΑ που πραγματοποιήθηκε στις 12/10/2022.

Αν και το αποτέλεσμα δείχνει ορθολογικό, η ακτογραμμή προσεγγίστηκε με βάση την «εμπειρία» του χρήστη που προέβη στην ψηφιοποίηση και όχι με αντικειμενικά επιστημονικά κριτήρια καταγραφής. Για το λόγο αυτό, αποφασίστηκε πως είναι άσκοπο να πραγματοποιηθούν περαιτέρω πτήσεις καταγραφής, αφού κάτι τέτοιο θα οδηγούσε σε εσφαλμένες αποτυπώσεις/ψηφιοποιήσεις της ακτογραμμής.

4.1.2.3 Βαθυμετρία και Μορφολογία

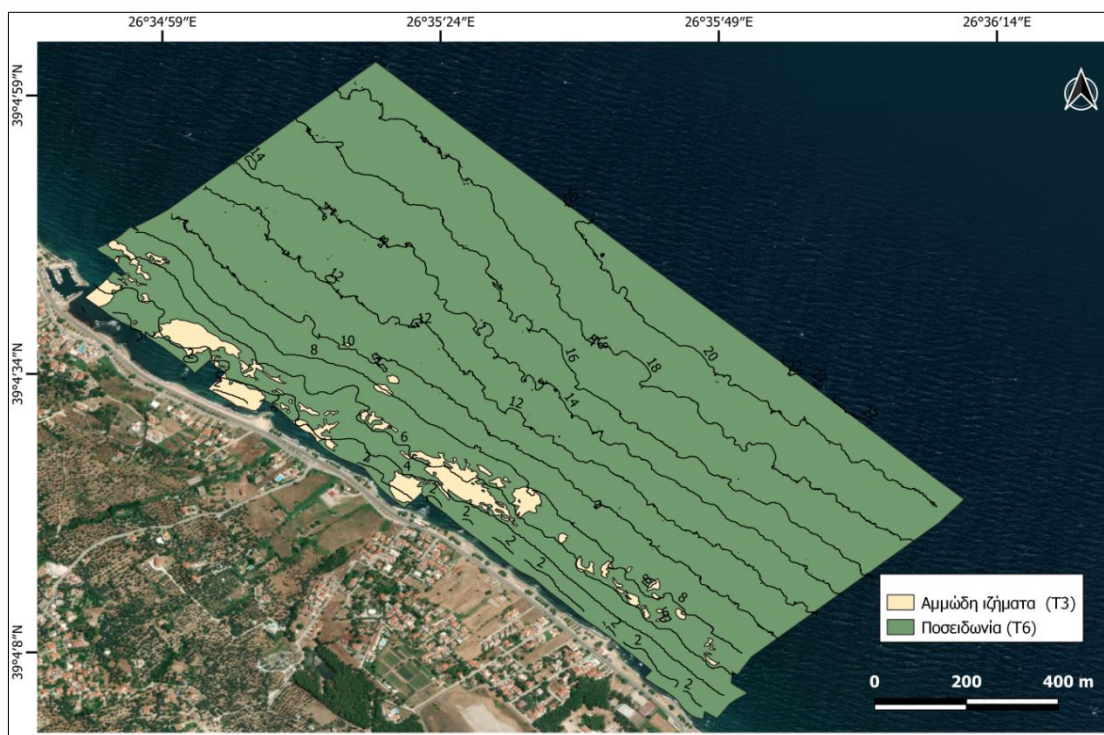
Ο βαθυμετρικός χάρτης στην ευρύτερη περιοχή του Ιστορικού παρουσιάζει μια σχετικά ομοιόμορφη κατανομή βαθών (Εικόνα 33).



Εικόνα 33: Βυθομετρικός χάρτης της περιοχής του Ιστορικού.

Στο βορειοδυτικό τμήμα της περιοχής οι κλίσεις είναι ελαφρά μικρότερες σε σχέση με το νοτιοανατολικό, όπως παρατηρείται από την κατανομή των καμπυλών. Η μορφή των ισοβαθών καμπυλών φανερώνει μικρο-μορφολογικές διαφορές, οι οποίες σχετίζονται με το ανάγλυφο που διαμορφώνεται από την παρουσία – απουσία ενός πυκνού πεδίου Ποσειδωνίας.

Η σύνθεση και ανάλυση των μορφολογικών δεδομένων της ευρύτερης περιοχής του Ιστορικού έδειξε την παρουσία δύο τύπων ανακλαστικότητας (Εικόνα 34). Ο T3 καταλαμβάνει τοπικά μικρές εκτάσεις στο ρηχότερο τμήμα ($0.06 \text{ km}^2 - 3.95 \%$) (βάθη μικρότερα από 10 m) και αντιστοιχεί στην παρουσία αμμωδών ιζημάτων. Ο T6 εμφανίζεται σε όλο το εύρος βαθών, καταλαμβάνει σχεδόν όλη την έκταση της περιοχής ($1.46 \text{ km}^2 - 96.05\%$) και αντιστοιχεί στην παρουσία του λιβαδιού της Ποσειδωνίας.

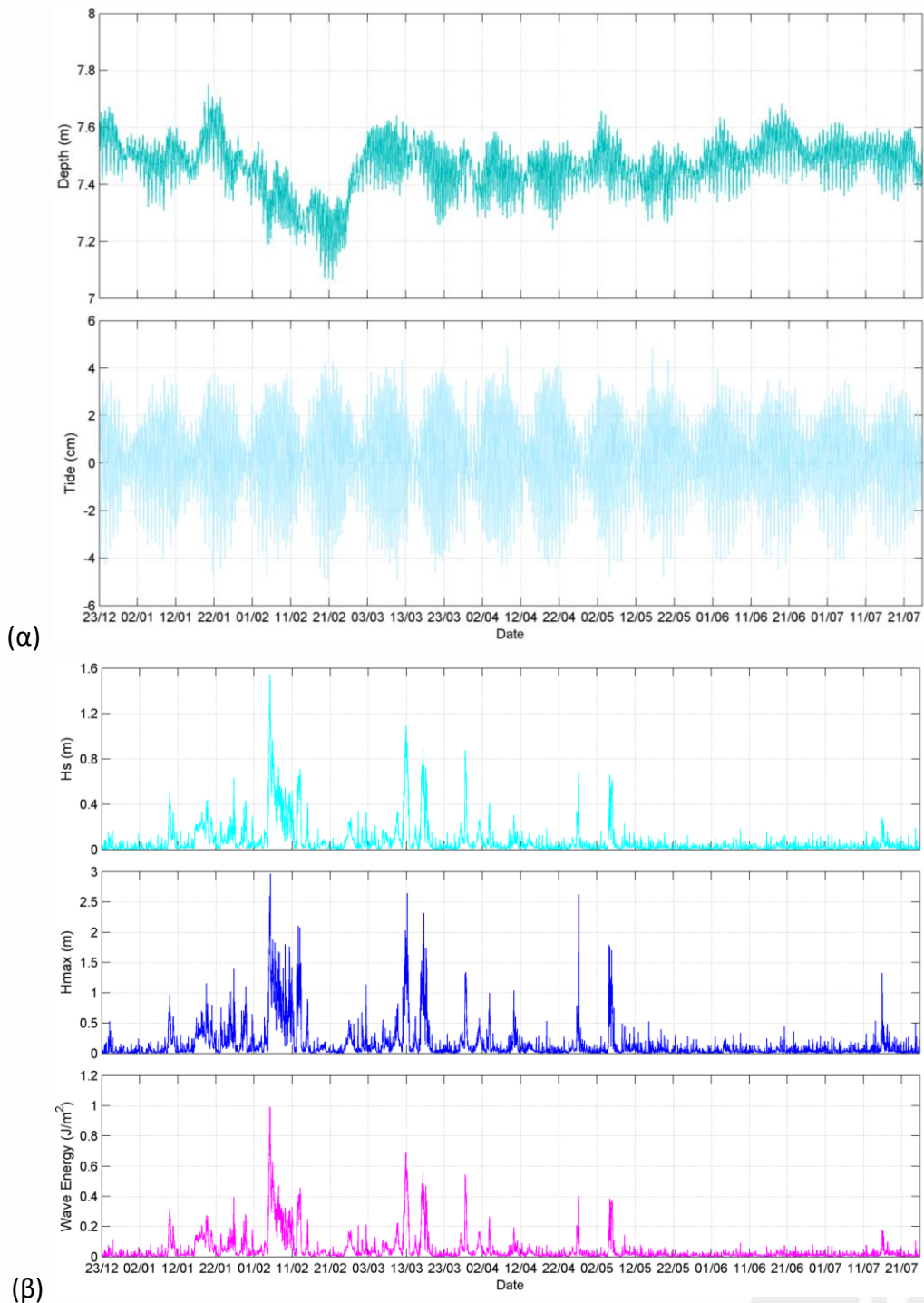


Εικόνα 34: Χάρτης κατανομής των διαφορετικών τύπων ανακλαστικότητας που εντοπίστηκαν στην περιοχή του Ιστορικού.

4.1.2.4 Υδροδυναμικές καταγραφές

Από τις καταγραφές του κυματογράφου RBR φάνηκε πως το βάθος δε διαφοροποιήθηκε σημαντικά κατά τη διάρκεια των 7μηνων καταγραφών της ενεργητικής περιόδου 12/2022 – 07/2023, με εξαίρεση μια διαφορά της τάξης των 0.4 m που καταγράφεται για τον μήνα από 21/01/2023 ως 26/02/202, όπου φαίνεται να επικράτησε στην περιοχή βαρομετρικό υψηλό (Εικόνα 35α). Επίσης, από τα δεδομένα του κυματογράφου καταγράφηκε παλίρροιακό σήμα της τάξης των 8 cm.

Τα σημαντικά ύψη κύματος που καταγράφηκαν στην περιοχή του Ιστορικού για την ίδια 7μηνη ενεργητική περίοδο ήταν στην πλειονότητά τους χαμηλής έντασης (περόπου 80% των καταγραφών αντιπροσωπεύεται από τιμές κάτω του 0.5 m). Μεμονωμένες καταγραφές με σημαντικά ύψη κύματος μεγαλύτερα από 0.8 m καταγράφηκαν στις 03-05/01, 12-13/03, 20/03 και 30/03 του 2023, με τη μεγαλύτερη καταγραφή να είναι της τάξης του 1.5 m στις 03/01/2023 (Εικόνα 35β).



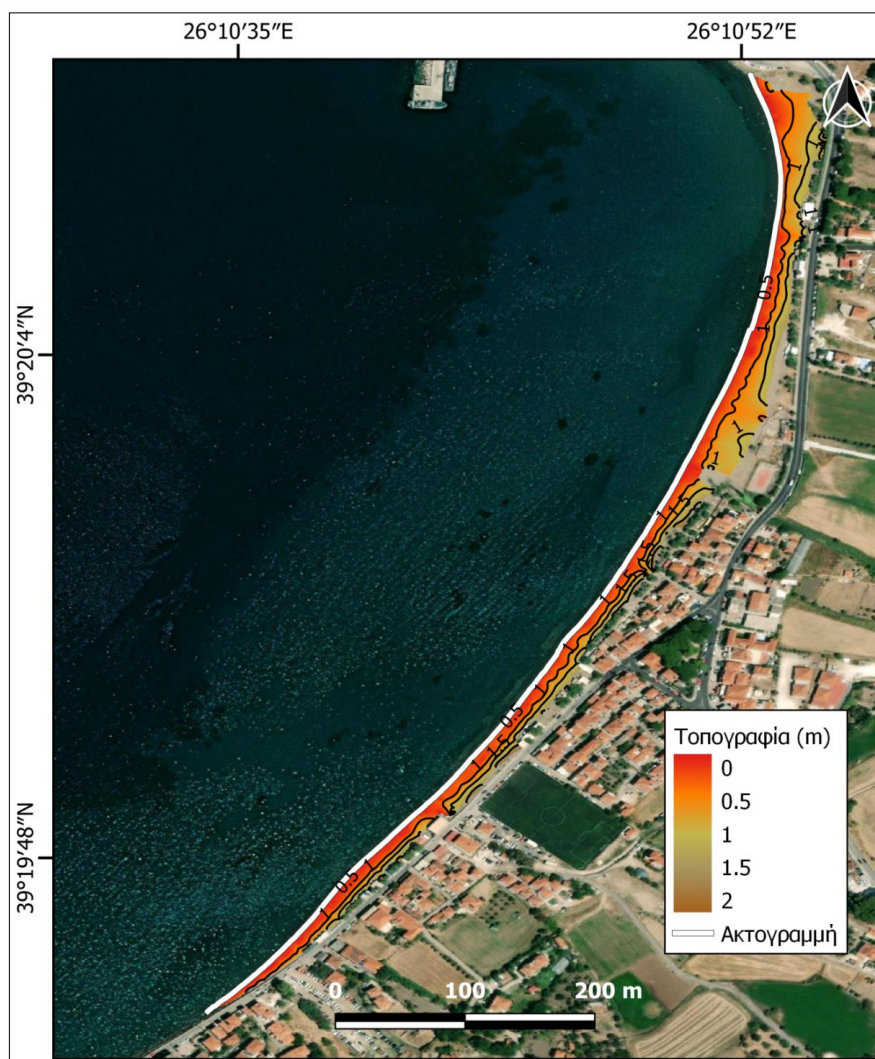
Εικόνα 35: (α) Διαφοροποίηση βάθους και παλιρροιακό σήμα στην παραλία του Ιστορικού, όπως καταγράφηκε από τον κυματογράφο RBR. (β) Σημαντικό ύψος κύματος (H_s), Μέγιστο ύψος κύματος (H_{max}) και κυματική ενέργεια στην παραλία του Ιστορικού, όπως καταγράφηκε από τον κυματογράφο RBR.

Αντίστοιχες τάσεις διαφαίνονται όταν εξετάζεται το μέγιστο ύψος κύματος και το φορτίο κυματικής ενέργειας. Για τις ίδιες ημερομηνίες υψηλότερης κυματικής φόρτισης, το μέγιστο ύψος κύματος ήταν πάνω από 1.5 m, με τη μεγαλύτερη τιμή να φτάνει τα 3.0 m στις 03/01/2023 που αντιστοιχεί σε ποσό κυματικής ενέργειας 1.0 Jm^{-2} .

4.1.3 Πέτρα

4.1.3.1 Τοπογραφική αποτύπωση με RTK

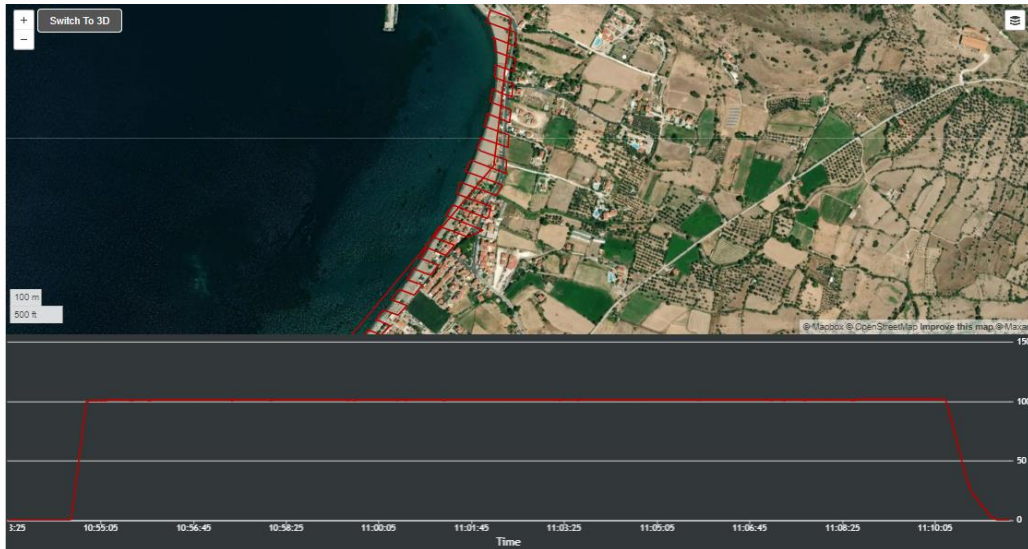
Η τοπογραφική αποτύπωση στην παραλία της Πέτρας ανέδειξε την διαφορετική χερσαία μορφολογία της. Η παραλία μπορεί να χωριστεί σε δύο τμήματα: στο βόρειο και στο νότιο (Εικόνα 36). Το βόρειο τμήμα περιλαμβάνει την παραλία με το μεγαλύτερο πλάτος (~40 m) το οποίο και εντοπίζεται στο βορειότερο σημείο της περιοχής. Το νότιο τμήμα έχει αισθητά μικρότερο πλάτος (~ 8 m) με το μικρότερο πλάτος μόλις 1 m να εντοπίζεται στο νοτιότερο τμήμα όπου και παρατηρείται έντονα το φαινόμενο της διάβρωσης.



Εικόνα 36: Τοπογραφικός χάρτης της παραλίας της Πέτρας από τα δεδομένα του RTK-DGPS.

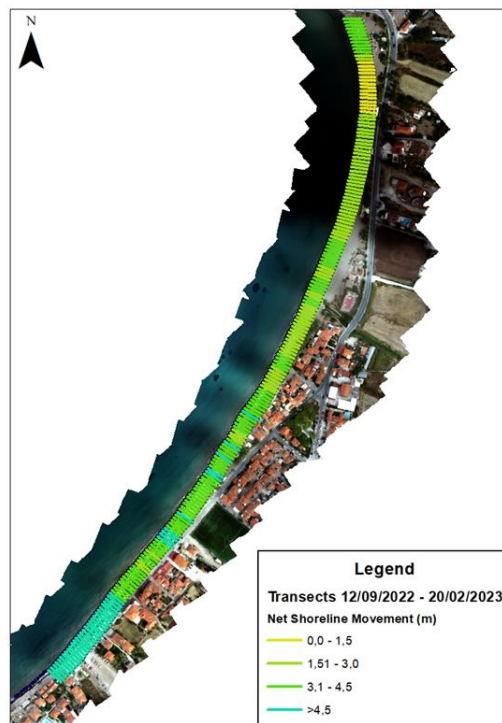
4.1.3.2 Τοπογραφικές αποτυπώσεις με ΣμηΕΑ

Ενδεικτικό σχέδιο πτήσης της παραλίας για την ημερομηνία 12/09/2022 παρουσιάζεται παρακάτω (Εικόνα 37).



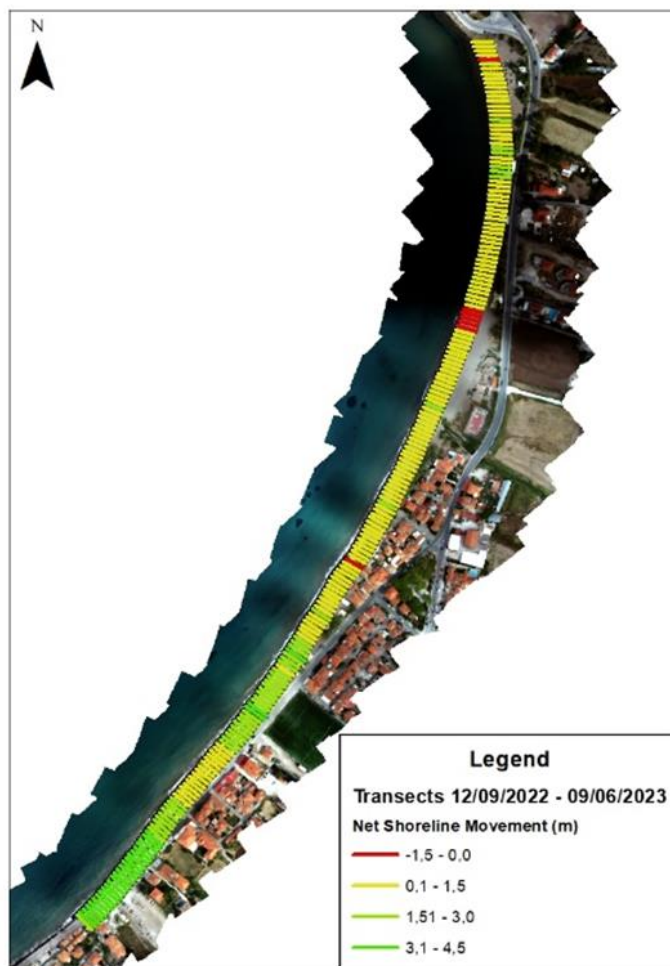
Εικόνα 37: Ενδεικτικό σχέδιο πτήσης ΣμηΕΑ όπως εκτελέστηκε στην παραλία της Πέτρας στις 12/09/2022.

Συγκρίνοντας τις διαφορετικές θέσεις της ακτογραμμής μεταξύ 12/09/2022 και 20/02/2023 φαίνεται πως η μέση απόσταση/διαφορά μεταξύ των ακτογραμμών είναι 3.5 m, ενώ η μέγιστη καταγραφόμενη διαφορά ήταν της τάξης των 7.0 m (Εικόνα 38). Θα πρέπει να σημειωθεί πως σε όλες τις μελετώμενες θέσεις της ακτογραμμής (213 ισαπέχουσα προφίλ) καταγράφηκε απόθεση.



