



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

Παράκτια γεωμορφολογική χαρτογράφηση και Δείκτης Παράκτιας
Τρωτότητας τμήματος των ακτών του Μεσσηνιακού Κόλπου

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Βασιλική Κώτσιαρη

Αθήνα, Φεβρουάριος 2016

ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

Παράκτια γεωμορφολογική χαρτογράφηση και Δείκτης Παράκτιας
Τρωτότητας τμήματος των ακτών του Μεσσηνιακού Κόλπου

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Βασιλική Κώτσιαρη

Επιβλέπων καθηγητής: Καρύμπαλης Ευθύμιος

Τριμελής επιτροπή εξέτασης:

Καρύμπαλης Ευθύμιος

Χαλκιάς Χρίστος

Παυλόπουλος Κοσμάς

Αθήνα, Φεβρουάριος 2016

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ – ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	5
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	6
ABSTRACT.....	7
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
1.1.Ο παράκτιος χώρος.....	8
1.2.Ποσειδωνία (<i>Posidonia oceanica</i>).....	10
1.3.Μεταβολές στάθμης θάλασσας.....	12
1.4.Τρωτότητα παράκτιων περιοχών σε μια μελλοντική άνοδο της στάθμης της θάλασσας.....	14
2. ΦΥΣΙΟΓΡΑΦΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	17
2.1.Γεωγραφική θέση.....	17
2.2.Δημογραφικά στοιχεία.....	18
2.3.Μορφολογικά και υδρογραφικά στοιχεία.....	20
2.4.Γεωλογία – Τεκτονική.....	25
2.5.Κλιματολογικά – Μετεωρολογικά στοιχεία.....	27
2.6.Χρήσεις γης.....	28
3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ.....	30
3.1.Εργασίες πεδίου.....	30
3.2.Αναλύσεις εργαστηρίου.....	33
3.2.1. Στατιστική επεξεργασία κοκκομετρικής ανάλυσης.....	34
3.2.1.1.Καμπύλη αθροιστικής συχνότητας.....	34
3.3.Επεξεργασία δεδομένων.....	37
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	39
4.1.Τοπογραφικές τομές.....	39
4.1.1. Τομή KAL15-1.....	41
4.1.2. Τομή KAL15-2.....	44
4.1.3. Τομή KAL15-3.....	47
4.1.4. Τομή KAL15-4.....	50

4.1.5. Τομή KAL15-5.....	53
4.1.6. Τομή KAL15-6.....	56
4.2.Βαθυμετρία και μορφολογική αποτύπωση πυθμένα.....	59
5. ΣΥΝΘΕΣΗ - ΕΡΜΗΝΕΙΑ.....	67
5.1.Δείκτης Παράκτιας Τρωτότητας (Coastal Vulnerability Index – C.V.I.)..	67
5.1.1. Παράμετρος γεωμορφολογίας.....	68
5.1.2. Παράμετρος παράκτιας κλίσης.....	70
5.1.3. Παράμετρος σχετικής μεταβολής θαλάσσιας στάθμης.....	72
5.1.4. Παράμετρος προέλασης/υποχώρησης ακτογραμμής.....	74
5.1.5. Παράμετρος μέσου σημαντικού ύψους κύματος.....	76
5.1.6. Παράμετρος μέσου παλιρροιακού εύρους.....	78
5.1.7. Υπολογισμός δείκτη παράκτιας τρωτότητας.....	80
5.2.Συνιστώμενες ενέργειες.....	83
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	87
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	89
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	92

ΠΡΟΛΟΓΟΣ - ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αποτελεί συνέχεια της πρακτικής μου άσκησης στο Ελληνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών (ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε.) και αποτελεί το τελευταίο στάδιο των σπουδών μου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τους καθηγητές μου κ. Ευθύμιο Καρύμπαλη (αναπληρωτής καθηγητής στο τμήμα Γεωγραφίας) και κ. Βασίλη Κασιμάλη (ερευνητής ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε.) για τη διαρκή στήριξη και καθοδήγηση στην εκπόνηση και ολοκλήρωση της μελέτης και την εμπιστοσύνη που μου έδειξαν με την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος. Χωρίς τη βοήθειά τους, η παρούσα εργασία θα ήταν αδύνατο να ολοκληρωθεί.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την υποψήφια διδάκτορα κα Κανέλλα Βαλκάνου και το διδάκτορα κ. Δημήτρη Βανδαράκη, για τις χρήσιμες υποδείξεις τους και την ουσιαστική βοήθεια τους στα πρακτικά θέματα που προέκυψαν κατά τη διάρκεια εκπόνησης της μελέτης.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές του τμήματος Γεωγραφίας για τις πολύτιμες γνώσεις που μου μετέδωσαν κατά τη διάρκεια των σπουδών μου στο πανεπιστήμιο.

Με εκτίμηση,

Βασιλική Κώτσιαρη

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία επιχειρεί την αποτύπωση του γεωμορφολογικού και ιζηματολογικού καθεστώτος της παράκτιας και υποθαλάσσιας περιοχής του βόρειου Μεσσηνιακού κόλπου (περιοχή Καλαμάτας).