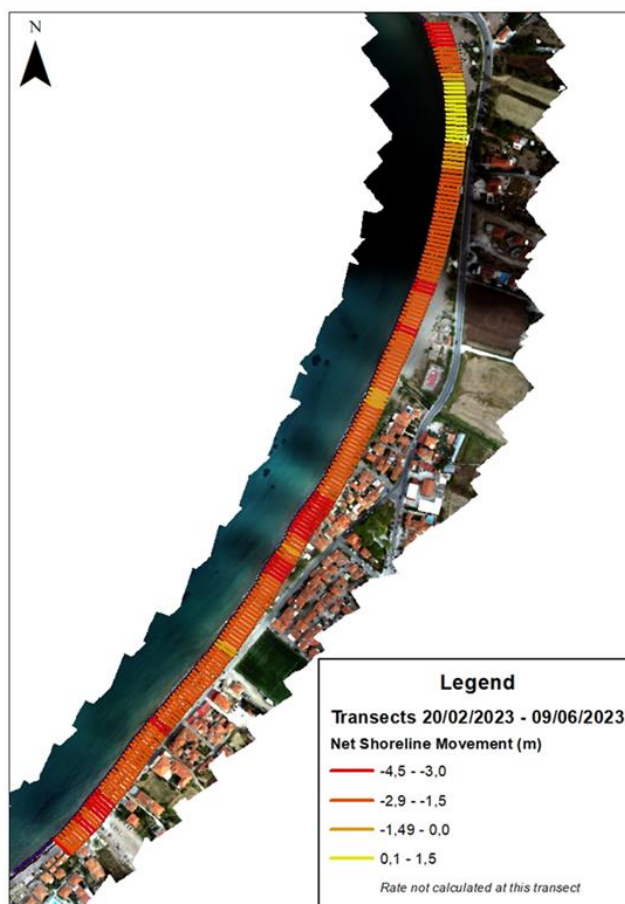
Εικόνα 38: Σύγκριση θέσεων ακτογραμμής (εγκάρσιων προφίλ) μεταξύ 12/09/2022 και 20/02/2023.

Αντίστοιχα, η σύγκριση των θέσεων της ακτογραμμής μεταξύ 12/09/2022 και 09/06/2023 έδειξε μέση απόσταση/διαφορά μεταξύ των ακτογραμμών είναι 1.3 m, ενώ η μέγιστη καταγραφόμενη διαφορά ήταν της τάξης των 3.9 m (Εικόνα 39). Στις περισσότερες θέσεις της παραλίας (208 από τις 213) καταγράφηκε απόθεση, ενώ σε 6 καταγράφηκε διάβρωση που κυμάνθηκε μεταξύ 0.5 - 1.0 m.



Εικόνα 39: Σύγκριση θέσεων ακτογραμμής (εγκάρσιων προφίλ) μεταξύ 12/09/2022 και 09/06/2023.

Εξετάζοντας τις θέσεις της ακτογραμμής μεταξύ 20/02/2023 και 09/06/2023, φαίνεται πως η μέση απόσταση μεταξύ των δύο ακτογραμμών είναι -2.2 m, ενώ η μέγιστη καταγραφόμενη διαφορά τους είναι - 4.3 m (Εικόνα 40). Στις περισσότερες θέσεις της παραλίας (201 από τις 213) καταγράφηκε διάβρωση, ενώ σε 12 καταγράφηκε μικρή απόθεση που κυμάνθηκε μεταξύ 0.2 – 0.5 m.



Εικόνα 40: Σύγκριση θέσεων ακτογραμμής (εγκάρσιων προφίλ) μεταξύ 20/02/2023 και 09/06/2023.

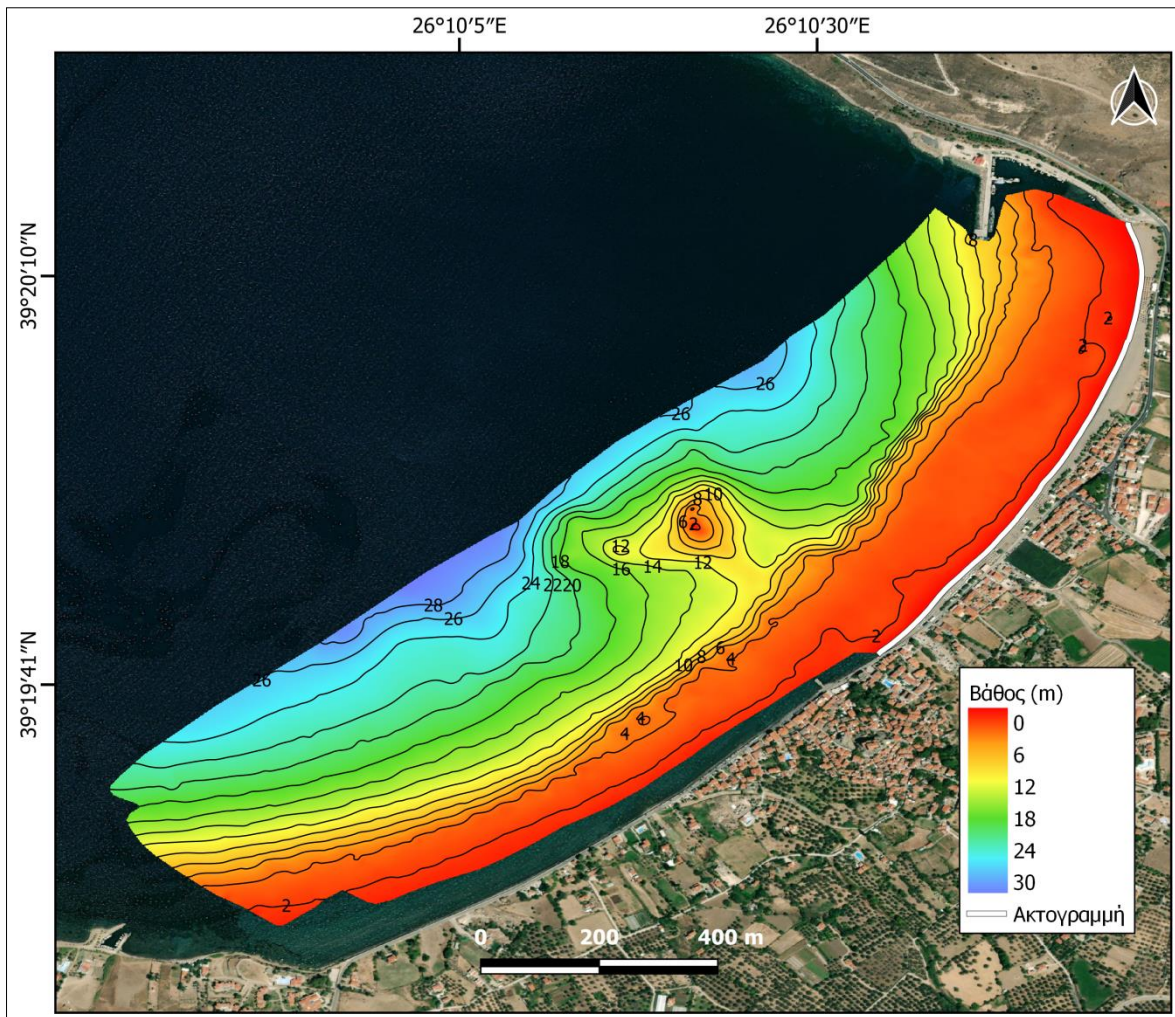
Από τα παραπάνω αποτελέσματα γίνεται αντιληπτή η διαφοροποίηση της παράκτιας μορφολογίας, η οποία ελέγχεται από τις τοπικές υδροδυναμικές και ιζηματοδυναμικές συνθήκες και παρουσιάζει υψηλή χωρο-χρονική μεταβλητότητα. Κάτι το οποίο διαφαίνεται πληρέστερα όταν εξεταστεί η διαφοροποίηση στο εμβαδό της παραλίας μεταξύ των διαφορετικών ημερομηνιών (Εικόνα 41). Πιο συγκεκριμένα, μεταξύ 12/09/2022 και 20/02/2023 η παραλία είχε προσχωτική συμπεριφορά, ενώ εκτιμήθηκε πως περίπου 3,620 m² είχαν εναποτεθεί στο παράκτιο μέτωπο. Παρόμοια συμπεριφορά πρόσχωσης καταγράφηκε μεταξύ των ημερομηνιών 12/09/2022 και 09/06/2023 όπου εναποτέθηκαν συνολικά περίπου 1,360 m² κατά μήκος της παραλίας, ενώ αντίθετα μεταξύ των ημερομηνιών 20/02/2023 και 09/06/2023, η παραλία έδειξε διαβρωτικές τάσεις με περίπου 2,300 m² παραλίας να έχουν χαθεί από το παράκτιο μέτωπο.



Εικόνα 41: Εκτιμώμενα εμβαδά διάβρωσης και απόθεσης μεταξύ των διαφορετικών ημερομηνιών καταγραφής της παραλιακής μορφολογίας με ΣμηΕΑ.

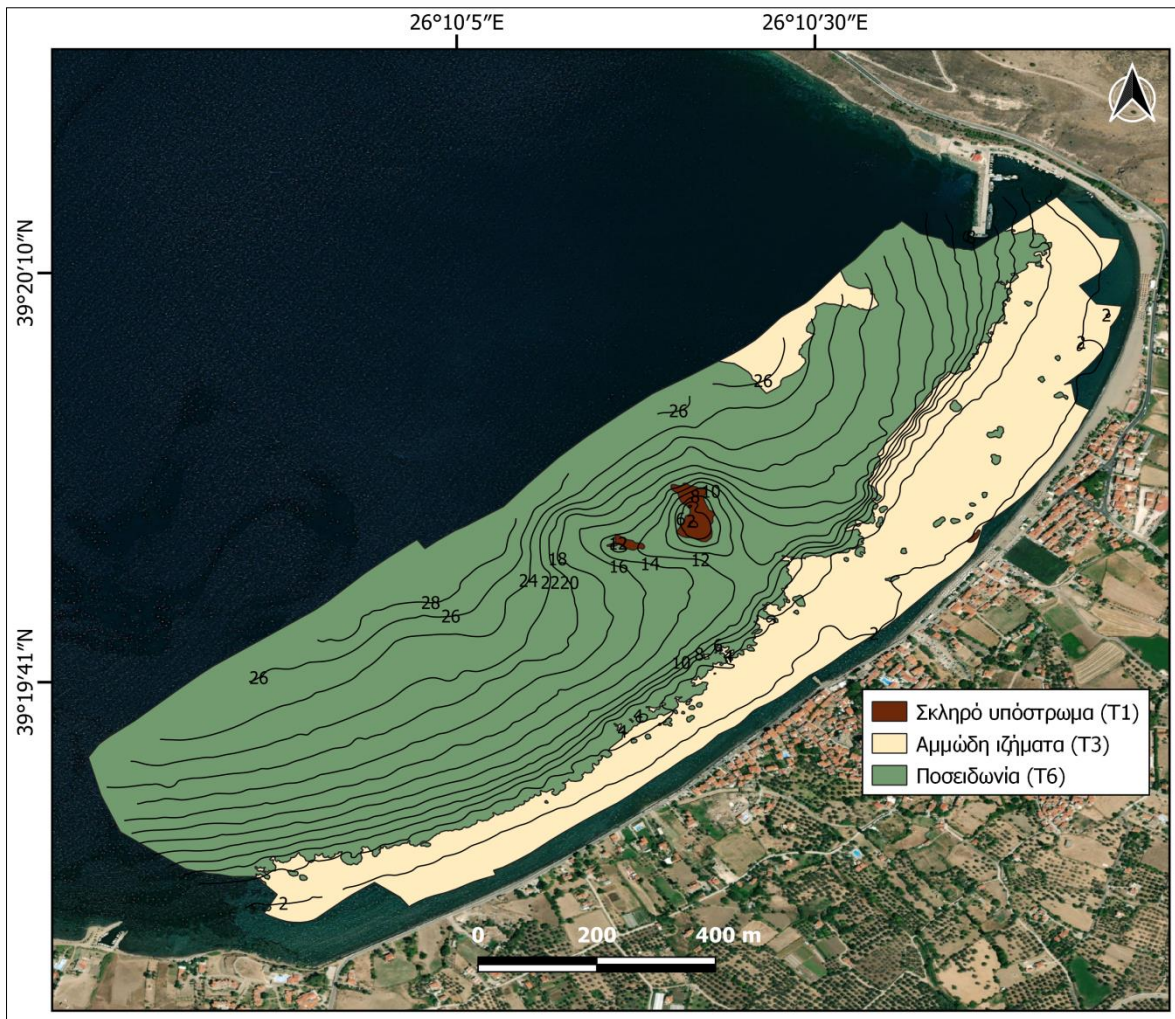
4.1.3.3 Βαθυμετρία και Μορφολογία

Η λήψη βυθομετρικών δεδομένων δεν περιορίστηκε μόνο στο θαλάσσιο τμήμα μπροστά από την παραλία αλλά επεκτάθηκε και στην ευρύτερη περιοχή, ειδικά προς το νότιο τμήμα όπου πλέον έχει διαβρωθεί η παραλία και έχουν ήδη τοποθετηθεί ογκόλιθοι προκειμένου να προστατευτεί το τοίχιο του δρόμου (Εικόνα 42). Η μορφολογία του πυθμένα παρουσιάζει ιδιαιτερότητες. Ξεκινώντας από τα μικρότερα βάρη, μέχρι περίπου τα 6 m, η αύξηση του βάρους γίνεται σχετικά ομαλά και τοπικά παρατηρούνται κάποιες μορφολογικές διαφορές στο κεντρικό και βόρειο τμήμα σε βάρη 2-3 m. Γενικότερα, το ρηχό τμήμα έως και τα 6 m βάρους φαίνεται να έχει μεγαλύτερο πλάτος έκτασης στο βόρειο τμήμα – ακριβώς μπροστά στην παραλία – σε σχέση με το νότιο τμήμα. Σε βάρους μεγαλύτερο των 6 m παρατηρείται ένα κατώφλι με απότομη μεταβολή της κλίσης το οποίο φτάνει σε βάθος τα 14 m. Από τα 14 m και βαθύτερα η μεταβολή του βάρους φαίνεται να είναι ομαλή μέχρι και τα 30 m που φτάνει ο κάρβος. Το χαρακτηριστικό μορφολογικό στοιχείο της περιοχής εντοπίζεται στο κεντρικό τμήμα ως ένα πολύ ρηχό σημείο το οποίο αντιστοιχεί πιθανώς στην ανάδυση του υποβάθρου. Το σημείο είναι τόσο ρηχό που έχει σημανθεί προς αποφυγή ατυχημάτων πλοήγησης.



Εικόνα 42: Βυθομετρικός χάρτης της περιοχής της Πέτρας.

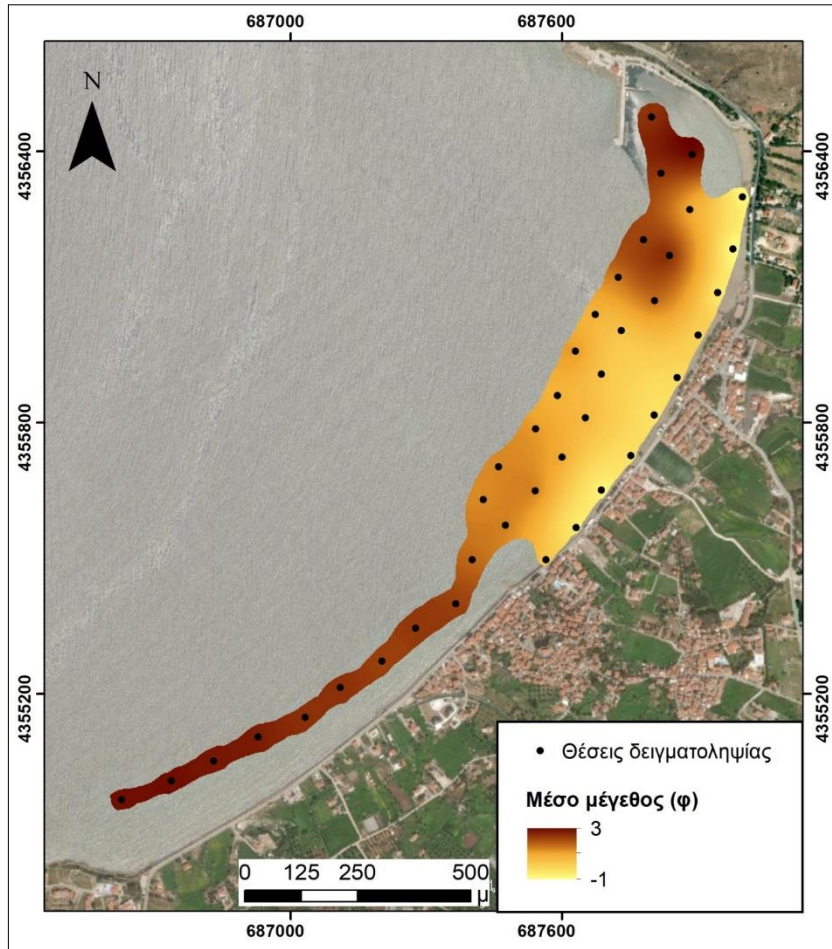
Η ανάλυση και σύνθεση των μορφολογικών δεδομένων και η επαλήθευσή τους από 22 σημεία βύθισης υποβρύχιας κάμερας στην ευρύτερη περιοχή της παραλίας της Πέτρας έδειξε την παρουσία τριών τύπων ανακλαστικότητας (Εικόνα 43). Ο T1 καταλαμβάνει μια μικρή έκταση ($0.1 \text{ km}^2 - 0.6\%$) και αντιστοιχεί στην ανάδυση του υποβάθρου που εντοπίζεται στο κεντρικό τμήμα της περιοχής. Ο T3 επεκτείνεται κυρίως το ρηχότερο τμήμα (2-6 m) αλλά εμφανίζεται και τοπικά στο βόρειο τμήμα μέχρι τα 17 m και μεταξύ 20 – 30 m στο βαθύτερο όριο της περιοχής έρευνας. Καταλαμβάνει μια έκταση ($0.33 \text{ km}^2 - 28.6\%$) και αντιστοιχεί σε αμμώδη ιζήματα. Ο T6 ($0.82 \text{ km}^2 - 70.8\%$) αφορά την έκταση του λιβαδιού της Ποσειδωνίας το οποίο ξεκινά την πυκνή του κάλυψη από τα $\sim 4 \text{ m}$ μέχρι και το βαθύτερο όριο. Μερικές συστάδες Ποσειδωνίας ωστόσο εντοπίζονται και τοπικά σε βάθη μικρότερα των 4 m.



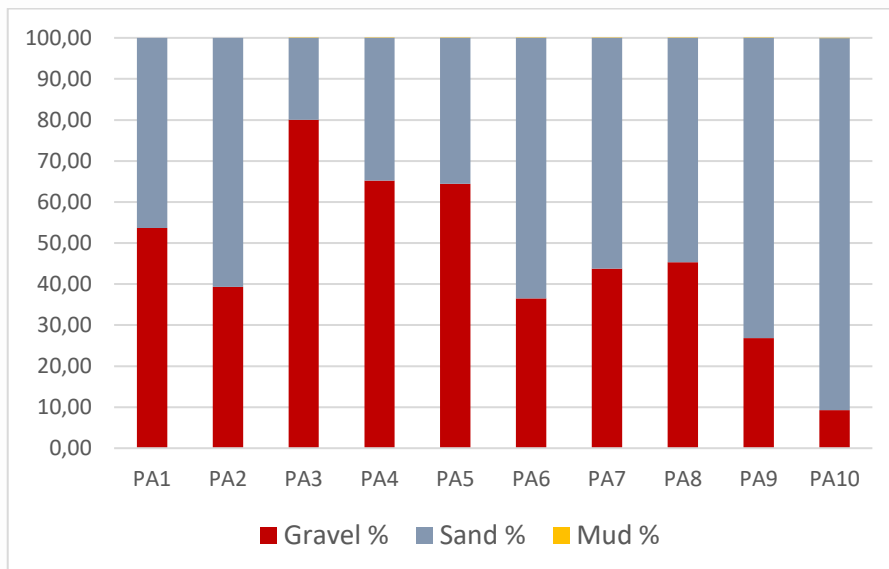
Εικόνα 43: Χάρτης κατανομής των διαφορετικών τύπων ανακλαστικότητας που εντοπίστηκαν στην περιοχή της Πέτρας.