Το ανάγλυφο του χερσαίου τμήματος της παραλίας προσδιορίστηκε με τοπογραφικές τομές κάθετες στην ακτογραμμή και η αποτύπωση του πυθμένα με ηχοβολιστή πλευρικής σάρωσης (side scan sonar) και βαθυμετρικές τομές κάθετες στην ακτογραμμή. Συλλέχθηκαν επιφανειακά ιζήματα κατά μήκος των τομών, τα οποία ταξινομήθηκαν με βάση την κοκκομετρία τους. Η παράκτια περιοχή αποτελείται από χαλαρά ιζήματα αμμώδους και χαλικώδους σύστασης, ενώ στο θαλάσσιο πυθμένα εκτείνονται ζώνες ψιλής άμμου και συστάδες Ποσειδωνίας, σε βάθος 2 μ. έως 20 μ., ενώ στα βαθύτερα ο πυθμένας έχει ιλυαργιλώδη σύσταση.

Τέλος, εφαρμόστηκε ο δείκτης παράκτιας τρωτότητας (C.V.I.), στον οποίο συνεκτιμήθηκαν η γεωμορφολογία της παράκτιας ζώνης, η παράκτια κλίση, η σχετική μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης, ο ρυθμός μετατόπισης της ακτογραμμής, το μέσο σημαντικό ύψος κύματος και το μέσο εύρος παλίρροιας.

Σύμφωνα με το χάρτη παράκτιας τρωτότητας για το συνολικό μήκος της ακτογραμμής, το 63,91% (15,25 χλμ.) χαρακτηρίζεται με υψηλή τρωτότητα και το 25,92% (6,18 χλμ.) με μέση τρωτότητα.

ABSTRACT

The present thesis studies the geomorphological features and sedimentary regime of the coastal and shallow marine area of Messinian Bay (district of Kalamata).

The relief of the terrestrial part of the beach was designated by topographical profiles, perpendicularly to the coastline. In the marine part, the bathymetry was conducted by the use of a single-beam echo sounder, while the morphological characteristics of the sea-floor were recorded by a side scan sonar.

Twenty six (26) surface sediments were collected along six combined topographic and bathymetric profiles, and were ranked into four texture categories, i.e. gravel, sand, silt and clay, according to their grain size content. The backshore consists of sandy and gravelly sandy sediments, the foreshore comprises mainly fine sand, the nearshore (up to a depth of 16-20 m) is covered by seagrass (*Posidonia oceanica*), while offshore the bottom is composed by fine grained material (mud).

Finally, the Coastal Vulnerability Index (C.V.I.) applied in the investigated area is based on six variables, such as the coastal geomorphology, the slope, the relative change of the sea level, the shoreline retreat/accretion rate, the average significant wave height, and the average tidal range.

The extracted coastal vulnerability map shows that the 63,91% (15,25 km.) of the area is ranked as high vulnerable and the 25,92% (6,18 km.) as medium vulnerable.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Ο παράκτιος χώρος

Ο παράκτιος χώρος συνιστά μια ιδιαίτερη γεωγραφική ενότητα και λειτουργεί ως ένα πολύπλοκο και πολύ εύθραυστο σύστημα που περιλαμβάνει πλήθος φυσικών και ανθρωπογενών μεταβλητών. Στην παράκτια ζώνη περιλαμβάνεται ένα χερσαίο και ένα υποθαλάσσιο τμήμα. Το χερσαίο τμήμα δεν είναι εύκολα προσδιορίσιμο. Το κατώτερο όριό του είναι η ακτογραμμή, ενώ το ανώτερο φτάνει ως το υψόμετρο, στο οποίο θεωρητικά παύει η δράση των θαλάσσιων διεργασιών. Το υψόμετρο αυτό προσδιορίζεται, κάθε φορά, ανάλογα με τη μελέτη περίπτωσης. Το υποθαλάσσιο τμήμα εκτείνεται από την ακτογραμμή μέχρι το βάθος κλεισίματος (closure depth), το οποίο συμπίπτει με την ισοβαθή καμπύλη των 8-10 μ., όπως αυτή έχει προσδιοριστεί εμπειρικά λαμβάνοντας υπόψη το ύψος των κυμάτων και τη μορφολογική κλίση του πυθμένα (Καρύμπαλης, 2010).

Η ακτογραμμή ορίζεται ως η νοητή τομή στο σύνορο της θάλασσας με την ξηρά. Η γραμμή είναι ακανόνιστη και μεταβλητή στο χρόνο λόγω των φυσικών παραμέτρων που δρουν σε αυτή, κυρίως της παλίρροιας και του κυματισμού (Λεβέντης, 2015).

Ο παράκτιος χώρος κατηγοριοποιείται με βάση τα χαρακτηριστικά των επιμέρους περιοχών του. Η κατηγοριοποίηση αυτή γίνεται λαμβάνοντας υπόψη τα μορφολογικά χαρακτηριστικά, την ιζηματολογική δομή και τέλος τις παράκτιες διεργασίες που λειτουργούν στα επιμέρους τμήματα. Με βάση τη μορφολογία τους, οι παράκτιες περιοχές χωρίζονται στην επι-παράλια ζώνη (backshore), το μέτωπο της παραλίας (foreshore), την ενδο-παράλια ζώνη (inshore) και την προ-παράλια ζώνη (offshore) (Παυλόπουλος, 2011). Λαμβάνοντας υπόψη την ιζηματολογική δομή των επιμέρους περιοχών, ο παράκτιος χώρος υποδιαιρείται στην αιγιαλίτιδα ζώνη (beach zone), τη ζώνη του μετώπου της παραλίας (shore face zone), την προ-παράλια μεταβατική ζώνη (offshore transition zone) και την προ-παράλια ζώνη (offshore zone). Τέλος, με κριτήριο τον τύπο των κυματικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στις υποπεριοχές του παράκτιου χώρου, υποδιαιρούνται στη ζώνη διαβροχής (swash zone), τη ζώνη κυματωγής (surf zone) και τη ζώνη θραύσης (breaker zone) (Καρύμπαλης, 2010).

Τα παράκτια συστήματα διαμορφώνονται από τη δράση της υδραυλικής και της αιολικής ενέργειας, καθώς και από το ισοζύγιο των εισροών και των εκροών των ιζημάτων. Οι αιολικές και οι υδροδυναμικές διεργασίες (άνεμος και κύματα, ρεύματα και παλίρροιες αντίστοιχα), προκαλούν τη μεταφορά ιζημάτων και την επηρεάζουν άμεσα. Μια άλλη διαδικασία, η οποία συνδέεται με τη μεταφορά των ιζημάτων είναι η διάβρωση. Η διάβρωση δρα στη μεταφορά του ιζήματος, είτε άμεσα μέσω της διάλυσης των πετρωμάτων, είτε έμμεσα με τη χαλάρωση της επιφάνειας των πετρωμάτων (Παυλόπουλος, 2011).

Οι διεργασίες που αναφέρθηκαν συμβάλουν στη δημιουργία παράκτιων γεωμορφών, οι οποίες χωρίζονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες.

- Παράκτιες γεωμορφές θαλάσσιας διάβρωσης. Συμβαίνει όταν το προσφερόμενο ίζημα είναι λιγότερο ποσοτικά από αυτό που υποχωρεί. Χαρακτηριστικές γεωμορφές παράκτιας διάβρωσης είναι ο θαλάσσιος κρημνός (coastal cliff), οι θαλάσσιες εγκοπές (tidal notches), τα παράκτια σπήλαια (coastal caves), οι πυραμιδοειδείς σχηματισμοί (stacks), οι θαλάσσιες αψίδες (arches), η κρεμαστή κοιλάδα (hanging valley) και οι θαλάσσιες αναβαθμίδες (marine terraces).

- Παράκτιες γεωμορφές θαλάσσιας απόθεσης. Υφίσταται όταν το ίζημα που προσφέρεται κατά μήκος της ακτής είναι περισσότερο από αυτό που χάνεται. Τέτοιες γεωμορφές είναι ο αιγιαλός (beach), ο ψηφιδοπαγής αιγιαλός (beachrock), το αμμώδες τόξο (spit), η αμμώδης συγκεντρική παράκτια ζώνη (berm), τα επιμήκη φράγματα (longshore bars), οι παραλιακές ράχες (beach ridges) και το παραλιακό φράγμα (barrier beach).

- Παράκτιες γεωμορφές αιολικής απόθεσης. Απαραίτητη προϋπόθεση για το σχηματισμό τέτοιων γεωμορφών είναι η παρουσία ανέμου και η κατάλληλη κίνησή του σε σχέση με τη μορφολογία του εδάφους και η απουσία υγρασίας, η οποία καθιστά δύσκολη τη μετατόπιση της άμμου όντας πιο συνεκτική (Παυλόπουλος, 2011).

1.2. Ποσειδωνία (*Posidonia oceanica*)

Η Ποσειδωνία (*posidonia oceanica*), ή όπως είναι γνωστό «γρασίδι του Ποσειδώνα», απαντάται στις ακτές της Μεσογείου Θάλασσας και τις παρακείμενες ακτές του Ατλαντικού Ωκεανού και πουθενά αλλού στον κόσμο. Για τους λαούς της Μεσογείου, η Ποσειδωνία θεωρείται ένα υποθαλάσσιο είδος αντίστοιχο της ελιάς (Σαλωμίδα).

Οι Ποσειδωνίες είναι πράσινα ταινιόμορφα φυτά που σχηματίζουν πυκνά λιβάδια σε αμμώδεις βυθούς. Οι περισσότεροι τα γνωρίζουν ως γκριζόμορφα "φύκια", τα οποία ξεβράζονται νεκρά στις παραλίες (Καλογήρου κ.ά.). Η Ποσειδωνία είναι Φανερόγαμο Αγγειόσπερμο φυτό, το οποίο απέχει πολύ από τα φύκη τόσο βιολογικά όσο και εξελικτικά. Οι χερσαίοι απόγονοι της Ποσειδωνίας επέστρεψαν στη θάλασσα λόγω της σταδιακής ανόδου της θαλάσσιας στάθμης πριν από περίπου 100 εκατ. χρόνια (Σαλωμίδα).