4.1.3.4 Ιζηματολογία

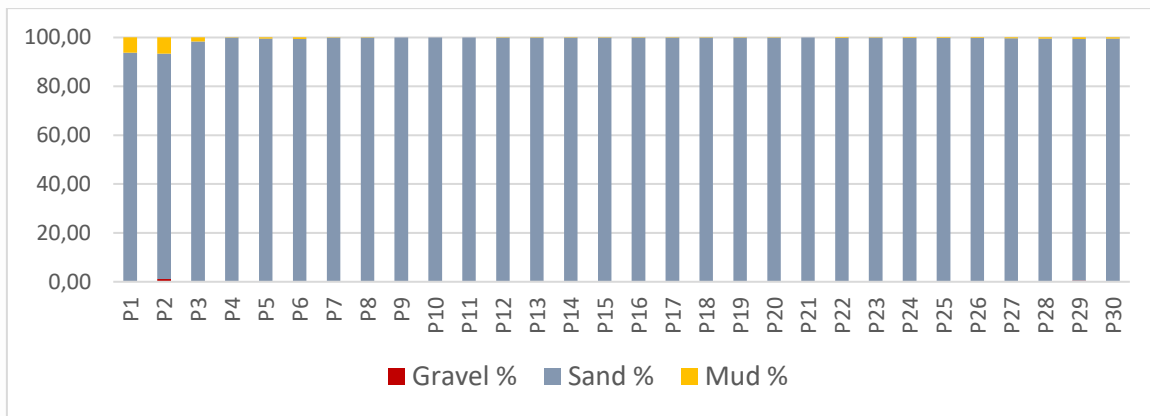
Συνολικά 10 δείγματα επιφανειακού ιζήματος συλλέχθηκαν από το χερσαίο τμήμα της παραλίας της Πέτρας κατά μήκος της ακτογραμμής (PA1 έως PA10) και 30 δείγματα από το θαλάσσιο τμήμα της περιοχής έρευνας (P1 έως P30) σε βάθη μεταξύ 2.9 – 6.5 m (Εικόνες 44, 45 και 46). Τα ιζήματα είναι αδρομερή και αποτελούνται από ψηφίδες έως και λεπτόκοκκη άμμο (-1 – 3 ϕ). Τα χερσαία δείγματα είναι αδρομερέστερα από τα θαλάσσια με την πλειοψηφία τους να είναι αμμούχες ψηφίδες και τη διαβάθμισή τους να κυμαίνεται από φτωχά διαβαθμισμένα έως πολύ καλά διαβαθμισμένα (Εικόνα 45). Τα θαλάσσια ιζήματα είναι κυρίως άμμοι και λεπτόκοκκοι άμμοι, με το πιο λεπτόκοκκο υλικό να κατανέμεται στο βορειότερο και νότιο τμήμα της περιοχής (Εικόνα 46). Η κατανομή της τυπικής απόκλισης δείχνει ότι τα θαλάσσια ιζήματα είναι πολύ φτωχά διαβαθμισμένα (~1.2 ϕ) έως πολύ καλά διαβαθμισμένα (0.5 ϕ), με τις τιμές να κατανέμονται στο βόρειο και νότιο τμήμα αντίστοιχα.



Εικόνα 44: Η κατανομή του μέσου μεγέθους των ιζημάτων στην περιοχή της Πέτρας.



Εικόνα 45: Συγκεντρωτικό γράφημα κοκκομετρικής σύστασης (%) των χερσαίων δειγμάτων που αναλύθηκαν από περιοχή της Πέτρας.

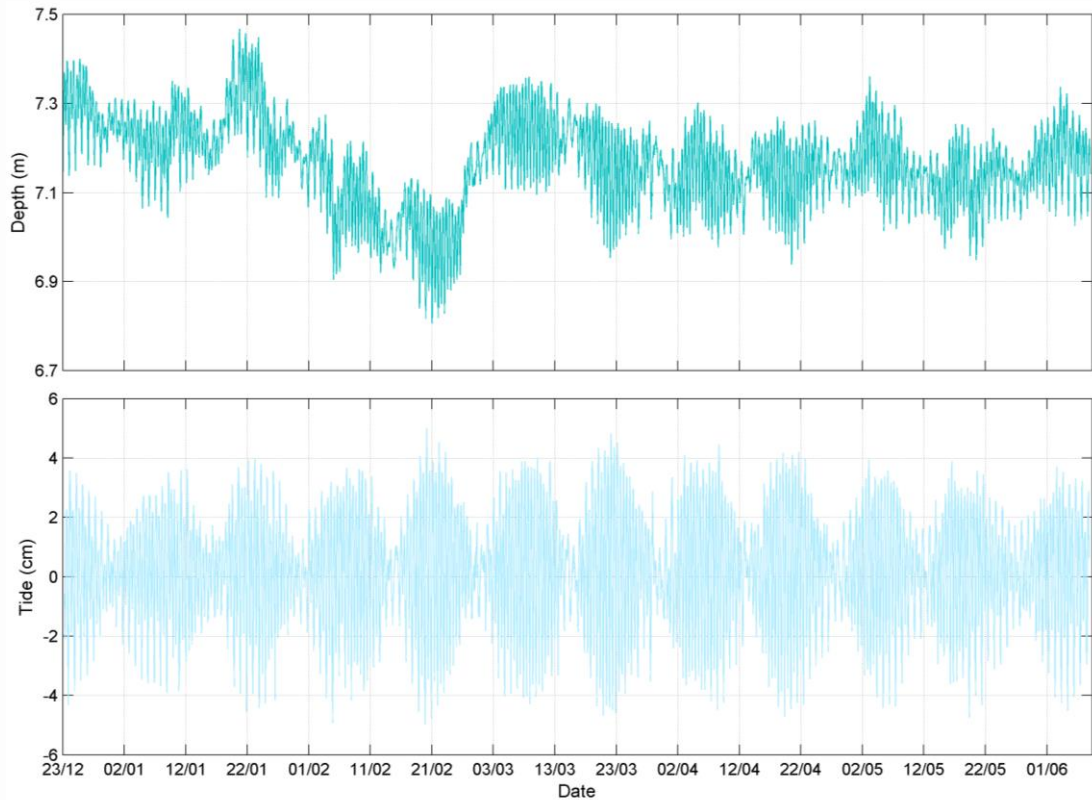


Εικόνα 46: Συγκεντρωτικό γράφημα κοκκομετρικής σύστασης (%) των θαλάσσιων δειγμάτων που αναλύθηκαν από περιοχή της Πέτρας.

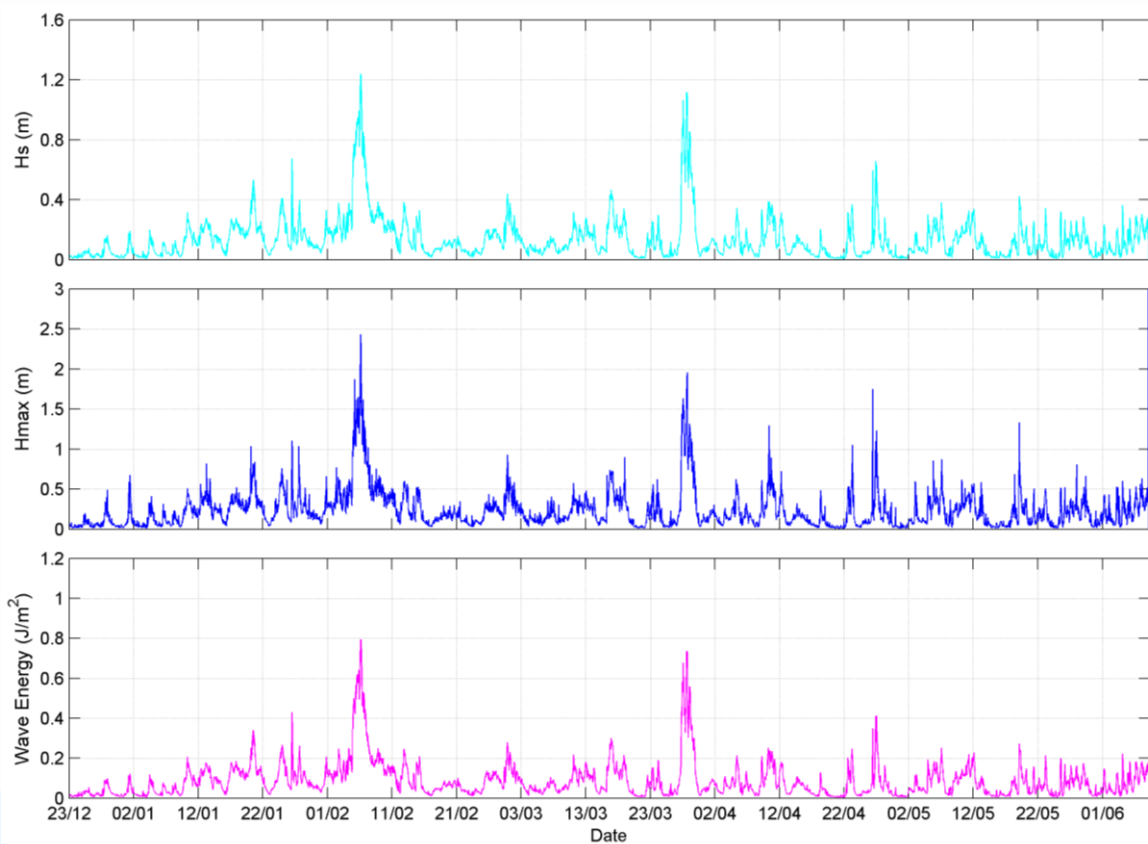
4.1.3.5 Υδροδυναμικές καταγραφές

Από τον κυματογράφο RBR στην περιοχή της Πέτρας αναλύθηκαν καταγραφές για την ενεργητική περίοδο μεταξύ 23/12/2022 και 08/06/2023. Ο ρευματογράφος μετά την ανέλκυση και συντήρηση του, επανα-τοποθετήθηκε και παραμένει λειτουργικός έως και σήμερα. Κατά την περίοδο 22/01 – 28/02/2023 πραγματοποιήθηκε αισθητή μείωση του βάθους στο σημείο πόντισης από τα 7.4 m στα 6.9 m που αποδίδεται στην εμφάνιση υψηλών ατμοσφαιρικών πιέσεων (Εικόνα 47). Από την ανάλυση των δεδομένων φάνηκε πως η καταγραφόμενη παλίρροια για την περιοχή της Πέτρας πως είναι της τάξης των 8 cm.

Για την ίδια ενεργητική περίοδο, το καταγεγραμμένο σημαντικό ύψος κύματος ήταν σχετικά μικρό. Στην πλειοψηφία τους, τα σημαντικά ύψη κύματος στη θέση πόντισης του κυματογράφου ήταν μικρότερα από 0.5 m με εξαίρεση τα χρονικά διαστήματα μεταξύ 04-07/02 και 27-29/03 του 2023, όπου καταγράφηκαν τιμές άνω του 1.0 m. Για τα διαστήματα αυτά, τα καταγεγραμμένα μέγιστα ύψη κύματος ήταν της τάξης των 2.5 m και 2.0 m αντίστοιχα, ενώ για την υπόλοιπη περίοδο των καταγραφών στην πλειοψηφία τους ήταν κάτω του 1.0 m (Εικόνα 48). Η κυματική ενέργεια ήταν σχετικά μικρή κατά τη διάρκεια των καταγραφών (κάτω από 0.5 Jm^{-2}), με εξαίρεση τις ίδιες ημερομηνίες υψηλότερης κυματικής φόρτισης όπου καταγράφηκαν τιμές της τάξης των 0.8 Jm^{-2} .



Εικόνα 47: Διαφοροποίηση βάθους και παλιρροιακό σήμα στην παραλία της Πέτρας, όπως καταγράφηκε από τον κυματογράφο RBR.



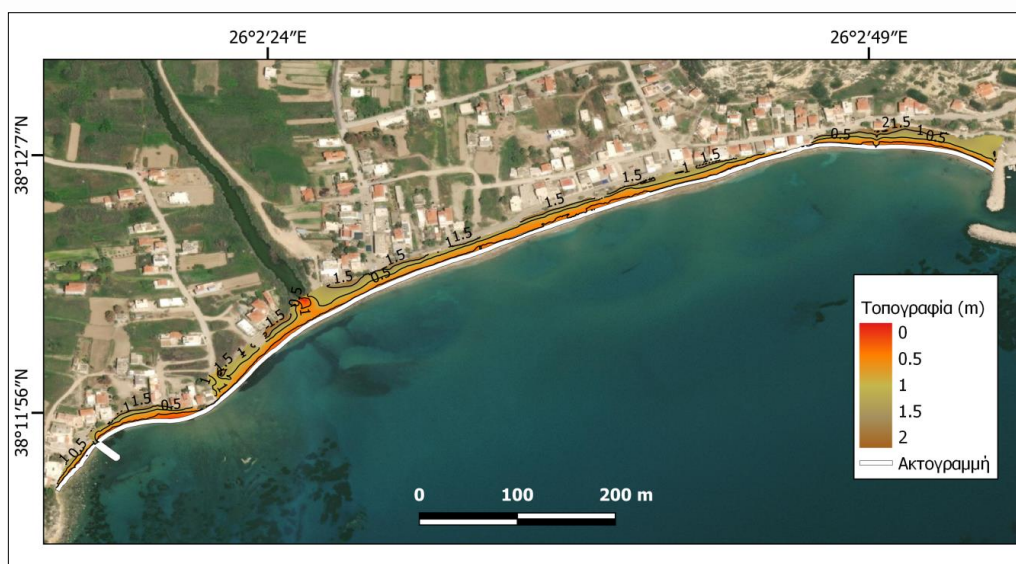
Εικόνα 48: Σημαντικό ύψος κύματος (H_s), Μέγιστο ύψος κύματος (H_{max}) και κυματική ενέργεια στην παραλία της Πέτρας, όπως καταγράφηκε από τον κυματογράφο RBR.

4.2 Χίος

4.2.1 Κώμη

4.2.1.1 Τοπογραφική αποτύπωση με RTK

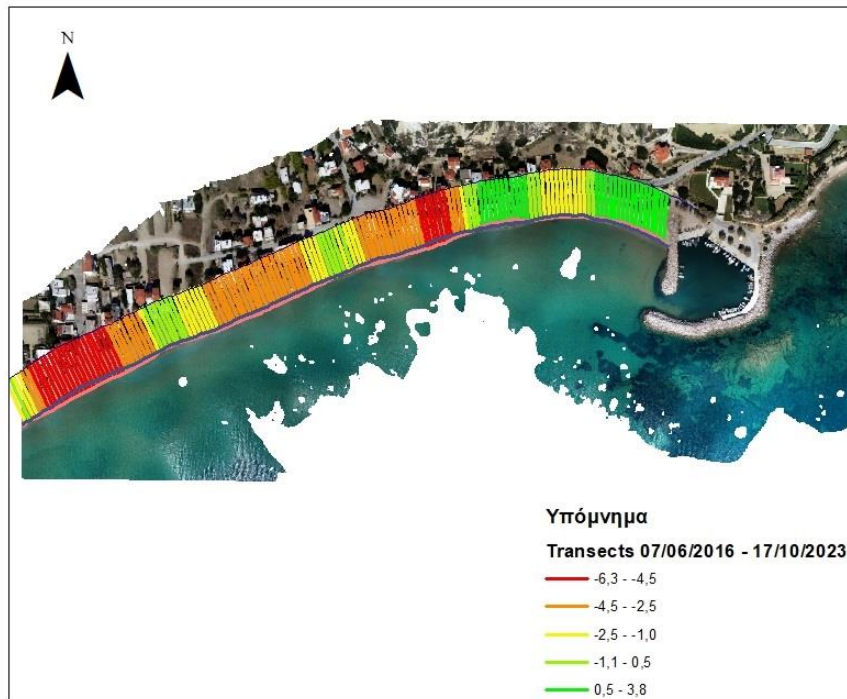
Η τοπογραφική αποτύπωση στην παραλία της Κώμης ανέδειξε την διαφορετική χερσαία μορφολογία της (Εικόνα 49). Η παραλία φαίνεται πως δε διατηρεί σταθερό πλάτος. Το πλάτος της κυμαίνεται από 0.5 – 30 m, με το μεγαλύτερο να εντοπίζεται στο βορειοανατολικότερο τμήμα δίπλα στον πρόβολο και το μικρότερο λίγο δυτικότερα. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η τοπογραφία της παραλίας στην εκβολή του ποταμού η οποία εμφανίζει πολύ χαμηλό ανάγλυφο/υψόμετρο (κοντά στο 0) στο ανώτερο όριο της. Φαινόμενα διάβρωσης και πρόσχωσης παρατηρούνται κατά μήκος της παραλίας, ιδιαίτερα γύρω από τις ανθρωπογενείς παρεμβάσεις (πχ αλιευτικό καταφύγιο).



Εικόνα 49: Τοπογραφικός χάρτης της παραλία; της Κώμης.

4.2.1.2 Τοπογραφική αποτύπωση με ΣμηΕΑ

Στην περίπτωση της Κώμης στην Χίο η σύγκριση των ακτογραμμών έγινε με την χρήση δύο ορθοφωτοχάρτων. Ο πρώτος ορθοφωτοχάρτης παράχθηκε από δεδομένα που συλλέχθηκαν στις 07/06/2016 στα πλαίσια προηγούμενης πτήσης με ΣμηΕΑ από το ΤΩΘΒΕ, ενώ ο δεύτερος από δεδομένα που συλλέχθηκαν στα πλαίσια του έργου στις 17/10/2023. Από την σύγκριση τους προέκυψε πως σε κάποια σημεία η ακτογραμμή εμφανίζει απόθεση, ενώ σε άλλα διάβρωση (Εικόνα 50).

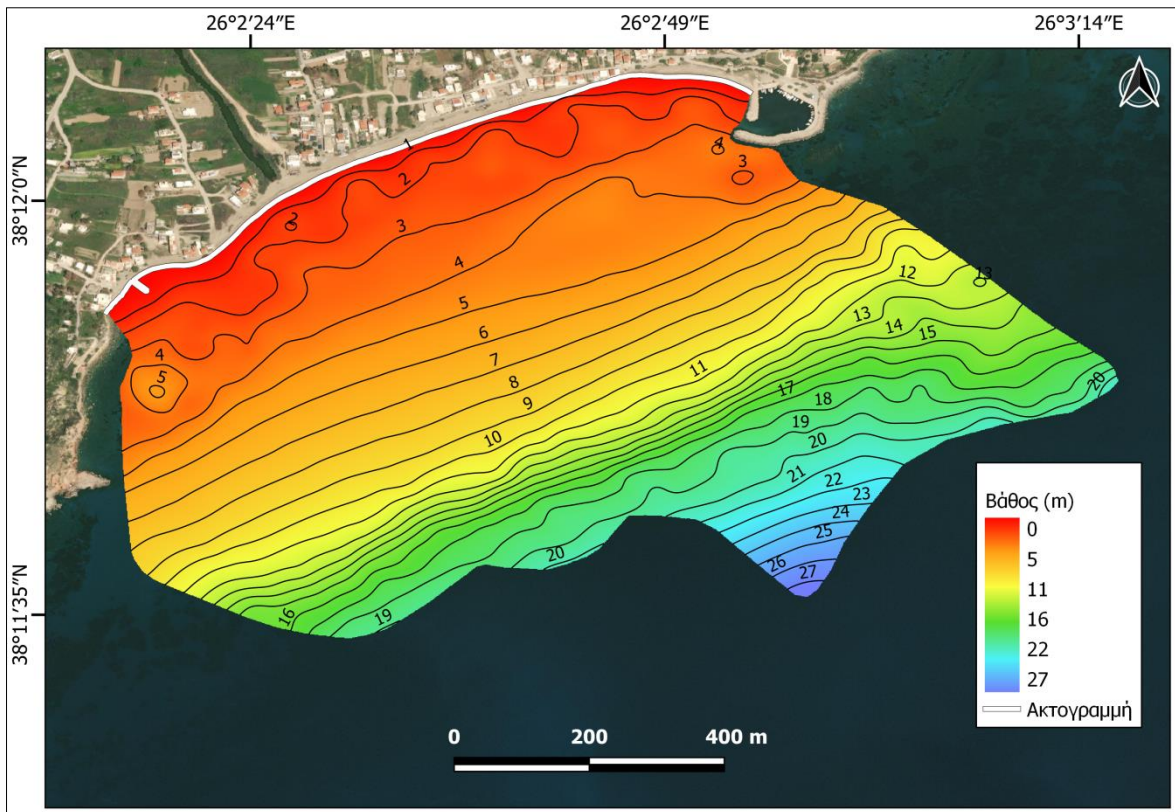


Εικόνα 50: Σύγκριση θέσεων ακτογραμμής (εγκάρσιων προφίλ) μεταξύ 07/06/2016 και 17/10/2023.

Από τα αποτελέσματα διαφαίνεται πως σε μια μακροπρόθεσμη περίοδο 7 χρόνων, η παραλία ως επί των πλείστων παρουσίασε πρόσχωση (μεταξύ 0.5 – 2 m) στο ανατολικό της τμήμα (πλησίον του αλιευτικού καταφυγίου), ενώ αντίθετα ανιχνεύτηκαν σημαντικές διαβρωτικές τάσεις (άνω των 4 m στην πλειονότητα των εξεταζόμενων θέσεων) στο κεντρικό και δυτικό της τμήμα. Το παραπάνω επιβεβαιώνει τις επικρατούσες διαβρωτικές τάσεις της παραλίας, ενώ αποτελεί ένδειξη εγκάρσιας στερεομεταφοράς από την χερσαία προς την υποθαλάσσια παραλία μιας και οι μικρές ανιχνευόμενες προσχωτικές τάσεις στο ανατολικό της τμήμα δε συμβαδίζουν με τα κατά πολύ μεγαλύτερα (και σε πολλαπλές θέσεις) ποσά διάβρωσης που ανιχνεύτηκαν στην υπόλοιπη παραλία ώστε η μορφοδυναμική να αιτιολογείται μέσω οριζόντιας προς την ακτή στερεομεταφοράς.

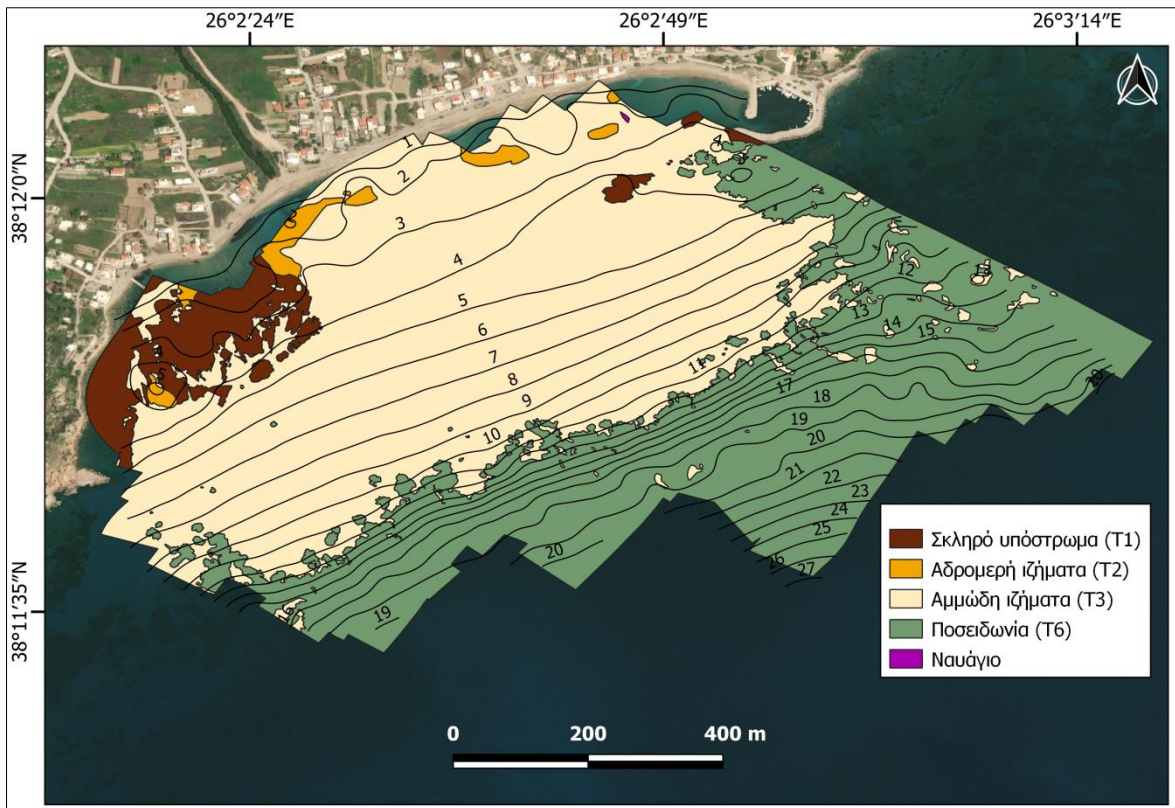
4.2.1.3 Βαθυμετρία και Μορφολογία

Η βαθυμετρία της Κώμης (Εικόνα 51) εμφανίζει ήπια μορφολογία στο ρηχότερο τμήμα της (0 – 5 m). Σε βάθη μεγαλύτερα των 5 m η μορφολογία φαίνεται να αλλάζει με την παρουσία ομαλού αναγλύφου μέχρι περίπου τα 12 m. Από τα 12 m η κλίση γίνεται πιο απότομη μέχρι περίπου το βάθος των 18 m όπου συνεχίζει μέχρι τα 27 m. Στο ανατολικό τμήμα και σε εύρος βαθών 9 – 20 m παρατηρείται έντονη μορφολογία που αργότερα αποδείχτηκε ότι σχετίζεται με την παρουσία Ποσειδωνίας.



Εικόνα 51: Βαθυμετρικός χάρτης της περιοχής της Κώμης.

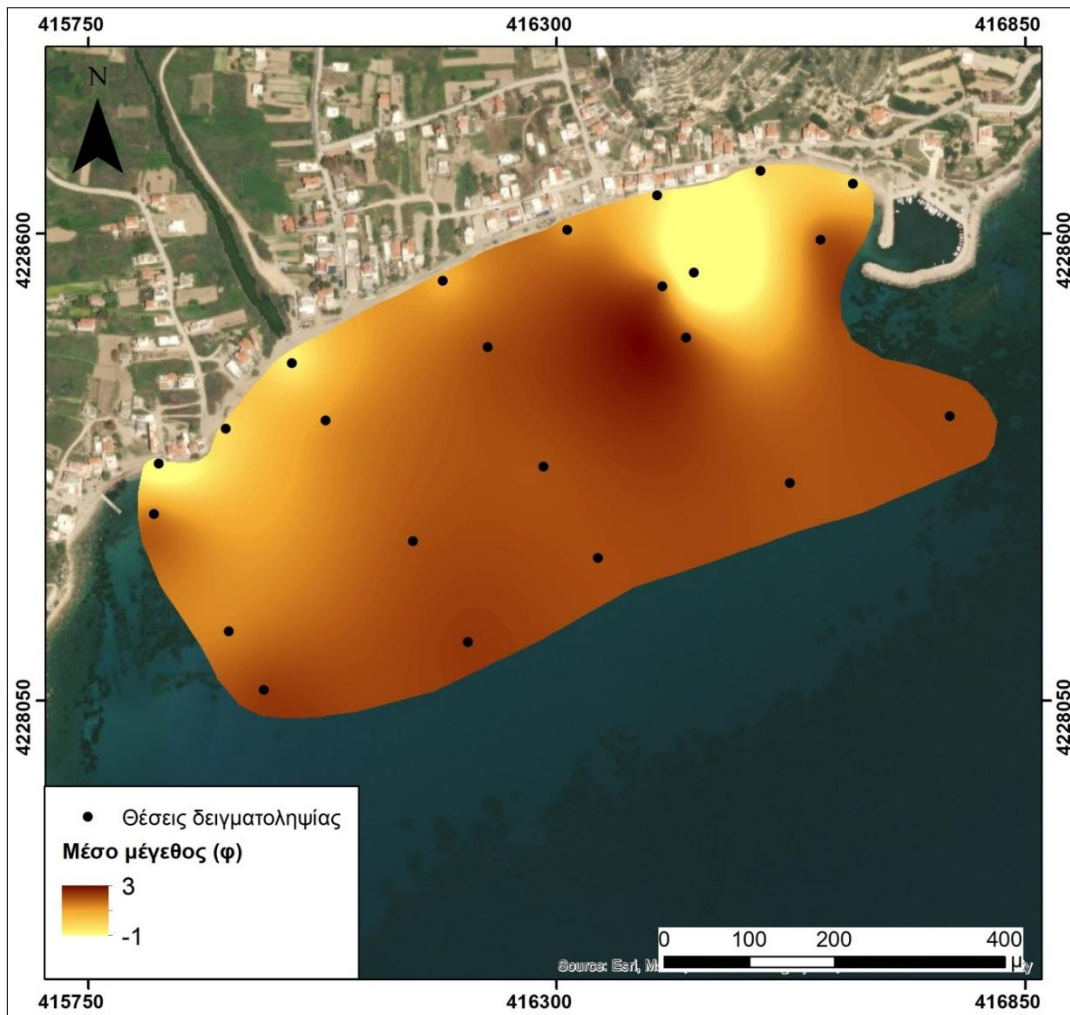
Η ανάλυση και σύνθεση των μορφολογικών δεδομένων και η επαλήθευσή τους από 23 σημεία βύθισης κάμερας έδειξε την παρουσία τεσσάρων διαφορετικών τύπων ανακλαστικότητας (Εικόνα 52). Ο T1 καταλαμβάνει μια έκταση ($0.05 \text{ km}^2 - 1.3\%$), εντοπίζεται στο δυτικό τμήμα της περιοχής σε ένα εύρος βαθών 1 – 5 m και τοπικά προς το ανατολικό τμήμα της περιοχής και αντιστοιχεί στην παρουσία σκληρού υποστρώματος. Ο T2 καταλαμβάνει ένα μικρό τμήμα της ρηχότερης περιοχής ($0.01 \text{ km}^2 - 5.3\%$), εμφανιζόμενος τοπικά σε βάθη μικρότερα των 4 m, και δηλώνει την παρουσία αδρομερέστερων ιζημάτων. Ο T3 καταλαμβάνει ένα αρκετά μεγάλο τμήμα της περιοχής ($0.53 \text{ km}^2 - 54.8\%$) και αντιστοιχεί σε αμμώδη ιζήματα. Ο T6 καταλαμβάνει κυρίως το βαθύτερο τμήμα, και ένα τμήμα στα ανατολικά και αντιστοιχεί στην παρουσία λιβαδιού Ποσειδωνίας ($0.37 \text{ km}^2 - 38.6\%$). Ένα ενδιαφέρον χαρακτηριστικό που εντοπίστηκε στις καταγραφές είναι ένα μικρό ναυάγιο στο βόρειο-βορειοανατολικό τμήμα στα 2.5 m βάθος.



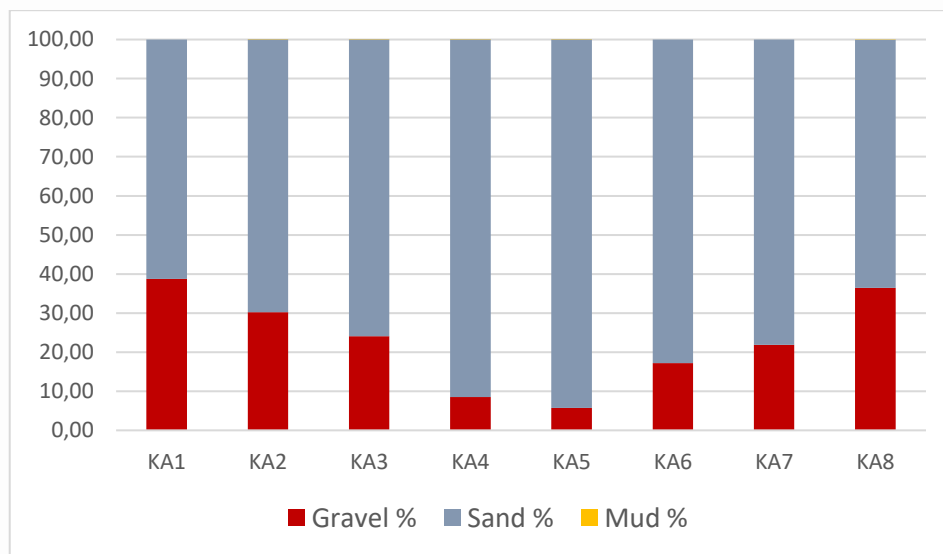
Εικόνα 52: Χάρτης κατανομής των διαφορετικών τύπων ανακλαστικότητας που εντοπίστηκαν στην περιοχή της Κώμης.

4.2.1.4 Ιζηματολογία

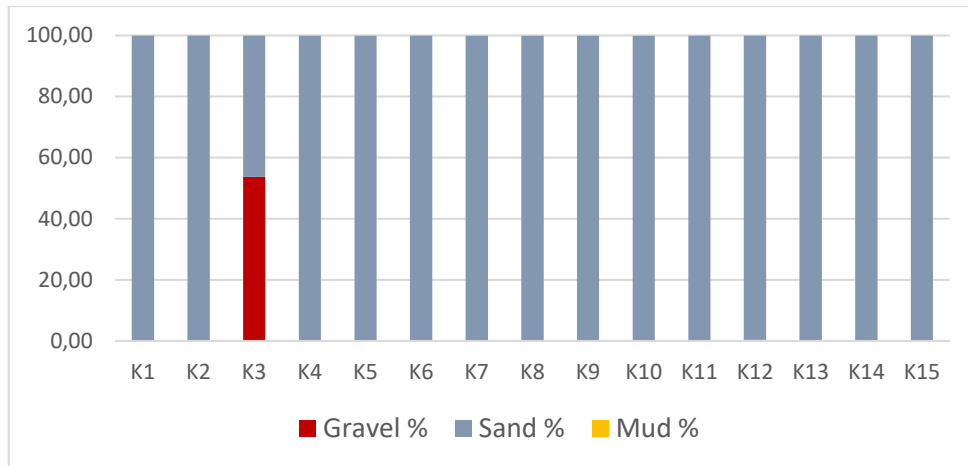
Συνολικά 8 δείγματα επιφανειακού ιζήματος συλλέχθηκαν από το χερσαίο τμήμα της παραλίας της Κώμης κατά μήκος της ακτογραμμής (KA1 έως KA8) και 15 δείγματα από το θαλάσσιο τμήμα της περιοχής έρευνας (K1 έως K15) σε βάθη μεταξύ 1.5 – 6.6 m (Εικόνες 53, 54 και 55). Τα ιζήματα είναι αδρομερή και αποτελούνται από ψηφίδες έως και λεπτόκοκκη άμμο (-1 έως -3 ϕ). Τα χερσαία δείγματα είναι αδρομερέστερα από τα θαλάσσια με την πλειοψηφία τους να είναι ψηφιδούχες άμμοι και τη διαβάθμισή τους να κυμαίνεται από μετρίως έως πολύ φτωχά διαβαθμισμένα (Εικόνα 54). Τα θαλάσσια ιζήματα είναι κυρίως αδρομερής άμμοι (Εικόνα 55), με το πιο λεπτόκοκκο υλικό να κατανέμεται στο κεντρικό τμήμα της περιοχής σε βάθη ~ 6 m. Η Τυπική απόκλιση δείχνει ότι τα θαλάσσια ιζήματα στην πλειοψηφία τους είναι πολύ καλά διαβαθμισμένα (~0.5 ϕ).



Εικόνα 53: Η κατανομή του μέσου μεγέθους των ιζημάτων στην περιοχή της Κώμης.



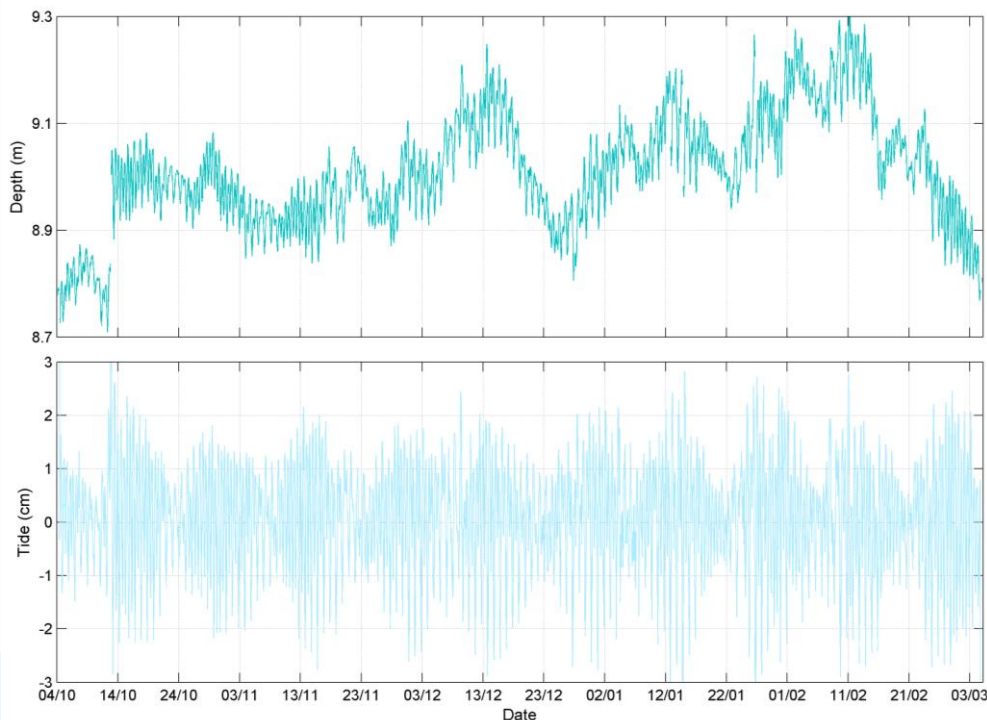
Εικόνα 54: Συγκεντρωτικό γράφημα κοκκομετρικής σύστασης (%) των χερσαίων δειγμάτων που αναλύθηκαν από περιοχή της Κώμης.



Εικόνα 55: Συγκεντρωτικό γράφημα κοκκομετρικής σύστασης (%) των θαλάσσιων δειγμάτων που αναλύθηκαν από περιοχή της Κώμης.

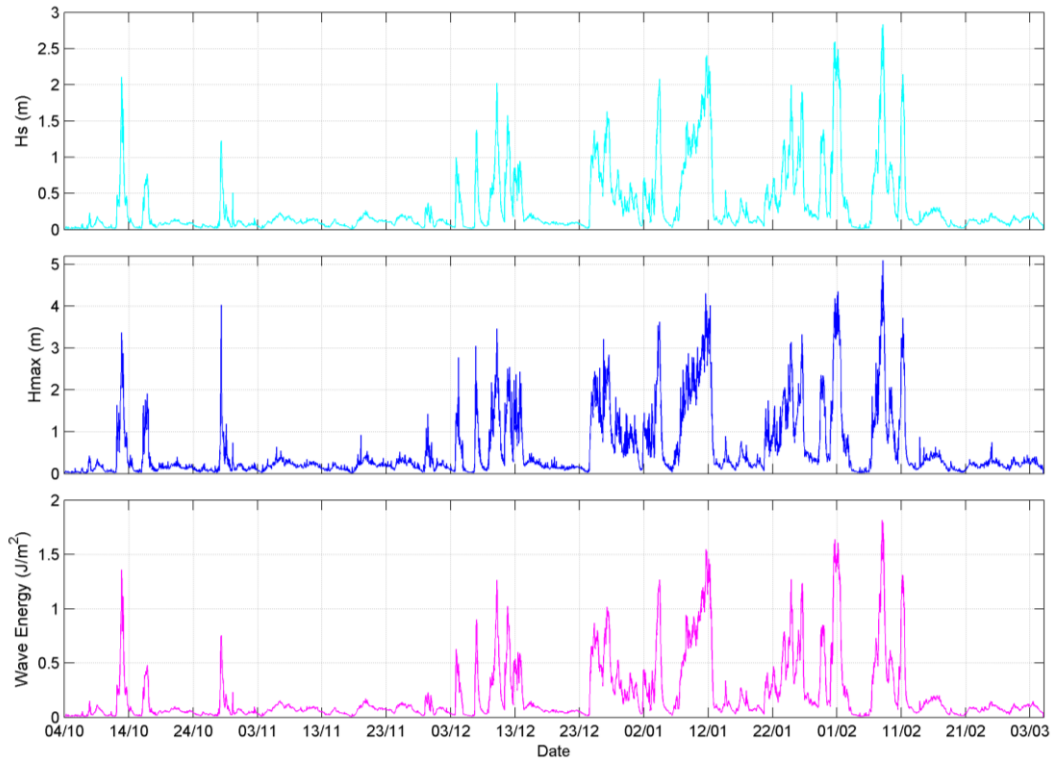
4.2.1.5 Υδροδυναμικές καταγραφές

Από τις καταγραφές του κυματογράφου φάνηκε μια διαφοροποίηση στο βάθος η οποία είναι της τάξης του 0.5 m. Πιο αναλυτικά υπήρξαν 4 διακριτές περιόδους μείωσης του βάθους στο σημείο πόντισης του κυματογράφου μεταξύ i) 27/10 - 10/11, ii) 13/12 - 26/12, iii) 14/01 - 23/01 και 13/02 - 05/03, έπειτα από τις οποίες ακολούθησαν αντίστοιχες περιόδους αύξησης της θέσης του βάθους (με εξαίρεση την περίοδο 13/02 - 05/03, όπου και είναι η καταληκτική περίοδος των καταγραφών). Επιπρόσθετα, ο μεγαλύτερος καταγραφόμενος ρυθμός ανόδου πραγματοποιήθηκε σε μια μέρα, μεταξύ 13-14/10 2022 (Εικόνα 56). Οι ανωτέρω διαφοροποιήσεις αποδίδονται σε μεταβολές της ατμοσφαιρικής πίεσης. Η παλίρροια που καταγράφηκε για την περιοχή έχει εύρος 6 cm.



Εικόνα 56: Διαφοροποίηση βάθους και παλίρροιακό σήμα στην παραλία της Κώμης, όπως καταγράφηκε από τον κυματογράφο RBR.

Από την κυματική ανάλυση φάνηκε πως στην παραλία της Κώμης προσπίπτουν υψηλοί κυματισμοί οι οποίοι είναι αρκετά φορτισμένοι ενεργειακά. Πιο συγκεκριμένα καταγράφηκαν σημαντικά ύψη κύματος άνω των 2 m, ενώ για τις ίδιες περιόδους τα μέγιστα καταγραφόμενα κύματα ήταν άνω των 3 m και η κυματική ενέργεια ήταν άνω των 1.2 Jm^{-2} (Εικόνα 57). Από τις καταγραφές φαίνεται πως οι πιο ενεργητική περίοδος από άποψη κυματικής φόρτισης είναι η χειμερινή (μεταξύ Δεκεμβρίου και Φεβρουαρίου).