Στα λιβάδια της Ποσειδωνίας απαντώνται περισσότερα από 500 είδη ασπόνδυλων, όπως εχινόδερμα, μαλάκια, υδρόζωα, βρυόζωα, κνιδόζωα, ασκίδια, πολύχαιτοι, σφουγγάρια κ.ά. Οι πιθανότητες επιβίωσης των νεαρών ψαριών στα λιβάδια της Ποσειδωνίας, τα καθιστά σημαντικά αναπαραγωγικά πεδία για πολλά είδη ψαριών, καθώς παρέχουν σε αυτά καταφύγιο και πλούσια ποικιλία τροφής (Σαλωμίδα). Μια πρόσφατη έρευνα που πραγματοποιήθηκε στις παράκτιες περιοχές της Ρόδου από τον Υδροβιολογικό Σταθμό του Ελληνικού Κέντρου Θαλάσσιων Ερευνών (ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε.), έδειξε πως 39 είδη ψαριών (μελανούρι, λούτσος, γόπα, κουτσομούρα, λυθρίνι κ.ά.) χρησιμοποιούν τα λιβάδια της Ποσειδωνίας για να περάσουν τα πρώτα στάδια της ζωής τους (Καλογήρου κ.ά.).

Η Ποσειδωνία αναπτύσσεται σε διαυγή oligοτροφικά νερά και η ανάπτυξή της ευνοείται από την καλή ανανέωση των υδάτινων μαζών και την απουσία ρύπων. Η ιδανική θερμοκρασία για την ανάπτυξη της είναι μεταξύ 17 °C – 24 °C και η αλατότητα υδάτινων μαζών 38% - 39%. Οι εκβολές ποταμών, οι πολύ κλειστοί κόλποι ή οι πολύ εκτεθειμένες ακτές, δεν ευνοούν την ανάπτυξη της Ποσειδωνίας, εφόσον η θερμοκρασία και η αλατότητα παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις (Σαλωμίδα). Όπως κάθε φυτό, χρειάζεται υψηλά επίπεδα ηλιοφάνειας, τα οποία στη θάλασσα εξασθενούν μετά τα -30 μ. – -40 μ.

Τα λιβάδια της Ποσειδωνίας αποτελούν ένα μοναδικό θαλάσσιο οικοσύστημα, με παραγωγικότητα συγκρίσιμη με αυτή των δασών του Αμαζονίου.

Η οικολογική σημασία της Ποσειδωνίας:

- δεσμεύει σημαντικές ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα (CO_2),
- εμπλουτίζει το νερό και την ατμόσφαιρα με οξυγόνο. Κάθε τετραγωνικό μέτρο ενός λιβαδιού Ποσειδωνίας μπορεί να παράξει μέχρι και 20 λ. οξυγόνου την ημέρα,
- προστατεύει το βυθό και την ακτογραμμή από διάβρωση,
- λειτουργεί ως "παγίδα" αιωρούμενων σωματιδίων, συμβάλλοντας έτσι στην ανακύκλωση των θρεπτικών στοιχείων,
- τα αναχώματα των ριζών και το πυκνό ανθεκτικό φύλλωμά της απορροφούν σημαντικό ποσοστό της προσπίπτουσα κυματικής ενέργειας, λειτουργώντας σα φυσικοί κυματοθραύστες,
- αυξάνει την παραγωγή εμπορεύσιμων ειδών (Σαλωμίδα).

Τα λιβάδια της Ποσειδωνίας βρίσκονται σε κρίσιμη κατάσταση καθώς την τελευταία δεκαετία έχει εξαφανιστεί το 20% του πληθυσμού τους (Καλογήρου κ.ά.). Τα αστικά, γεωργικά και βιομηχανικά λύματα και η ανθρώπινη δραστηριότητα (αλιεία, αγκυροβολία σκαφών, ιχθυοκαλλιέργειες, παράκτια έργα) είναι άμεσα συνδεδεμένα με τη μείωση των λιβαδιών της Ποσειδωνίας. Λόγω αυτών των πιέσεων τα θαλάσσια λιβάδια συρρικνώνονται με ρυθμό 2% - 5% το έτος, τη στιγμή που το αντίστοιχο ποσοστό για τα τροπικά δάση είναι 0,5% ανά έτος (Σαλωμίδα).

Στην Ελλάδα, οι διανυγείς και ολιγοτροφικές θάλασσες ευνοούν την ανάπτυξη της Ποσειδωνίας, εκτός από τις περιοχές εκβολών ποταμών και τους πολύ κλειστούς κόλπους, όπως αυτόν της Ελευσίνας. Το βαθύτερο όριο εξάπλωσης στο Βόρειο Αιγαίο εντοπίζεται στα -30 μ., ενώ στο Νότιο Αιγαίο και στο Λιβυκό πέλαγος ξεπερνά τα -45 μ. Η ακριβής έκταση και κατανομή των λιβαδιών στη Μεσόγειο παραμένει ακόμα άγνωστη. Το ίδιο ισχύει και για την Ελλάδα, όπου το 80% παραμένει αχαρτογράφητο (Σαλωμίδα).