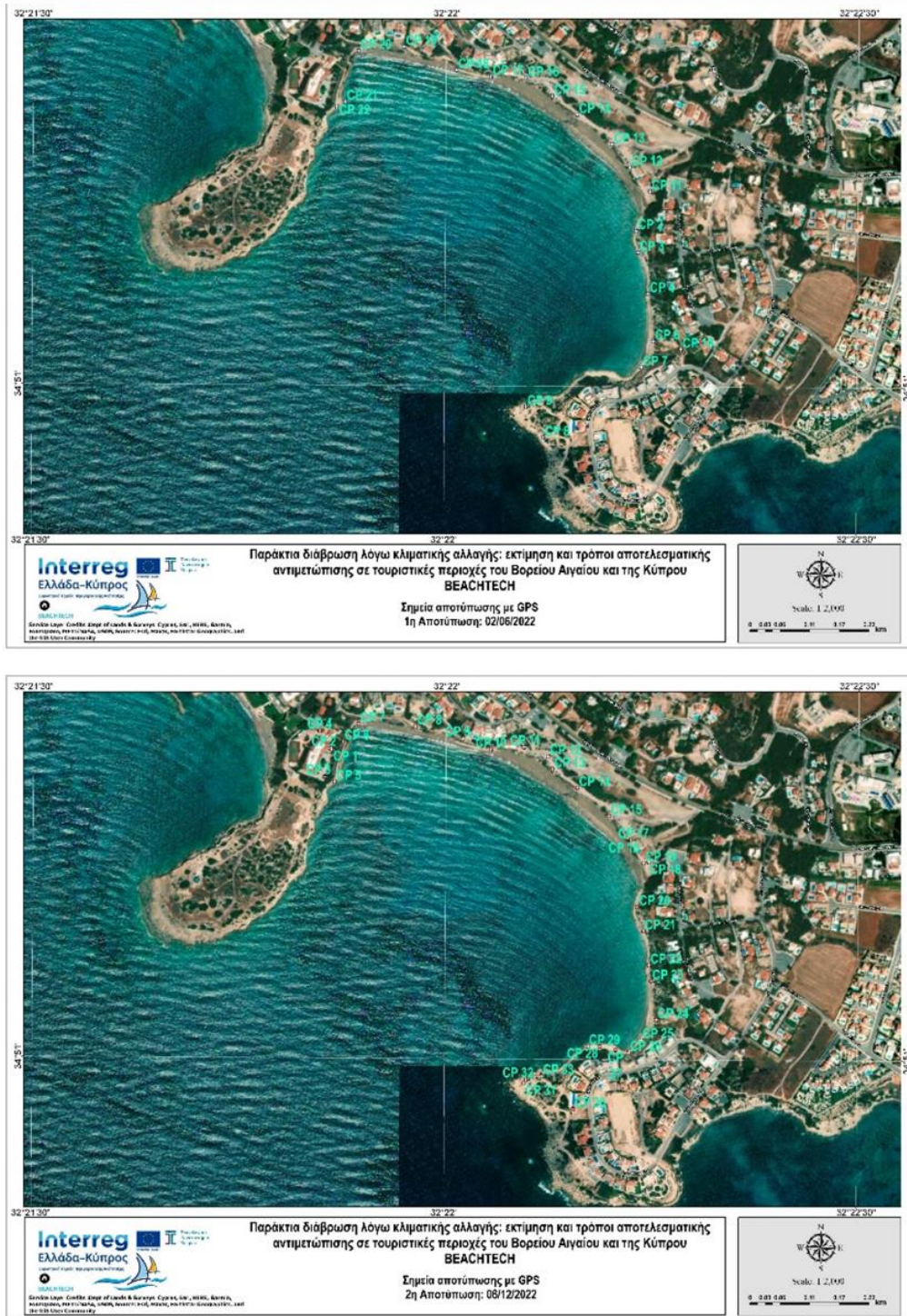
Εικόνα 57: Σημαντικό ύψος κύματος (H_s), Μέγιστο ύψος κύματος (H_{max}) και κυματική ενέργεια στην παραλία της Κώμης, όπως καταγράφηκε από τον κυματογράφο RBR.

4.3 Κύπρος

4.3.1 Κόλπος των Κοραλλιών

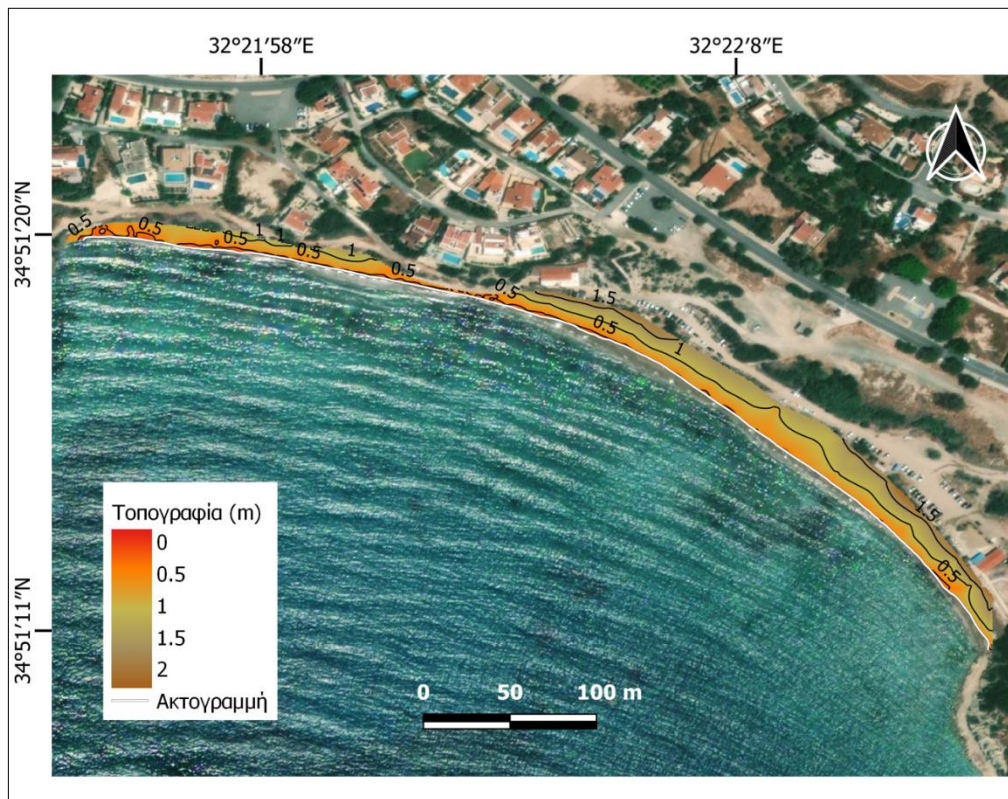
4.3.1.1 Τοπογραφική αποτύπωση με RTK

Κατά τις δυο ημερομηνίες των τοπογραφικών αποτυπώσεων στην παραλία του Coral Bay (02/06/2022 και 06/12/2022) συλλέχθηκαν με ακρίβεια συντεταγμένες γεωγραφικών σημείων ελέγχου (Ground Control Points – GCPs) τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για ακριβή μετατροπή των γεωγραφικών συντεταγμένων από το Κυπριακό σύστημα αναφοράς (ΓΣΑ '93). Τα σημεία που λήφθηκαν παρατίθενται στην εικόνα 58.



Εικόνα 58: Γεωγραφικά σημεία ελέγχου (GCPs) τα οποία συλλέχθηκαν με το RTK-DGPS στις 02/06/2022 (πάνω) και στις 06/12/2022 (κάτω) στην παραλία του Coral Bay.

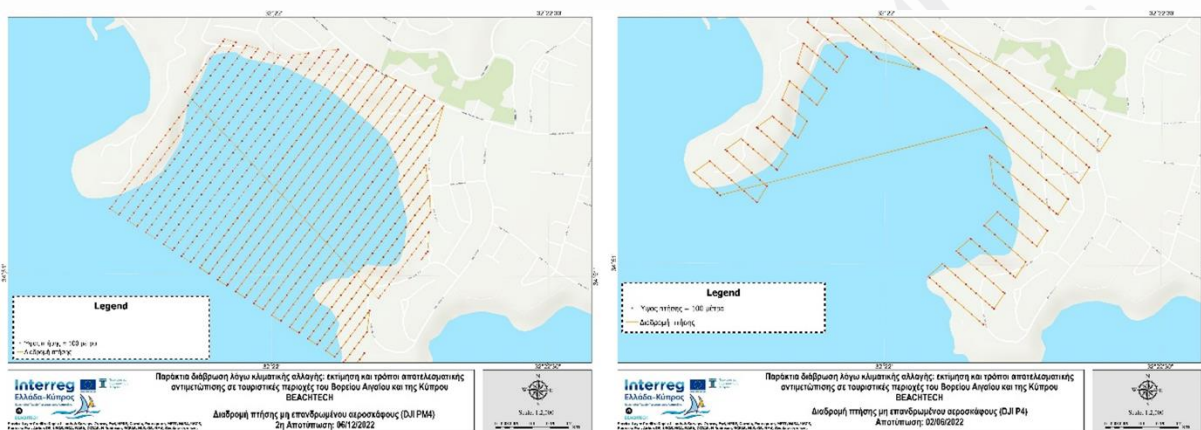
Η τοπογραφική αποτύπωση στην παραλία του Κόλπου των Κοραλλιών ανέδειξε την διαφορετική χερσαία μορφολογία της (Εικόνα 59). Η παραλία φαίνεται πως δε διατηρεί σταθερό πλάτος και θα μπορούσε να χωριστεί σε δύο τμήματα: το ανατολικό και το δυτικό. Το πλάτος της κυμαίνεται από 2 - 30 m, με το μεγαλύτερο να εντοπίζεται στο ανατολικό τμήμα όπου είναι και η κύρια παραλία. Το δυτικό τμήμα της παραλίας φαίνεται να αντιμετωπίζει φαινόμενα διάβρωσης με την παραλία να φτάνει σε πλάτος τα 2 m.



Εικόνα 59: Τοπογραφικός χάρτης της παραλίας του Κόλπου των Κοραλλιών όπως παράχθηκε από τα δεδομένα του RTK-DGPS.

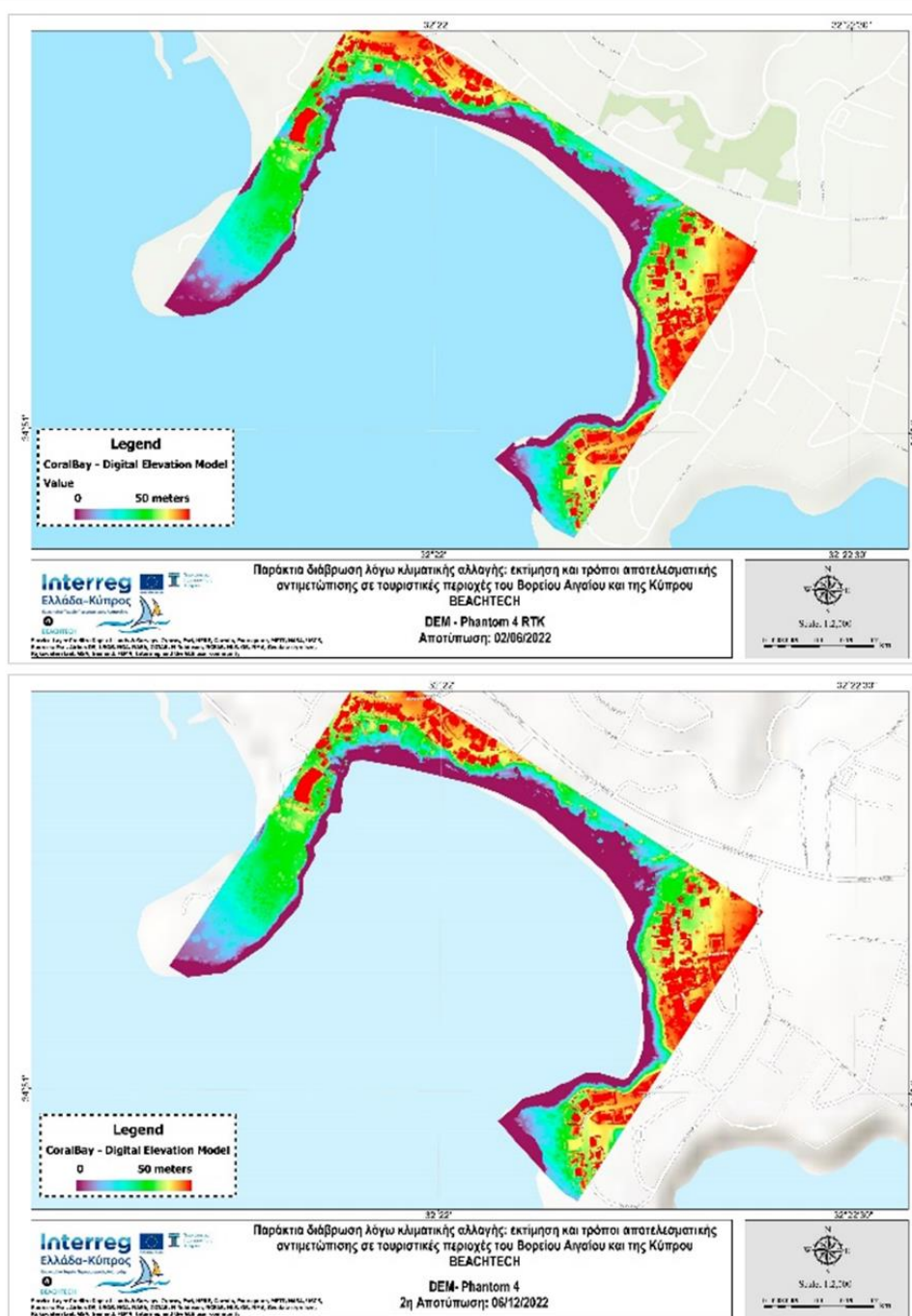
4.3.1.2 Τοπογραφική αποτύπωση με ΣμηΕΑ

Τα σχέδια/πορείες των πτήσεων που πραγματοποιήθηκαν στο Coral Bay στις 2 διαφορετικές ημερομηνίες καταγραφών (02/06/2022 και 06/12/2022) παρατίθενται στην εικόνα 60.



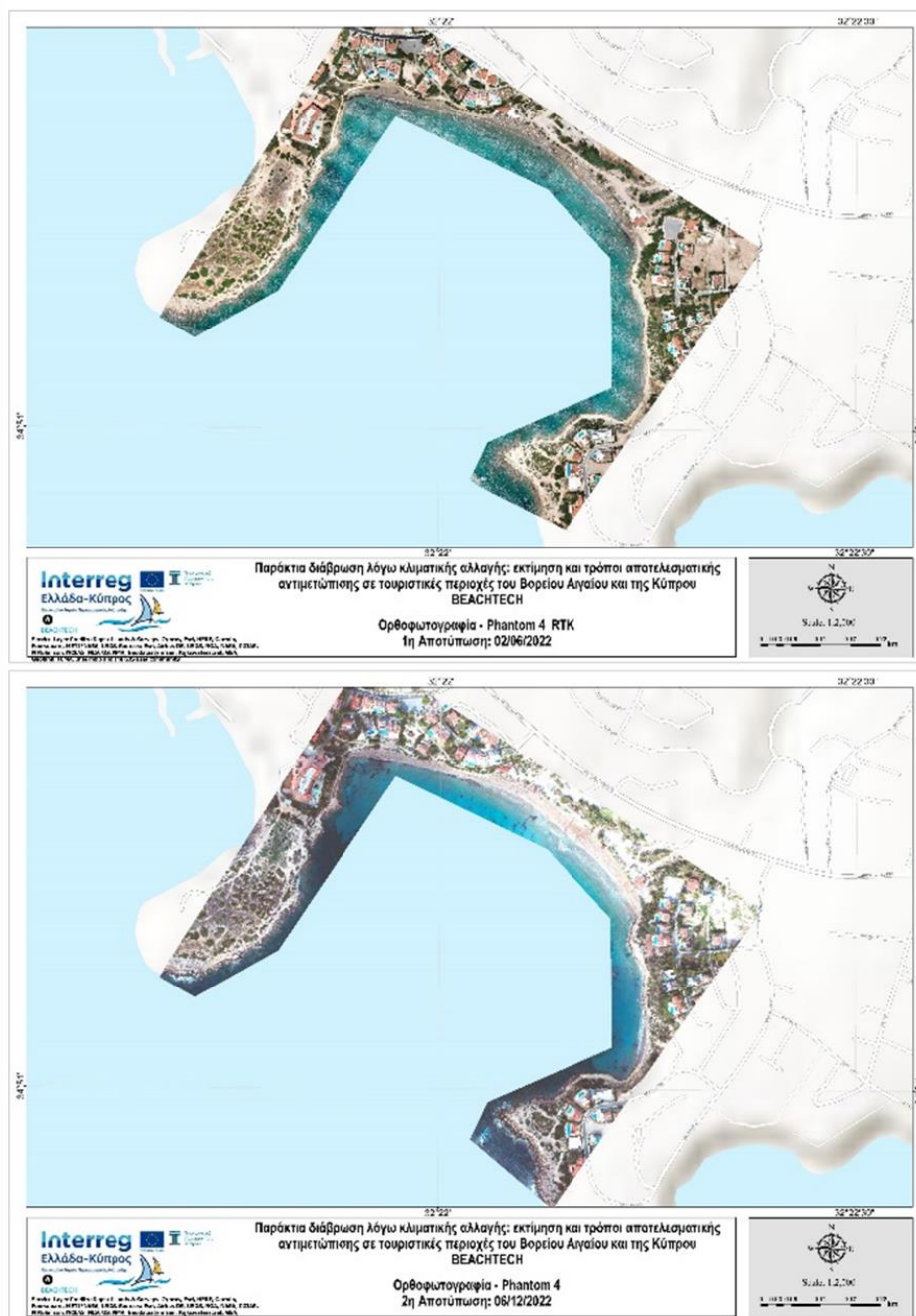
Εικόνα 60: Πορείες πτήσεων που σχεδιάστηκαν και ακολουθήθηκαν από τα ΣμηΕΑ στις 02/06/2022 (αριστερά) και 06/12/2022 (δεξιά) στην παραλία του Coral Bay.

Τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους υψηλής ακρίβειας που παράχθηκαν από επεξεργασία των οπτικών δεδομένων (εικόνων) από τα ΣμηΕΑ παρατίθενται στην εικόνα 61. Από τη σύγκριση των υψομετρικών διαφορών μεταξύ των 2 διαφορετικών ημερομηνιών δε φάνηκε κάποια σημαντική διαφορά στην ευρύτερη υψομετρία της παραλίας. Όμως, καταγράφηκε σημαντική διαφορά στην περιοχή της ακτογραμμής η οποία οδηγεί στο συμπέρασμα πως μεταξύ του χρονικού διαστήματος λήψης των αεροφωτογραφιών από τα ΣμηΕΑ καταγράφηκαν προσχωτικές διεργασίες, ειδικότερα στο δυτικό τμήμα της παραλίας.



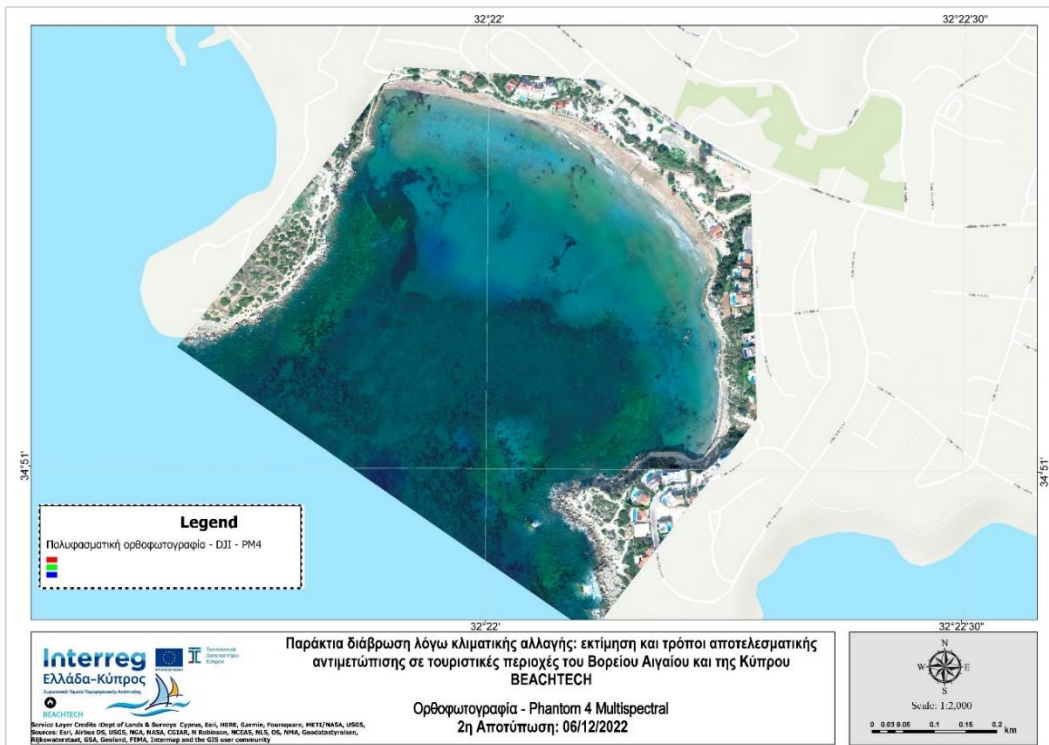
Εικόνα 61: Ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM) υψηλής ακρίβειας για την παραλία του Coral Bay από τα δεδομένα που ελήφθησαν στις 02/06/2022 (πάνω) και 06/12/2022 (κάτω).

Οι ορθοφωτογραφίες που παράχθηκαν από τα οπτικά δεδομένα παρατίθενται στην εικόνα που ακολουθεί. Ομοίως, είναι εμφανής η πρόσχωση που παρατηρείται στην περιοχή της ακτογραμμής συγκρίνοντας τις δύο εικόνες (Εικόνα 62).



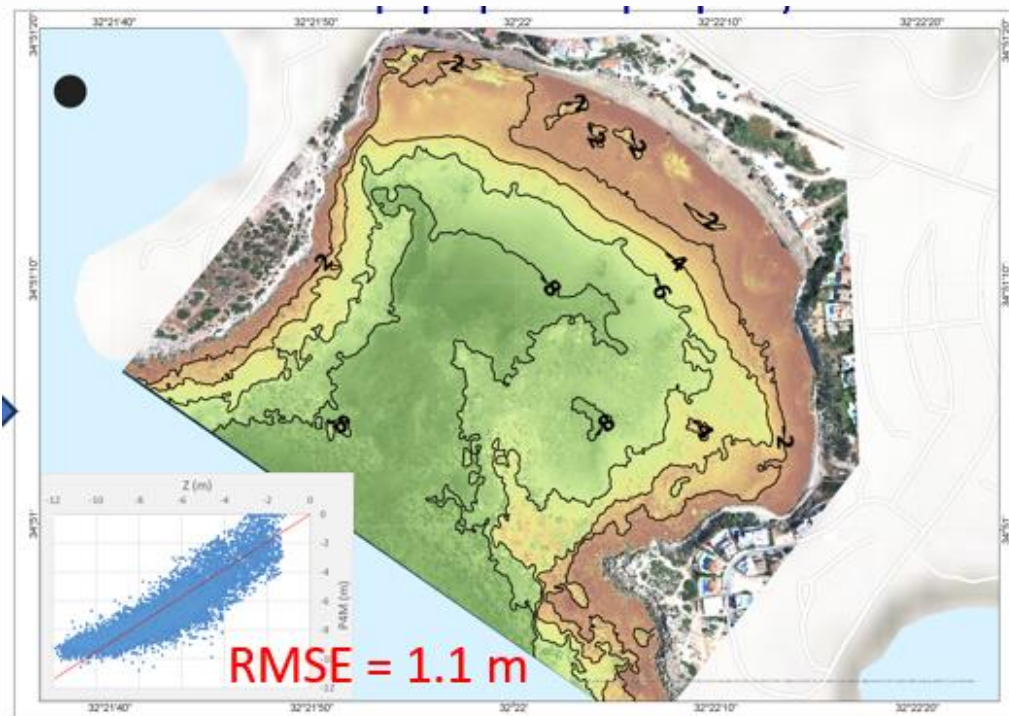
Εικόνα 62: Ορθοφωτογραφίες που παρήχθησαν από τα οπτικά δεδομένα για την παραλία του Coral Bay που ελήφθησαν στις 02/06/2022 (πάνω) και 06/12/2022 (κάτω).

Έπειτα από κατάλληλη βαθμονόμηση από τις τιμές ανακλαστικότητας των EVA και των αποτελεσμάτων του ραδιόμετρου στις καταγραφές με ΣμηΕΑ που έφερε πολυφασματικό δέκτη 5 χρωμάτων, προέκυψε ως αποτέλεσμα η ακόλουθη ορθοφωτογραφία υψηλής ευκρίνειας (Εικόνα 63).



Εικόνα 63: Ορθοφωτογραφία που προέκυψε από την ανάλυση των δεδομένων του πολυφασματικού δέκτη από την πτήση με ΣμηΕΑ που πραγματοποιήθηκε στις 06/12/2022.

Τέλος, η παράκτια βαθυμετρία που εξήχθη από τις εικόνες των ΣμηΕΑ στις 06/12/2022 παρουσιάζεται στην εικόνα 64.

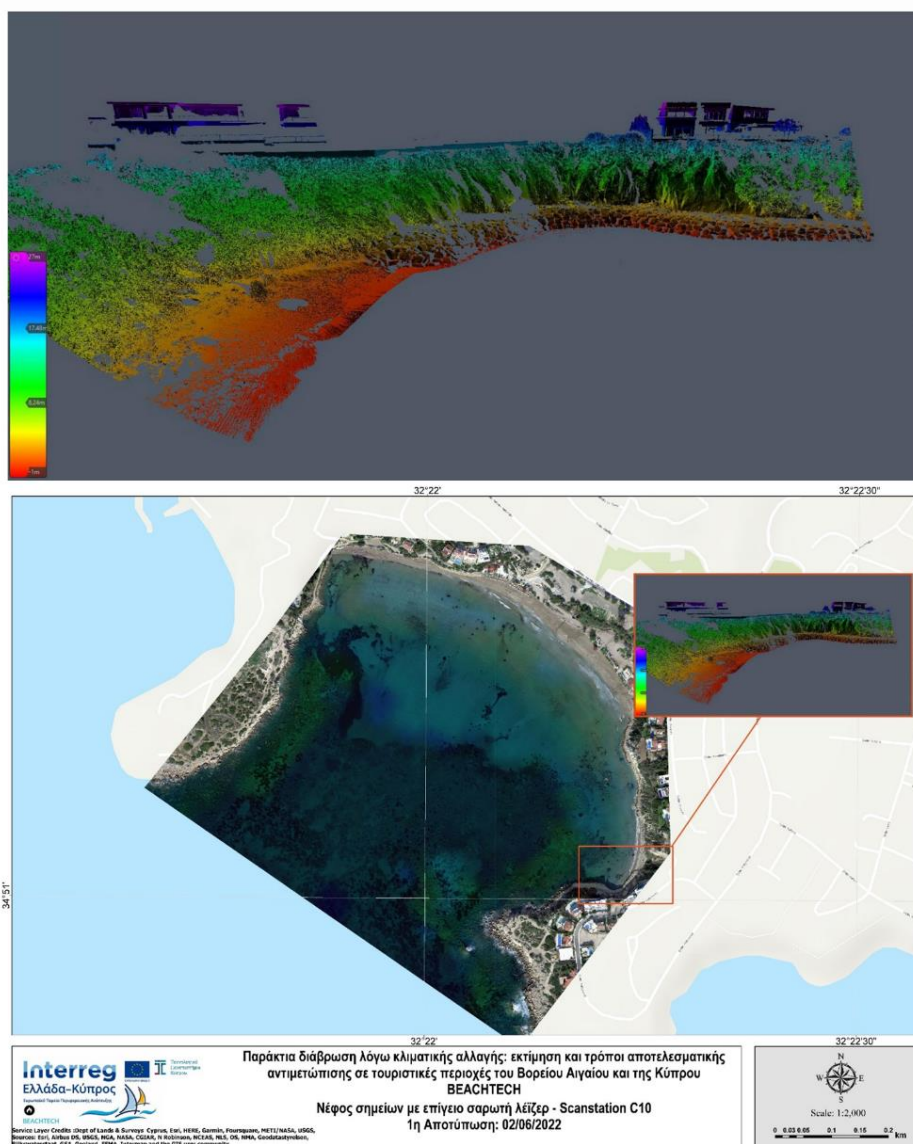


Εικόνα 64: Απεικόνιση της παράκτιας βαθυμετρίας όπως προέκυψε με επεξεργασία των οπτικών δεδομένων που λήφθηκαν από πτήσεις με ΣμηΕΑ στην παραλία Coral Bay. Επίσης διακρίνεται το διάγραμμα σύγκρισης των βαθυμετρικών τιμών της παραγόμενης εικόνας με την αναλυτική βαθυμετρία της παραλίας και η τιμή του μέσου τετραγωνικού σφάλματος.

Συγκρίνοντας με την αναλυτική παράκτια βυθομετρία που αποτυπώθηκε σε πολύ κοντινή ημερομηνία από βυθόμετρο ακριβείας (στις 03/12/2022 - Εικόνα 67, παρακάτω), τα αποτελέσματα υπήρξαν ιδιαίτερα ενθαρρυντικά μιας και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα που προέκυψε είχε τιμή 1.1 m. Τιμή που είναι αρκετά ικανοποιητική, αν και προτείνεται η συγκεκριμένη ερευνητική προσπάθεια να βελτιωθεί στο μέλλον για μείωση του σφάλματος σε ακρίβεια δεκαδικών ψηφίων, ώστε να είναι δυνατή η χρήση τέτοιου τύπου δεδομένων ως εναλλακτικά δεδομένα εισόδου βαθυμετρίας των παράκτιων υδρομορφοδυναμικών μοντέλων προσομοίωσης.

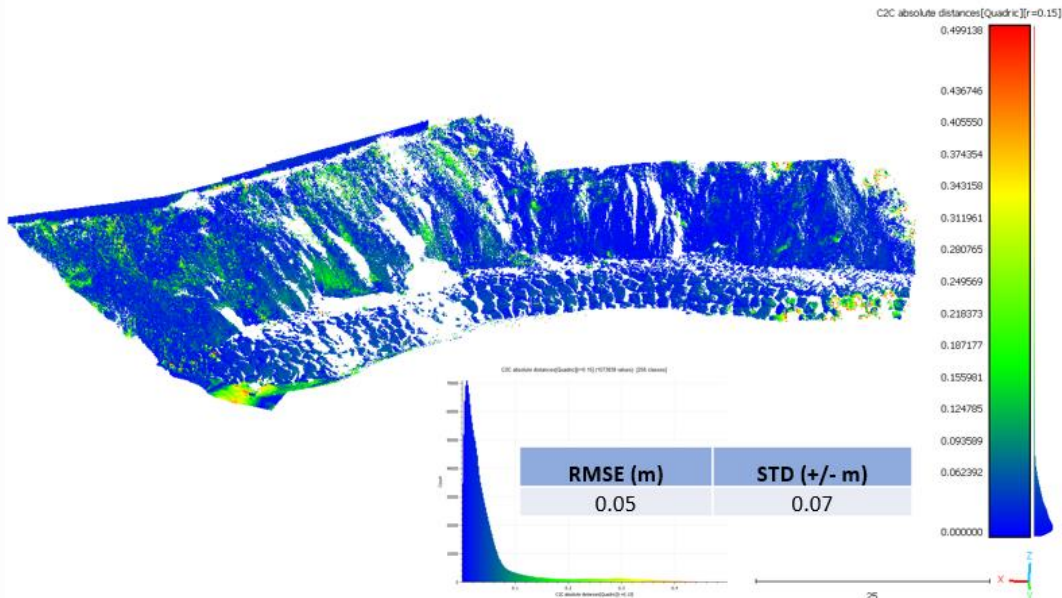
4.3.1.3 Τοπογραφική αποτύπωση με επίγειο σαρωτή laser – TLS

Το νέφος σημείων που προέκυψε από τη χρήση του επίγειου σαρωτή laser παρατίθενται στην εικόνα 65 που ακολουθεί.



Εικόνα 65: Νέφος σημείων με την χρήση επίγειου σαρωτή λέιζερ (TLS) στο δυτικό άκρο της παραλίας του Coral Bay.

Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του κτηματολογίου Κύπρου για την περιοχή απεικόνισης της παράκτιας τοπογραφίας με τον επίγειο σαρωτή laser (TLS), φάνηκε πως το νέφος σημείων που προέκυψε από την ανάλυση των δεδομένων του TLS είχε πολύ υψηλή ακρίβεια. Πιο συγκεκριμένα, το μέσο τετραγωνικό σφάλμα που προέκυψε από τη σύγκριση ήταν 5 cm, ενώ η τυπική απόκλιση είχε απόλυτη τιμή 7 cm (Εικόνα 66).



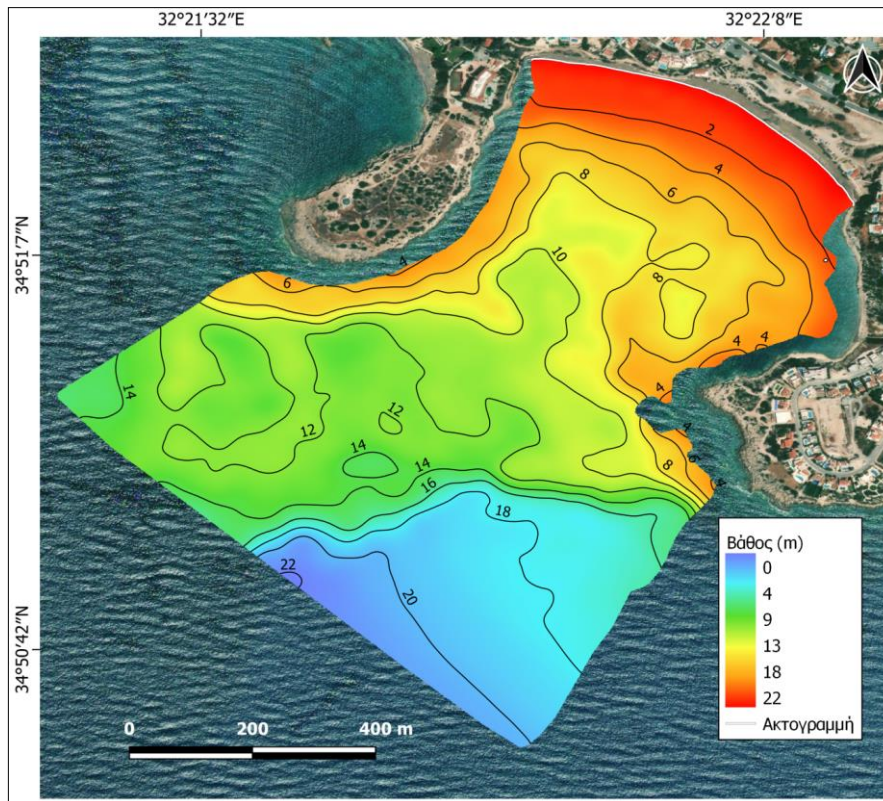
Εικόνα 66: Εκτίμηση του ψηφιακού μοντέλου εδάφους (DEM) από τα δεδομένα του νέφους σημείων του TLS σε σύγκριση με τα τοπογραφικά δεδομένα του κτηματολογίου Κύπρου για την ίδια περιοχή.

4.3.1.4 Βαθυμετρία και Μορφολογία

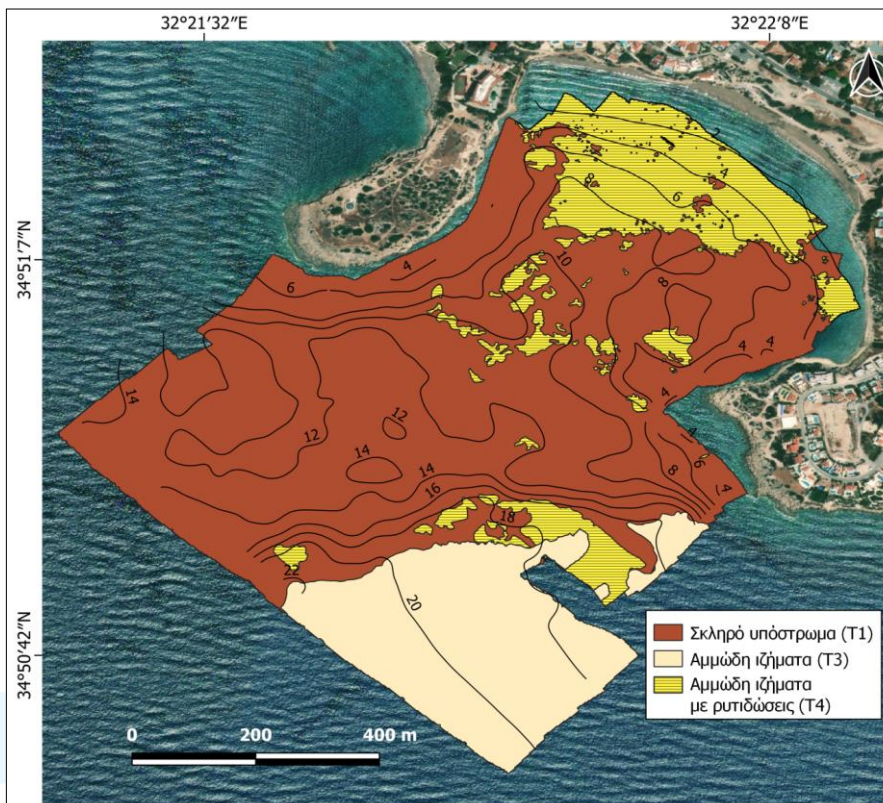
Η βαθυμετρία στην περιοχή του Κόλπου των Κοραλλιών (Εικόνα 67) εμφανίζει μια σχετικά ήπια μορφολογία. Στο ρηχότερο και κεντρικό τμήμα, μέχρι και το βάθος των ~ 5 m η κατανομή των βαθών φαίνεται ομοιόμορφη. Στο εύρος βαθών ~5-14 m διακρίνεται μια ήπια μορφολογία με την κατανομή των βαθών να είναι ελαφρώς ακανόνιστη και στο νότιο τμήμα σε βάθος μεγαλύτερο από 14 m διακρίνεται μια ζώνη στην οποία τα βάθη φαίνεται να εξελίσσονται πάλι ομαλά μέχρι και τα 22 m.

Η ανάλυση και σύνθεση των μορφολογικών δεδομένων και η επαλήθευσή τους από 22 σημεία βύθισης κάμερας έδειξε την παρουσία τριών διαφορετικών τύπων ανακλαστικότητας οι οποίοι εντοπίζονται σε τρεις ζώνες (Εικόνα 68). Η πρώτη ζώνη αφορά την παρουσία του T4, ο οποίος αντιστοιχεί σε αμμώδη ιζήματα με ρυτιδώσεις. Εκτείνεται στο ρηχότερο και κεντρικό τμήμα, σε βάθη μικρότερα των ~6-7 m και εμφανίζεται τοπικά και στα μεγαλύτερα βάθη. Καταλαμβάνει μια έκταση 0.13 km² (15.4%). Η δεύτερη ζώνη καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής 0.58 km² (66.7%) και αφορά την παρουσία του T1. Παρότι ο T1 έχει χαρακτηριστεί ως σκληρό υπόστρωμα, στην συγκεκριμένη περιοχή το ανάγλυφο, μετά την επαλήθευσή του με τη βυθισή κάμερας, φαίνεται να αποτελείται από την παρουσία ασβεστιτικών βιο - συσσωρεύσεων σε αμμώδη πυθμένα με τοπική – αραιή κάλυψη από Ποσειδωνία. Η σύνθεση αυτή παρουσιάζει σχεδόν παρόμοιο μοτίβο ανακλαστικότητας με το σκληρό υπόστρωμα γι αυτό και

κατηγοριοποιήθηκε ως T1. Η Τρίτη ζώνη αφορά την παρουσία αμμωδών ιζημάτων (T3) στο νοτιότερο και βαθύτερο τμήμα της περιοχής (16 έως 22 m) καταλαμβάνοντας μια έκταση 0.15 km² (17.9%).



Εικόνα 67: Βυθομετρικός χάρτης της περιοχής του Κόλπου των Κοραλλιών.