1.3. Μεταβολές στάθμης θάλασσας

Η θαλάσσια στάθμη ορίζεται από το μέσο επίπεδο του εύρους της παλίρροιας, η οποία είναι αποτέλεσμα της βαρυτικής έλξης μεταξύ Γης – Ήλιου – Σελήνης. Η επιφάνεια της θάλασσας είναι μεταβαλλόμενη στο χρόνο και εξαρτάται από μετεωρολογικές και υδρολογικές διεργασίες μικρής και μεγάλης διάρκειας. Τέτοιες διεργασίες μικρής περιόδου είναι ο κυματισμός, οι αστρονομικές παλίρροιες, η είσοδος μεγάλης ποσότητας νερού των ποταμών στη θάλασσα, τα ρεύματα άντλησης (upwelling), τα ρεύματα μεγάλου βάθους και οι τοπικές διαφοροποιήσεις της στήλης της αλατότητας του θαλάσσιου νερού. Ο τεκτονισμός και η ισοστασία οφείλονται για διακυμάνσεις της θαλάσσιας στάθμης σε βάθος χρόνου συνήθως χιλιάδων ετών (Καρύμπαλης, 2010).

Οι μετρήσεις των μεταβολών της στάθμης της θάλασσας γίνονται με δύο τρόπους. Ο πρώτος βασίζεται στη δορυφορική υψομετρία, η οποία μετράται με γνώμονα το κέντρο της μάζας της γης, ενώ ο δεύτερος γίνεται με τη χρήση των παλιρροιογράφων, οι καταγραφές των οποίων αφορούν τις μεταβολές σε σχέση με την ξηρά στην οποία είναι τοποθετημένοι.

Η μελέτη της μεταβολής της στάθμης της θάλασσας στη Μεσόγειο ευνοείται ιδιαίτερα από το μεγάλο αριθμό των γεωολογικών και αρχαιολογικών δεδομένων, που βοηθούν στη μελέτη της παλαιοστάθμης της θάλασσας, καθώς και από το μικρό παλιρροιακό εύρος. Αντίθετα, η έντονη ενεργός τεκτονική δυσχεραίνει τη μελέτη της παλαιοστάθμης, καθώς εντοπίζονται χωρικές διαφοροποιήσεις. Συγκριτικές μελέτες στο χώρο της Μεσογείου έχουν δείξει πως η Δυτική Μεσόγειος επηρεάζεται περισσότερο από την ανταλλαγή θαλάσσιων μαζών με τον Ατλαντικό, σε αντίθεση με την Ανατολική, της οποίας η θαλάσσια στάθμη φαίνεται να αυξάνεται λόγω της σύνδεσής της με τη Μαύρη Θάλασσα και τις αυξημένες κατακρημνίσεις από την Ανατολική Ευρώπη (Παπανικολάου κ.ά., 2011).

Οι εκτιμήσεις για τη μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης στην Ελλάδα απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή, καθώς η τεκτονική μεταβολή μπορεί να καλύψει την ευστατική, κυρίως στις περιοχές του μετώπου του τόξου στο Ιόνιο, την Κρήτη, τα Δωδεκάνησα και το Αιγαίο Πέλαγος.

Για την εκτίμηση της τρωτότητας μιας περιοχής από τη μελλοντική άνοδος της στάθμης της θάλασσας, εκτός από το ρυθμό και το εύρος της ανόδου της στάθμης, λαμβάνονται υπόψη και οι εξής παράγοντες:

- α) η αλληλεπίδραση του τεκτονισμού και του ευστατισμού της υπό μελέτη περιοχής,
- β) η σχέση μεταξύ της ανόδου της στάθμης της θάλασσας και της μεταβολής της στερεοπαροχής στις εκβολές μεγάλων ποταμών,
- γ) η σύσταση των πετρωμάτων (καθορίζει το ρυθμό διάβρωσης), η μορφολογία και το υψόμετρο της ακτής (Παπανικολάου κ.ά., 2011).

Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας θα επιτευχθεί με μια πιθανή αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη, η οποία θα προκαλέσει την τήξη των πάγων στους πόλους και στις ηπειρωτικές περιοχές του πλανήτη και συγχρόνως τη θερμική διαστολή της μάζας του νερού των ωκεανών. Μια μελλοντική άνοδος της θαλάσσιας στάθμης θα επιφέρει επιπτώσεις τόσο στο φυσικό περιβάλλον, όσο και στην κοινωνικο-οικονομική δομή των παράκτιων περιοχών. Η πτώση της θαλάσσιας στάθμης θα επιτρέψει την ανάδυση, εγκατάλειψη και απολίθωση μιας ακτογραμμής, ενώ αντίθετα η άνοδος της στάθμης οδηγεί στη μετατόπιση της ακτογραμμής προς την ξηρά, αν πρόκειται για αιγιαλό ή στη βύθιση της πετρώδους ακτογραμμής, αν πρόκειται για παράκτιο πάγκο. Οι κοινωνικο-οικονομικές επιπτώσεις μια τέτοιας μεταβολής θα αυξήσουν τον αριθμό των ανθρώπων που σήμερα υποφέρουν ήδη από πλημμυρικά φαινόμενα στην παράκτια ζώνη, θα καταστήσουν πολύ υψηλό το κόστος για την προστασία και τη λήψη μέτρων στις χαμηλές νησιωτικές περιοχές και θα πλήξει δραματικά τις δραστηριότητες στην παράκτια ζώνη (αποθέματα γλυκού νερού, αλιεία, γεωργία, κατοικημένες περιοχές, υγεία, τουρισμός) (Καρύμπαλης, 2010).