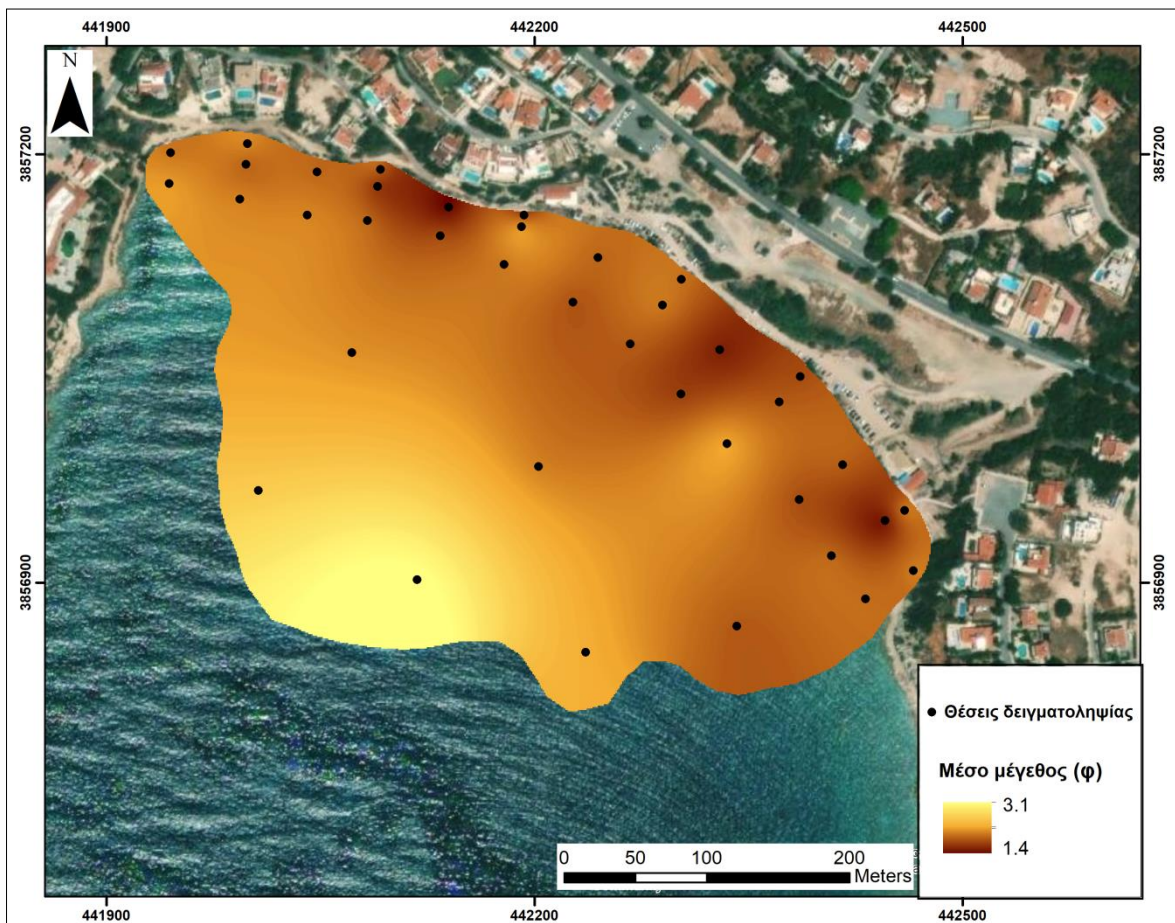


Εικόνα 68: Χάρτης κατανομής των διαφορετικών τύπων ανακλαστικότητας που εντοπίστηκαν στην περιοχή του Κόλπου των Κοραλλιών.

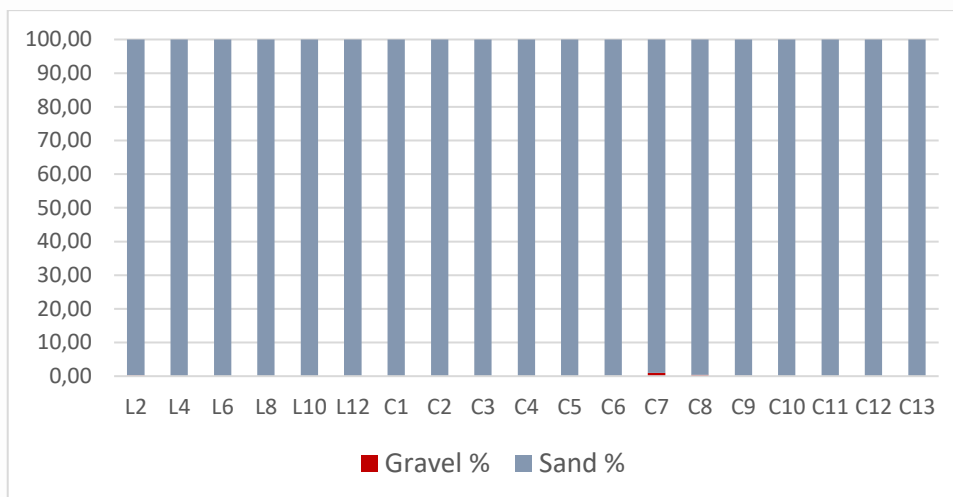
4.3.1.5 Ιζηματολογία

Συνολικά συλλέχθηκαν 46 δείγματα ιζημάτων. Μια μικρή αρπάγη τύπου van-veen χρησιμοποιήθηκε για τη δειγματοληψία ιζημάτων σε 16 σταθμούς (2 απέτυχαν) στο παράκτιο τμήμα της περιοχής (S1-S14), μετά από προκαταρκτική ερμηνεία των καταγραφών του SSS. Επίσης συλλέχθηκαν με το χέρι 13 δείγματα στα πολύ ρηχά (< 1.5 m), 13 κατά μήκος της ακτογραμμής και 6 από το εσωτερικό τμήμα της παραλίας (L-C).

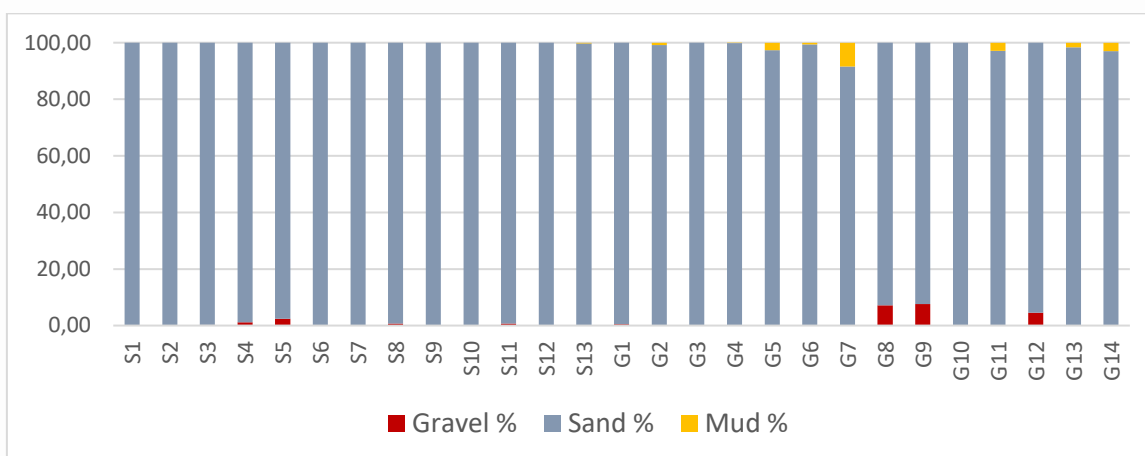
Το χρώμα και η φύση των θαλάσσιων ιζημάτων, ειδικά στα βορειοδυτικά, υποδηλώνουν ότι η διάβρωση του χερσαίου τμήματος, ειδικά κατά τη διάρκεια επεισοδίων υψηλής ενεργειακής δραστηριότητας κυμάτων/ρευμάτων, όπως επιβεβαιώνει και η παρουσία αμμο-ρυτίδων στον πυθμένα, παρέχει υλικό για τη γειτονική παραλία. Η πλειοψηφία των ιζημάτων, χερσαίων και θαλάσσιων είναι άμμοι, με τα χερσαία δείγματα να είναι λίγο πιο λεπτομερή (λεπτόκοκκη άμμος ~1.9 ϕ) με καλύτερη διαβάθμιση σε σχέση με τα θαλάσσια (πολύ καλά – καλά διαβαθμισμένα), σε σχέση με τα θαλάσσια τα οποία αποτελούνται και από αδρομερή άμμο (~0 ϕ) και χαρακτηρίζονται καλά διαβαθμισμένα (Εικόνες 69, 70 και 71).



Εικόνα 69: Η κατανομή του μέσου μεγέθους των ιζημάτων στην περιοχή του Κόλπου των Κοραλλίων.



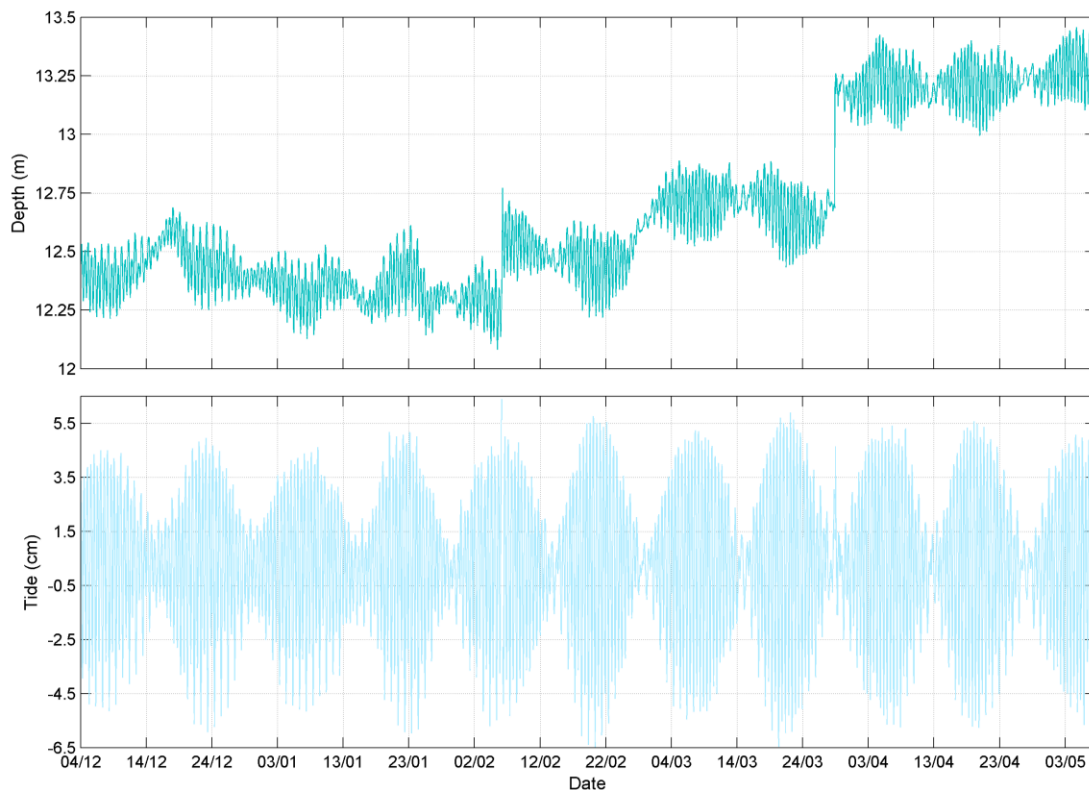
Εικόνα 70: Συγκεντρωτικό γράφημα κοκκομετρικής σύστασης (%) των χερσαίων δειγμάτων που αναλύθηκαν από περιοχή του κόλπου των Κοραλλίων.



Εικόνα 71: Συγκεντρωτικό γράφημα κοκκομετρικής σύστασης (%) των θαλάσσιων δειγμάτων που αναλύθηκαν από περιοχή του κόλπου των Κοραλλίων.

4.3.1.6 Υδροδυναμικές καταγραφές

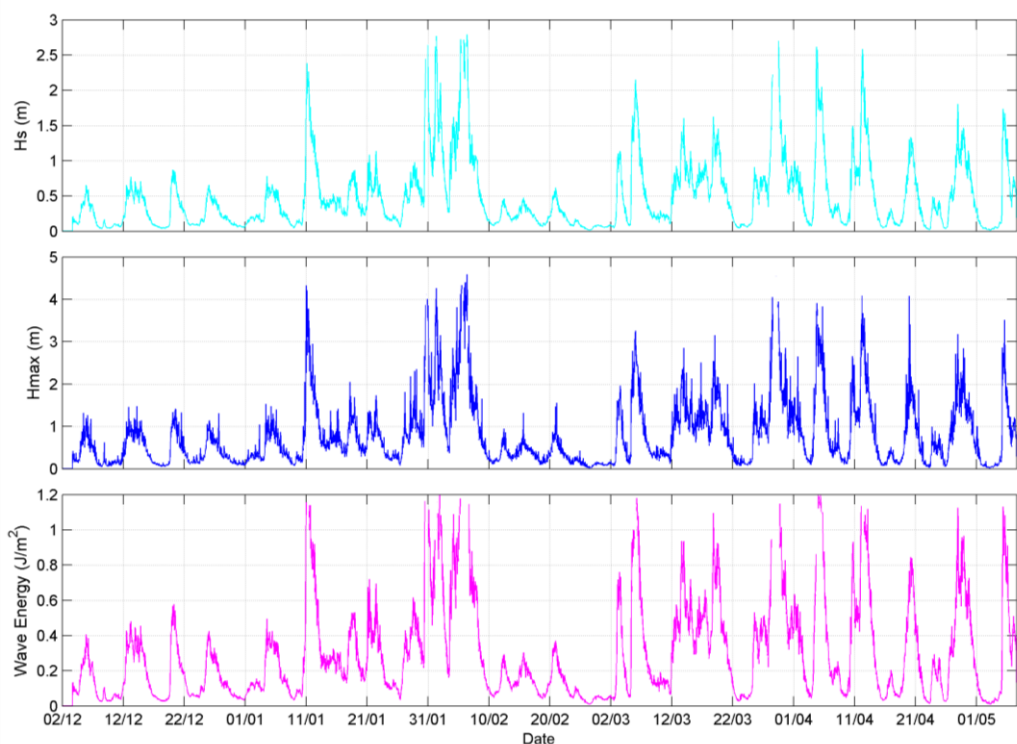
Ο κυματογράφος που εγκαταστάθηκε για μια ενεργητική χειμερινή περίοδο 6 μηνών (Δεκέμβριο ως και Μάιο) στο βαθύτερο σημείο στην παραλία του Coral Bay (RBR1 - σε βάθος ~12.5 m) στις 07/02/2023 κατέγραψε μεταβολή του βάθους κατά 0.5 m η οποία φαίνεται να σχετίζεται με απότομη μεταβολή της ατμοσφαιρικής πίεσης (Εικόνα 72). Αρκετά πιο απότομη μεταβολή του βάθους (κατά 1 m, από τα 12.5 στα 13.5 m) καταγράφηκε στις 28/03/2023, η οποία όμως δεν αιτιολογείται από μεταβολή στην ατμοσφαιρική πίεση, κάτι που επιβεβαιώνεται και από τις μετρήσεις που κατέγραψε ο κυματογράφος που τοποθετήθηκε στο ρηχότερο σημείο (RBR2 - σε βάθος 8 m). Το τελευταίο αποδίδεται στην «πτώση» του οργάνου στον πυθμένα, πιθανώς λόγω επαφής του με κάποιο συρόμενο εργαλείο, κάτι που επιβεβαιώθηκε από την πλάγια θέση στην οποία βρέθηκε κατά την ανάκτησή του. Το παλιρροιακό σήμα έδειξε πως η παλιρροια στην περιοχή είναι μικρή και έχει εύρος της τάξης των 10 cm.



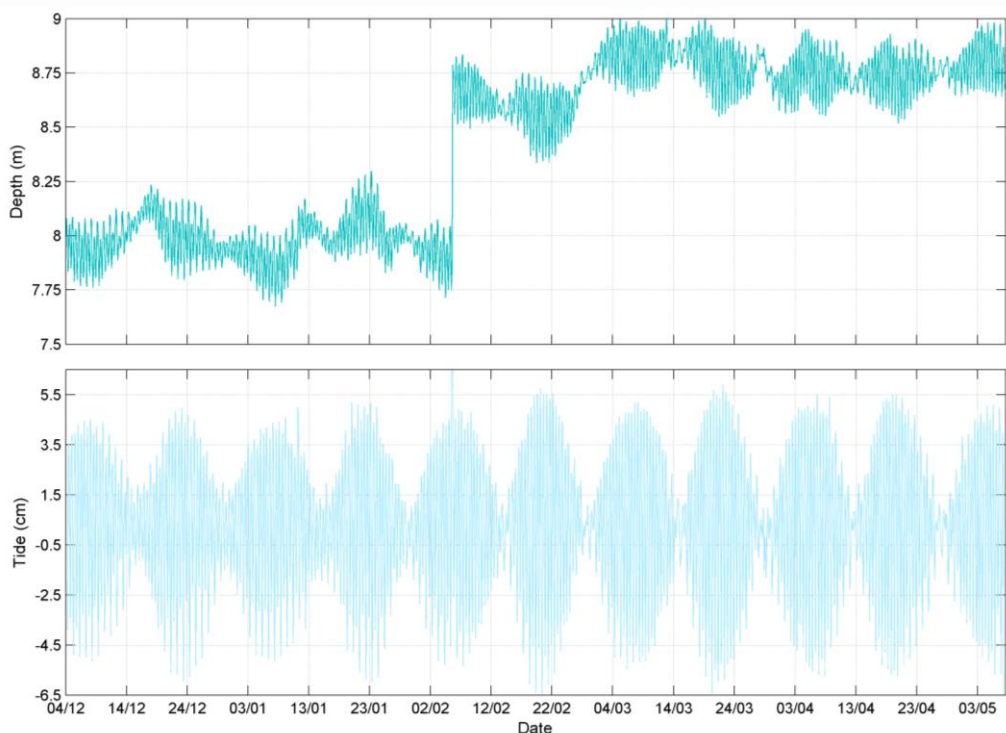
Εικόνα 72: Διαφοροποίηση βάθους και παλιρροιακό σήμα στην παραλία του Coral Bay, όπως καταγράφηκε από τον κυματογράφο RBR1 (σε βάθος ~12.5 m).

Τα κυματικά δεδομένα από τον κυματογράφο RBR1 για την ίδια ενεργητική περίοδο, έδειξαν πως το σημαντικό ύψος κύματος της περιοχής είναι μεγαλύτερο από 1 m για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα (περίπου 35% συχνότητα εμφάνισης), ενώ η μέγιστη καταγεγραμμένη τιμή του ήταν της τάξης των 2.8 m (Εικόνα 73). Το μέγιστο ύψος κύματος που καταγράφηκε ήταν 4.7 m στις 07/02/2023, τη στιγμή εμφάνισης μεταβολής τους βάθους. Οι τιμές της κυματικής ενέργειας κατά τις χρονικές περιόδους καταγραφής των υψηλότερων κυμάτων (δηλ. με τιμές σημαντικού ύψους κύματος μεγαλύτερες από 1.5 m), είχαν κυμαινόμενο εύρος μεταξύ 0.8 - 1.2 Jm⁻².

Την ίδια στιγμή, οι ταυτόχρονα συντονισμένες καταγραφές του κυματογράφου που εγκαταστάθηκε στο ρηχότερο σημείο (RBR2 - σε βάθος 8.0 m) επιβεβαιώνουν τη μεταβολή του βάθους που παρατηρήθηκε στις 07/02/2023 από τον κυματογράφο RBR2. Η μεταβολή του βάθους στην θέση του κυματογράφου RBR1 ήταν 1.0 m (Εικόνα 74), διπλάσια από εκείνη της θέσης του RBR2. Η μεταβολή αυτή αποδίδεται ομοίως σε επεισόδιο μεταβολής της ατμοσφαιρικής πίεσης που πιθανότατα ήταν υπαίτιο για τα αυξημένα κύματα που καταγράφηκαν τη συγκεκριμένη ημερομηνία. Το παλιρροιακό εύρος και σε αυτή τη θέση φάνηκε πως είναι της τάξης των 10 cm.



Εικόνα 73: Σημαντικό ύψος κύματος (H_s), Μέγιστο ύψος κύματος (H_{max}) και κυματική ενέργεια στην παραλία του Coral Bay, όπως καταγράφηκε από τον κυματογράφο RBR1 (σε βάθος ~12.5 m).



Εικόνα 74. Διαφοροποίηση βάθους και παλιρροιακό σήμα στην παραλία του Coral Bay, όπως καταγράφηκε από τον κυματογράφο RBR2 (σε βάθος 8.0 m).

Η κυματική κατάσταση στη θέση πόντισης του κυματογράφου RBR2 φάνηκε πως είναι αρκετά πιο μειωμένη σε σχέση με αυτή που καταγράφηκε στη θέση πόντισης του κυματογράφου RBR1. Συγκριτικά, Καταγράφηκαν σημαντικά ύψη κύματος μεγαλύτερα

από 1.0 m για μικρότερες χρονικές περιόδους (14% συχνότητα εμφάνισης για την περίοδο καταγραφών) που αντιστοιχούν σε μέγιστα καταγραφόμενα κύματα της τάξης των 2 m για τις ίδιες χρονικές στιγμές (Εικόνα 75). Η διαφοροποίηση μεταξύ των δεδομένων των 2 κυματογράφων, έγκειται στο ότι η θέση του RBR1 βρίσκεται στα ανοιχτά των 2 ακρωτηρίων που οριοθετούν την παραλία, ενώ η θέση του RBR 2 βρίσκεται μέσα σε ζώνη που προστατεύεται από τα 2 ακρωτήρια (βλ. και Εικόνα 6 και 25). Κάτι τέτοιο θα επιβεβαιώνονταν από την κατευθυντικότητα των κυματισμών, η οποία όμως δεν ήταν δυνατό να εξεταστεί, μιας και οι κυματογράφοι αυτοί δεν πραγματοποιούν καταγραφή κατεύθυνσης του κύματος.