1.4. Τρωτότητα παράκτιων περιοχών σε μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης

Σύμφωνα με τη Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC), η τρωτότητα είναι ο βαθμός στον οποίο ένα σύστημα είναι επιρρεπές στην κλιματική αλλαγή και αδυνατεί να την αντιμετωπίσει. Η τρωτότητα είναι συνάρτηση τόσο του χαρακτήρα, του μεγέθους και του ρυθμού της κλιματικής αλλαγής, όσο και της ευαισθησίας και της προσαρμοστικής ικανότητας του συστήματος.

Ο δείκτης παράκτιας τρωτότητας χρησιμοποιείται για την ποσοτικοποίηση της ευπάθειας μιας ακτής σε μελλοντική άνοδο της στάθμης της θάλασσας και εξαρτάται από γεωλογικές (παράκτια γεωμορφολογία, μορφολογική κλίση ακτής, μετατόπιση ακτογραμμής) και ωκεανογραφικές (μεταβολή θαλάσσιας στάθμης, παλιρροιακό εύρος, ύψος κύματος) μεταβλητές (Dimou et al.).

Για τον υπολογισμό του δείκτη χρησιμοποιούνται, κατά κύριο λόγο οι έξι παράμετροι που προαναφέρθηκαν. Ωστόσο, πολλές μελέτες περιλαμβάνουν πολλές ακόμα παραμέτρους (γεωλογία, χρήσεις γης), με στόχο μια πιο ισχυρή και αξιόλογη πρόβλεψη της μελλοντικής κατάστασης. Κάθε μία παράμετρος λαμβάνει τιμές στην κλίμακα 1-5 με σειρά αυξανόμενης τρωτότητας.

Ο μαθηματικός τύπος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του δείκτη τρωτότητας είναι ο εξής (Gormitz et al., 1994):

$$C.V.I. = \sqrt{\frac{a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot e \cdot f}{6}},$$

όπου a: παράμετρος γεωμορφολογίας,

b: παράμετρος παράκτιας κλίσης,

c: παράμετρος μετατόπισης της ακτογραμμής,

d: παράμετρος ανόδου θαλάσσιας στάθμης,

e: παράμετρος μέσου σημαντικού ύψους κύματος,

f: παράμετρος μέσου εύρους παλίρροιας.

Ο παραπάνω μαθηματικός τύπος δε διαφοροποιεί την επιρροή που μπορεί να έχει καθεμία από τις μεταβλητές που συμμετέχουν στον υπολογισμό του. Όπως είναι λογικό, δεν είναι δυνατό η παράκτια κλίση να έχει την ίδια επίδραση με το μέσο σημαντικό ύψος κύματος, ούτε η παράκτια γεωμορφολογία την ίδια με το εύρος της παλίρροιας (Σαρταμπάκου, 2013). Επιπλέον, η αξιολόγηση με βάση το δείκτη δεν είναι δυνατό να εκτιμήσει το κοινωνικό και οικονομικό κόστος από μια μελλοντική άνοδο της στάθμης της θάλασσας.

Οι μεταβλητές που συνυπολογίζονται για την ποσοτικοποίηση της τρωτότητας των παράκτιων περιοχών είναι οι εξής:

- Γεωμορφολογία παράκτιας ζώνης.

Η μεταβλητή αυτή περιλαμβάνει τις γεωμορφές του αναγλύφου, που έχουν δημιουργηθεί από ενδογενείς ή εξωγενείς φυσικές διεργασίες. Κάθε παράκτια γεωμορφή αντιδρά με διαφορετικό τρόπο απέναντι στη διάβρωση, ανάλογα με τη λιθολογική σύσταση και τη συνοχή των πετρωμάτων. Τη μικρότερη επικινδυνότητα παρουσιάζουν οι βραχώδεις ακτές, ενώ την υψηλότερη αμμώδεις ακτές.

- Παράκτια κλίση

Η παράκτια κλίση συνδέεται με την αντοχή της ακτής και την ταχύτητα, με την οποία υποχωρεί η ακτογραμμή. Οι απότομες κλίσεις λειτουργούν ως φυσικό εμπόδιο στον κυματισμό και αυτός είναι ο λόγος που παρουσιάζουν πολύ μικρή τρωτότητα. Αντίθετα, οι μικρές κλίσεις των ακτών παρουσιάζουν πολύ υψηλή τρωτότητα.

- Μετατόπιση ακτογραμμής

Οι μεταβολές της ακτογραμμής πραγματοποιούνται λόγω ενδογενών (ανυψώσεις-ταπεινώσεις περιοχών, ηφαιστειακή δράση, δράση ρηγμάτων) και εξωγενών (δημιουργία παγετώνων, διάβρωση, απόθεση) που δρουν σε αυτή.

- Σχετική μεταβολή θαλάσσιας στάθμης

Η κλιματική αλλαγή αποτελεί έναν από τους παράγοντες που μπορεί να προκαλέσει μεταβολή της στάθμης της θάλασσας. Η IPCC έχει εκτιμήσει πως ο ρυθμός μέσης ευστατικής παγκόσμιας ανόδου της θαλάσσιας στάθμης είναι έως 1,8 mm/y.

- Μέσο παλιρροιακό εύρος

Το μέσο παλιρροιακό εύρος αφορά στην ανύψωση ή κατάπτωση της παγκόσμιας στάθμης των υδάτων, δηλαδή στη διαφορά της μέσης πλήμμης και ρηχίας στη διάρκεια ενός έτους. Όσο πιο μεγάλο καταγράφεται το μέσο παλιρροιακό εύρος, τόσο πιο μικρή είναι η τρωτότητα της ακτής.

- Μέσος σημαντικό ύψος κύματος

Κυματισμός θεωρείται κάθε περιοδική ή μη περιοδική κίνηση της επιφάνειας της θάλασσας. Το μέσο σημαντικό ύψος κύματος υπολογίζεται από τη μέση τιμή ύψους κύματος του 33% των παρατηρούμενων κυμάτων μιας καταγραφής. Όσο αυξάνεται το μέσο ύψος κύματος, τόσο αυξάνεται και η τρωτότητα.

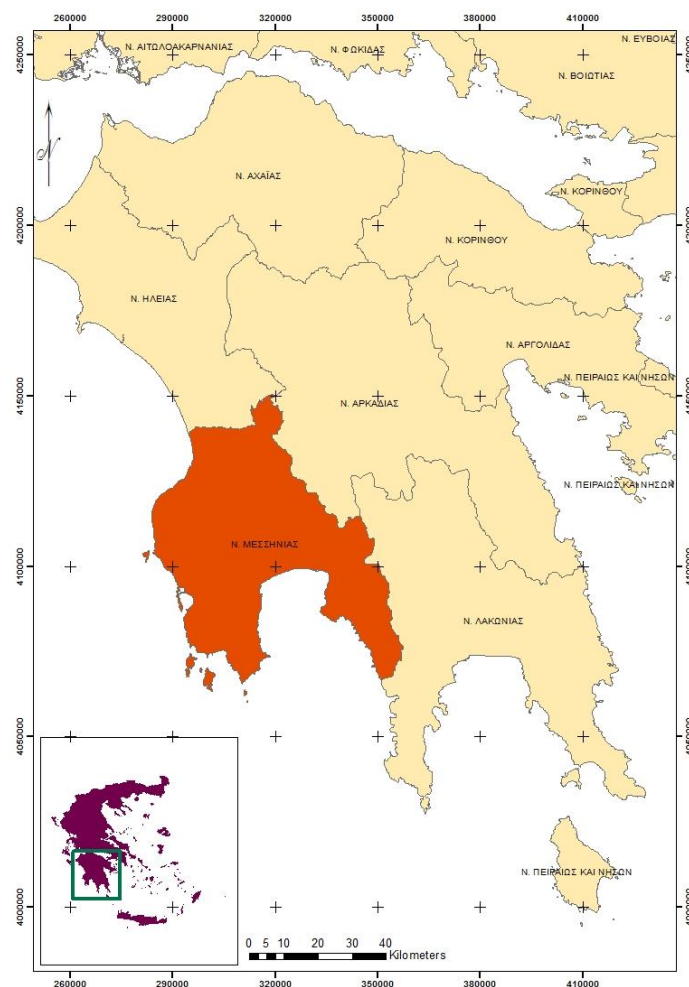
Ο δείκτης παράκτιας τρωτότητας χρησιμοποιήθηκε πρώτη φορά από τους Gormitz et al. το 1994 για την εκτίμηση της τρωτότητας των ακτών των ΗΠΑ και του Καναδά. Στη συνέχεια, από τους Shaw et al. (1998), Thieler & Hammar - Klose (1999) και Pendleton et al. (2004).

Στην Ελλάδα, ο δείκτης παράκτιας τρωτότητας έχει υπολογιστεί για τις βόρειες ακτές του Δυτικού Κορινθιακού κόλπου από τους Νασόπουλο, Πούλο, Καρύμπαλη και Γάκη – Παπαναστασίου, για τον κόλπο του Μαραθώνα από τους Δήμου, Βασιλάκη, Αντωνίου και Ευελπίδου, για τις ακτές της Βορειοανατολικής Αττικής από τους Χατζηγελευθερίου, Αλεξανδράκη, Πούλο, Γάκη – Παπαναστασίου και Μαρουκιάν, για τον Αργολικό κόλπο από τους Γάκη – Παπαναστασίου, Καρύμπαλη, Πούλο, Σενή και Ζούβα, για τις νότιες ακτές του Κορινθιακού κόλπου από τους Καρύμπαλη, Χαλκιά Χ., Χαλκιά Γ., Γρηγοροπούλου, Μάνθο και Φερεντίνου, για τις ακτές του Αιγαίου από τους Αλεξανδράκη, Καρδισιά, Πούλο, Γκιώνη και Καμπάνη και τέλος, για τον κόλπο της Αταλάντης από τη Σικαλιά – Τράκου.