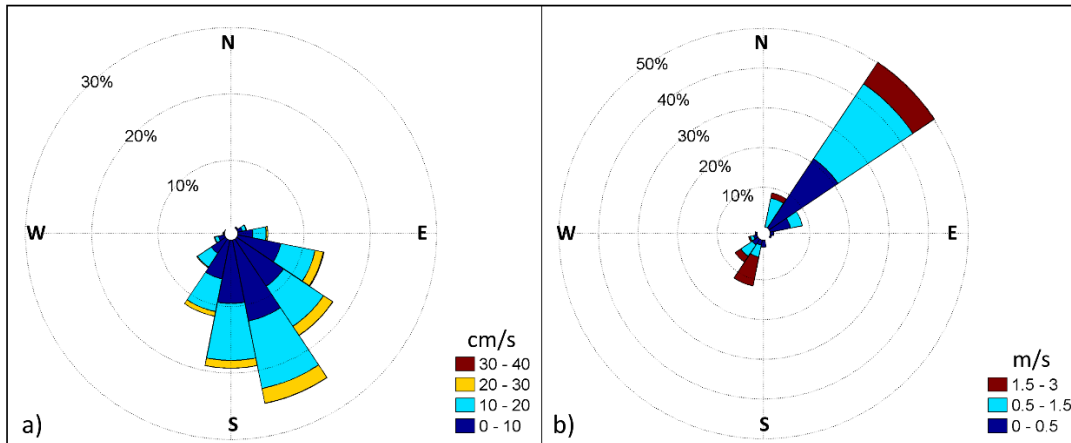


Εικόνα 75: Σημαντικό ύψος κύματος (H_s), Μέγιστο ύψος κύματος (H_{max}) και κυματική ενέργεια στην παραλία του Coral Bay, όπως καταγράφηκε από τον κυματογράφο RBR1 (σε βάθος 8.0 m).

Πρέπει να σημειωθεί πως τα μεγαλύτερα κύματα (με ύψος 3.2 m) καταγράφηκαν την περίοδο μεταβολής του βάθους (στις 07/02/2022), ενώ οι τιμές της κυματικής ενέργειας στα ενεργητικά συμβάντα παρουσίασαν αυξημένες τιμές, μεταξύ 0.9 - 1.5 Jm^{-2} . Οι τιμές αυτές είναι αρκετά πιο αυξημένες από εκείνες που καταγράφηκαν στη θέση του RBR1, από το οποίο συμπεραίνεται πως σε αυτή τη ρηχότερη ζώνη μεταξύ των 2 ακρωτηρίων οι κυματισμοί μεταφέρουν μεγαλύτερο ενεργειακό πακέτο, πιθανώς λόγω των φαινομένων διάθλασης των κυμάτων στα 2 ακρωτήρια κατά τα οποία τα κύματα «αισθάνονται» τον πυθμένα και μεταβάλουν τα χαρακτηριστικά τους (ταχύτητα και κατεύθυνση).

Κατά τη διάρκεια πόντισης του ρευματογράφου AEM-USB (06/12/2022 14:00 - 09/12/2022 11:00), τα καταγραφόμενα ρεύματα είχαν σημαντική ένταση. Πιο συγκεκριμένα, την πρώτη μέρα των καταγραφών (06-07/12) οι ρευματικές ταχύτητες

κυμαίνονταν μεταξύ $20-30 \text{ cm s}^{-1}$ με κατεύθυνση προς τα ΝΑ, ενώ τις εναπομείνουσες 2 ημέρες η πλειονότητα των παράκτιων ρευμάτων είχε ταχύτητες μικρότερες από 10 cm s^{-1} προερχόμενα από ΑΝΑ και ΔΔΒ κατευθύνσεις (Εικόνα 76α). Για την ίδια χρονική περίοδο το 50% των καταγραφόμενων ανέμων είχε κατεύθυνση από τα ΒΑ, ενώ οι άνεμοι είχαν πολύ μικρή ένταση (κάτω από 3.0 m s^{-1} που αντιστοιχεί σε 2 Beaufort – Εικόνα 76β)



Εικόνα 76: Ροδογράμματα που δείχνουν την κατεύθυνση και την ένταση α) των παράκτιων ρευμάτων και β) των ανέμων για την 3ήμερη χρονική περίοδο των καταγραφών (06/12/2022 - 09/12/2022).

Θα πρέπει να σημειωθεί πως τη στιγμή κατά την οποία καταγράφηκε αυξημένη παράκτια ρευματική δραστηριότητα (06-07/12), τα καταγραφόμενα σημαντικά ύψη κύματος στη θέση RBR1 (~12.5 m) ήταν της τάξης των 0.4 m, ενώ στη θέση RBR2 (8.0 m) ήταν της τάξης των 0.2 m (βλ. και Εικόνα 25). Κάτι το οποίο συμβαδίζει με τον μειωμένο άνεμο που καταγράφηκε για αυτή την περίοδο. Επομένως, συμπεραίνει κανείς πως τα καταγεγραμμένα ρεύματα δεν έχουν προκύψει από ανεμογενείς κυματισμούς. Ενδεχομένως, η ύπαρξή τους να οφείλεται στην εισροή από γλυκό νερό (και επομένως σε διαφορές αλατότητας) που δέχεται η περιοχή πλησίον της θέσης αυτής, λόγω της ύπαρξης ενός ρυακίου μόνιμης ροής.

5 Συμπεράσματα

Στα πλαίσια του έργου BEACHTECH έγιναν στις πιλοτικές παραλίες ολοκληρωμένες εργασίες πεδίου όπως λεπτομερείς τοπογραφικές, βαθυμετρικές και ιζηματολογικές μετρήσεις, αποτύπωση με υψηλή ακρίβεια της παράκτιας μορφολογίας με χρήση ΣμηΕΑ, συλλογή/ανάλυση μακρόχρονων κυματικών δεδομένων, καθώς και πόντιση ρευματογράφων περιορισμένης διάρκειας. Καθώς η ανάλυση των δεδομένων αυτών αποκτά συνέργειες με τα υπόλοιπα δεδομένα του έργου (π.χ. τις καταγραφές του συστήματος παρακολούθησης παράκτιων διεργασιών), θα βελτιώνεται και η διάγνωση των παράκτιων διεργασιών στις πιλοτικές τουριστικές παραλίες.

Τα μέχρι τώρα αποτελέσματα των εργασιών πεδίου στις πιλοτικές παραλίες δείχνουν ότι (α) η παραλιακή μορφοδυναμική (χερσαίο τμήμα – όπου έγιναν επαναληπτικές μετρήσεις ή σύγκριση δεδομένων από τοπογραφικές παρατηρήσεις) διαφοροποιείται εποχιακά, γεγονός που δηλώνει τον έντονο έλεγχο/επίδραση των τοπικών υδροδυναμικών και ιζηματοδυναμικών συνθηκών που χαρακτηρίζονται από υψηλή χωρο-χρονική μεταβλητότητα και (β) οι κυματικές διεργασίες είναι διαφορετικές για τις περιοχές μελέτης και η διάγνωση τους απαιτεί μακρόχρονη και υψίσυχη παρακολούθηση. Συνεπώς, φαίνεται ότι στην περίπτωση που είναι αναγκαίες λεπτομερείς μορφοδυναμικές μελέτες (όπως π.χ. για το σχεδιασμό/κατασκευή παράκτιων έργων), απαιτούνται επιτόπιες εργασίες πεδίου με καλή χωροχρονική διακριτικότητα. Στο πλαίσιο αυτό, οι κυματογράφοι που τοποθετήθηκαν και συλλέγουν υψίσυχνες μετρήσεις παραμένουν λειτουργικοί έως και σήμερα, και περιοδικά θα ανελκύονται ώστε να συλλέγονται και να επεξεργάζονται τα δεδομένα τους, συμβάλλοντας στην μακροχρόνια καταγραφή (χρονοσειρά) του κυματικού καθεστώτος των περιοχών μελέτης.



6 Βιβλιογραφία

- Ανδρεάδης, Ο. 2022. Ευπάθεια στη διάβρωση Ελληνικών νησιωτικών παραλιών: παραδείγματα από την Λέσβο και Χίο. Διδακτορική Διατριβή. DOI: [10.12681/eadd/50973](https://doi.org/10.12681/eadd/50973).
- Brodtkorb, P.A., Johannesson, P., Lindgren, G., Rychlik, I., Ryden, J., and Sjo, E., 2000. WAFO - a Matlab toolbox for analysis of random waves and loads. 10th International Offshore and Polar Engineering Conference, 28 May-2 June, Seattle, Washington, USA, ISOPE-I-00-264.
- Folk, R., L. 1980. Petrology of the sedimentary rocks, 2nd edition. Hemphill Publishing Company, Austin.
- Ηλία, Ε. Α. (2012). Τμήμα Κτηματολογίου και Χωρομετρίας Ο Κτηματικός Χάρτης της Κύπρου.
- [McFeeters, S. K. (2007). "The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features." *International Journal of Remote Sensing*, Taylor & Francis Group, 17(7), 1425–1432.
- Monioudi, I. N., Velegrakis, A. F., Chatzipavlis, A. E., Rigos, A., Karambas, T., Vousdoukas, M. I., et al., (2017). Assessment of island beach erosion due to sea level rise: the case of the Aegean archipelago (Eastern Mediterranean). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 17(3), 449-466.
- Padró, J., Carabassa, V., Balagué, J., Brotons, L., Alcañiz, J. M., and Pons, X. (2019). "Monitoring opencast mine restorations using Unmanned Aerial System (UAS) imagery." *Science of the Total Environment*, The Authors, 657, 1602–1614.
- Ponce-Alcántara, S., Arangú, A. V., and Plaza, G. S. (2015). "The Importance of Optical Characterization of PV Backsheets in Improving Solar Module Power." *Photovoltaics International*.
- Stumpf, R. P., Holderied, K., and Sinclair, M. (2003). "Determination of water depth with high-resolution satellite imagery over variable bottom types." *Limnol. Oceanogr*, 48(2), 547–556.
- Velegrakis, A. F., Vousdoukas, M. I., Vagenas, A. M., Karambas, T., Dimou, K., & Zarkadas, T. (2007). Field observations of waves generated by passing ships: A note. *Coastal Engineering*, 54(4), 369-375.
- Vousdoukas, M. I., Almeida, L. P. M., & Ferreira, Ó. (2012). Beach erosion and recovery during consecutive storms at a steep-sloping, meso-tidal beach. *Earth Surface Processes and Landforms*, 37(6), 583-593.



Παράρτημα

Πίνακας Π1: Χερσαία και θαλάσσια δείγματα Πέτρας

Δείγμα	x	y	Βάθος (m)	Μέσο μέγεθος (φ)	Τυπική απόκλιση (φ)	Gravel %	Sand %	Mud %
PA1	429447.998	4354348.00	0	-0.909	0.355	53.67	46.33	0.00
PA2	429423.003	4354234.00	0	-0.944	0.539	39.28	60.72	0.00
PA3	429385.997	4354140.00	0	-1.061	0.143	80.05	19.94	0.01
PA4	429339.999	4354046.00	0	-0.577	0.739	65.24	34.74	0.02
PA5	429290.001	4353954.00	0	-0.732	0.454	64.42	35.55	0.02
PA6	429237.002	4353873.00	0	-0.590	0.944	36.48	63.50	0.02
PA7	429182.001	4353785.00	0	-0.490	0.667	43.74	56.24	0.02
PA8	429114.996	4353711.00	0	-0.912	0.453	45.33	54.65	0.01
PA9	429055.997	4353631.00	0	-0.797	0.633	26.83	73.16	0.01
PA10	428986.997	4353561.00	0	0.357	1.238	9.31	90.64	0.04
P1	429339.649	4354446.35	-3	2.867	0.745	0.00	93.77	6.23
P2	429252.604	4354532.27	-6	2.429	1.072	1.07	92.28	6.65
P3	429269.394	4354407.48	-5.5	2.343	1.034	0.00	98.41	1.59
P4	429330.788	4354324.90	-3	0.953	0.977	0.00	99.91	0.09
P5	429282.480	4354225.56	-3	2.386	0.876	0.00	99.55	0.45
P6	429226.096	4354261.69	-5.5	2.165	0.994	0.00	99.38	0.62
P7	429167.097	4354180.99	-6.5	1.485	0.960	0.00	99.88	0.12
P8	429245.815	4354126.89	-2.9	1.619	0.980	0.07	99.88	0.05
P9	429170.679	4354063.31	-3.2	0.345	0.866	0.05	99.95	0.00
P10	429114.302	4354100.23	-6.4	0.769	0.762	0.02	99.98	0.00
P11	429067.726	4354020.96	-6.1	1.101	0.820	0.09	99.91	0.00
P12	429123.183	4353967.85	-3.1	0.292	0.785	0.26	99.73	0.01
P13	429084.311	4353872.98	-3.1	0.608	0.875	0.29	99.68	0.03
P14	429024.179	4353923.80	-5.8	0.747	0.761	0.07	99.89	0.04
P15	428973.792	4353852.33	-6.5	1.134	0.746	0.09	99.89	0.01
P16	429029.917	4353787.57	-3	0.910	0.877	0.01	99.98	0.01
P17	428968.657	4353714.65	-3	1.300	0.753	0.00	99.99	0.01
P18	428889.091	4353771.09	-5.6	1.359	0.588	0.08	99.90	0.02
P19	428852.752	4353699.39	-5.5	1.288	0.699	0.02	99.96	0.02
P20	428899.542	4353640.91	-3	1.409	0.782	0.00	99.97	0.03
P21	428823.535	4353567.36	-3.2	1.739	0.832	0.03	99.97	0.00
P22	428783.870	4353471.83	-2.9	2.168	0.705	0.01	99.85	0.15
P23	428693.233	4353420.05	-3	2.251	0.677	0.00	99.90	0.10
P24	428616.476	4353350.27	-3.1	2.161	0.729	0.07	99.77	0.16
P25	428522.694	4353294.63	-3.1	2.355	0.717	0.04	99.72	0.23
P26	428442.892	4353231.11	-2.8	2.365	0.694	0.11	99.74	0.15
P27	428337.626	4353191.90	-3	2.663	0.609	0.04	99.68	0.28
P28	428237.684	4353141.76	-3	2.735	0.587	0.19	99.40	0.41
P29	428141.792	4353100.80	-2.9	2.830	0.604	0.41	99.01	0.59

P30	428031.102	4353063.09	-3	2.807	0.599	0.08	99.45	0.47
-----	------------	------------	----	-------	-------	------	-------	------

Πίνακας Π2: Χερσαία και θαλάσσια δείγματα Κώμης (Χίος)

Δείγμα	x	y	Βάθος (m)	Μέσο μέγεθος(ϕ)	Τυπική απόκλιση(ϕ)	Gravel %	Sand %	Mud %
KA1	415832.5962	4228328.938	0	-0.606	0.916	38.76	61.24	0.00
KA2	415911.2266	4228370.292	0	1.014	1.420	30.23	69.76	0.00
KA3	415989.0891	4228447.498	0	0.719	1.467	24.08	75.91	0.01
KA4	416166.1043	4228544.098	0	1.658	1.171	8.54	91.45	0.02
KA5	416312.7911	4228604.283	0	1.933	1.101	5.72	94.28	0.01
KA6	416418.0274	4228644.702	0	0.969	1.675	17.19	82.81	0.00
KA7	416539.4309	4228673.525	0	1.032	1.553	21.85	78.15	0.00
KA8	416648.2977	4228658.423	0	1.001	1.323	36.45	63.50	0.05
K1	416610.3155	4228592.452	-2.7	2.432	0.476	0.10	99.84	0.06
K2	416424.2813	4228537.772	-2	2.109	0.651	0.01	99.98	0.01
K3	416461.5771	4228553.922	-2.6	-1.010	0.715	53.72	46.26	0.02
K4	416452.1155	4228477.006	-4	2.549	0.543	0.03	99.82	0.15
K5	416762.1318	4228384.931	-6.6	2.556	0.456	0.00	99.84	0.16
K6	416574.2681	4228305.962	-5.7	2.484	0.535	0.29	99.61	0.10
K7	416348.3872	4228217.847	-5.6	2.527	0.469	0.10	99.79	0.11
K8	416284.7804	4228325.368	-3.9	2.491	0.523	0.10	99.76	0.14
K9	416219.1527	4228465.981	-2.3	2.505	0.503	0.00	99.86	0.14
K10	416131.4959	4228237.398	-4	2.489	0.549	0.00	99.83	0.17
K11	416195.7749	4228118.771	-6.3	2.692	0.615	0.07	99.82	0.10
K12	415956.0253	4228062.325	-5.4	2.658	0.610	0.39	99.51	0.10
K13	415914.965	4228131.109	-3.5	2.104	0.657	0.00	99.93	0.07
K14	415827.1643	4228269.625	-1.5	2.169	0.598	0.00	99.94	0.06
K15	416028.8475	4228379.948	-1.8	1.914	0.620	0.00	99.94	0.06

Πίνακας Π3: Χερσαία και θαλάσσια δείγματα Παραλίας των Κοραλλιών

Δείγμα	x	y	Βάθος (m)	Μέσο μέγεθος (ϕ)	Τυπική απόκλιση (ϕ)	Gravel %	Sand %	Mud %
L2	442459.25	3856950.7	1.5	2.007	0.622	0.23	99.77	0.00
L4	442386.04	3857044.27	1.4	1.815	0.585	0.00	100.00	0.00
L6	442302.89	3857112.39	1.4	1.994	0.613	0.00	100.00	0.00
L8	442192.5	3857157.49	0.7	1.802	0.582	0.00	100.00	0.00
L10	442092.02	3857189.46	1.3	1.907	0.608	0.00	100.00	0.00
L12	441998.9	3857207.31	1	2.080	0.609	0.00	100.00	0.00
C1	442445.61	3856943.47	0	1.553	0.407	0.00	100.00	0.00
C2	442415.86	3856982.72	0	1.903	0.610	0.06	99.94	0.00
C3	442371.5	3857026.68	0	1.886	0.604	0.00	100.00	0.00
C4	442329.84	3857063.26	0	1.589	0.455	0.00	100.00	0.00
C5	442289.57	3857094.31	0	2.021	0.613	0.00	100.00	0.00
C6	442244.39	3857127.58	0	1.945	0.615	0.09	99.91	0.00

C7	442139.87	3857163.07	0	1.465	0.534	1.02	98.98	0.00
C8	442089.98	3857177.5	0	1.712	0.538	0.44	99.56	0.00
C9	442190.76	3857149.33	0	2.149	0.598	0.10	99.90	0.00
C10	442047.6	3857187.73	0	1.949	0.612	0.00	100.00	0.00
C11	441997.73	3857192.91	0	1.941	0.612	0.00	100.00	0.00
C12	441945.1	3857201.11	0	2.017	0.614	0.00	100.00	0.00
C13	442465.45	3856908.48	0	2.044	0.614	0.00	100.00	0.00
S1	442431.98	3856888.62	-1.2	1.980	0.619	0.00	100.00	0.00
S2	442407.93	3856918.84	-1.2	1.958	0.625	0.00	100.00	0.00
S3	442385.44	3856958.25	-1.2	1.826	0.594	0.20	99.80	0.00
S4	442302.48	3857032.26	-1.2	1.753	0.584	1.15	98.85	0.00
S5	442267.12	3857067.28	-1.2	1.897	0.658	2.38	97.62	0.00
S6	442226.94	3857096.51	-1.2	1.856	0.605	0.00	100.00	0.00
S7	442178.78	3857122.8	-1.2	2.032	0.617	0.00	100.00	0.00
S8	442133.85	3857142.82	-1.2	1.816	0.604	0.71	99.29	0.00
S9	442082.83	3857153.6	-1.2	1.949	0.617	0.00	100.00	0.00
S10	442040.78	3857157.39	-1.2	2.080	0.612	0.00	100.00	0.00
S11	441993.54	3857168.59	-1.2	2.063	0.625	0.74	99.26	0.00
S12	441944.01	3857179.51	-1.2	2.182	0.590	0.08	99.92	0.00
S13	442334.7842	3856997.414	-1.2	2.219	0.583	0.07	99.65	0.28
G1	442339.6241	3856867.02	-3.5	1.885	0.629	0.51	99.49	0.00
G2	442235.8779	3856851.276	-6.5	2.310	0.737	0.00	99.12	0.88
G3	442207.2908	3856980.535	-3.5	2.066	0.623	0.00	100.00	0.00
G4	442070.3159	3857051.404	-3.5	2.133	0.631	0.00	99.89	0.11
G5	442000.0303	3856963.625	-8	2.562	0.786	0.00	97.32	2.68
G6	441967.7659	3856884.268	-9	2.172	0.724	0.00	99.37	0.63
G7	442109.6953	3856895.083	-8	3.055	0.636	0.00	91.58	8.42
G8	441937.9456	3856657.385	-10	0.024	0.766	7.15	92.85	0.00
G9	441848.6685	3856671.327	-10	-0.061	0.723	7.67	92.33	0.00
G10	442108.0339	3856531.34	-8.2	0.490	0.926	0.00	100.00	0.00
G11	442136.8516	3856280.773	-15.7	2.985	0.727	0.00	97.08	2.92
G12	442044.6144	3856241.692	-17.5	-0.005	0.861	4.51	95.49	0.00
G13	442007.9692	3856263.619	-17	3.000	0.636	0.00	98.32	1.68
G14	441852.0657	3856238.059	-18	3.140	0.620	0.00	96.98	3.02