2. ΦΥΣΙΟΓΡΑΦΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1. Γεωγραφική θέση

Ο νομός Μεσσηνίας βρίσκεται στο νοτιοδυτικό άκρο της Ελλάδας και διοικητικά ανήκει στην Περιφέρεια Πελοποννήσου (χάρτης 1). Καταλαμβάνει έκταση 2.991 τ. χλμ. και σύμφωνα με την απογραφή του 2011 έχει μόνιμο πληθυσμό 159.954 κατοίκους. Συνορεύει ανατολικά με το νομό Λακωνίας, βορειοανατολικά με το νομό Αρκαδίας και βόρεια με το νομό Ηλίας. Νότια και δυτικά βρέχεται από το Μεσσηνιακό κόλπο και το Ιόνιο πέλαγος αντίστοιχα. Στο νομό ανήκουν τα νησιωτικά συμπλέγματα των Οινουσσών (Σαπιέντζα, Αγία Μαριανή, Σχίζα, Αρνάτσι, Πετρόκαβος, Βενέτικο), η Σφακτηρία και η Πρώτη.



Χάρτης 1: Θέση νομού Μεσσηνίας στην Ελλάδα.

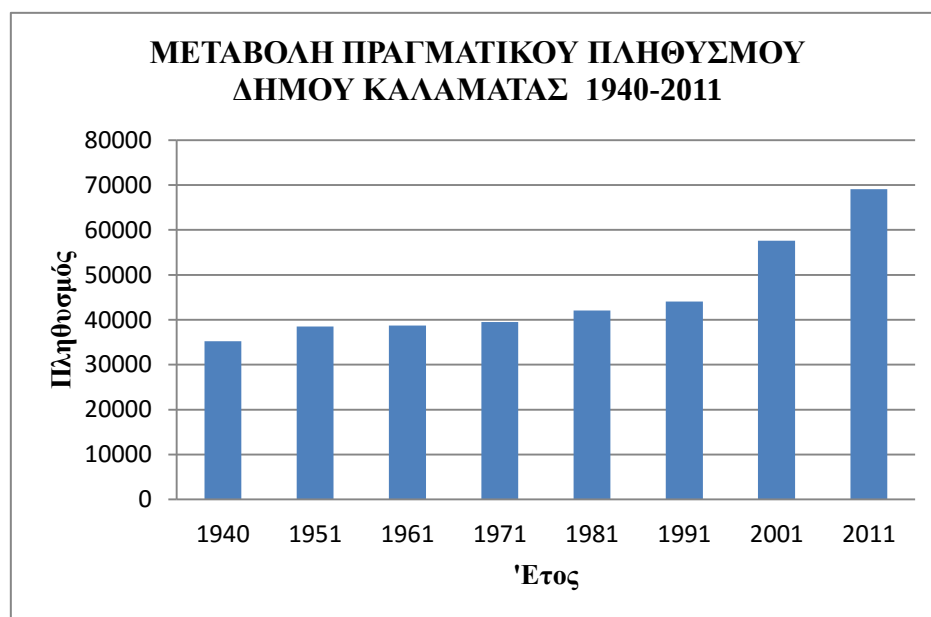
2.2. Δημογραφικά στοιχεία

Ο νομός Μεσσηνίας χωρίζεται διοικητικά, σύμφωνα με το σχέδιο Καλλικράτη σε έξι δήμους: Καλαμάτας, Μεσσήνης, Πύλου – Νέστορος, Τριφυλίας, Οιχαλίας και Δυτικής Μεσσηνιακής Μάνης. Ο πραγματικός πληθυσμός του νομού ανέρχεται στους 161.288 κατοίκους, ενώ στην πρωτεύουσα κατοικούν οι 69.090.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται διαγράμματα και πίνακες σχετικά με τον πληθυσμό της περιοχής μελέτης και την εξέλιξη του τα τελευταία χρόνια.

ΕΤΟΣ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ
1940	35215
1951	38463
1961	38714
1971	39462
1981	42075
1991	44052
2001	57620
2011	69090

Πίνακας 1: Απογραφή του πραγματικού πληθυσμού της Καλαμάτας τα έτη 1940 - 2011. Πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ.



Διάγραμμα 1: Μεταβολή πραγματικού πληθυσμού του δήμου Καλαμάτας, τα τελευταία 80 χρόνια. Πηγή: ΕΛ. ΣΤΑΤ.

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι ο πληθυσμός της Καλαμάτας δεν παρουσιάζει μεγάλες αυξομειώσεις. Μέχρι το έτος 1971 παραμένει σχεδόν στάσιμος με πολύ μικρές διαφορές. Πιθανοί λόγοι αυτής της στασιμότητας είναι ο θάνατος νεαρών ανδρών, λόγω του πολέμου, η μεταναστευτική κίνηση και η έξαρση των επιδημιών εκείνη την περίοδο.

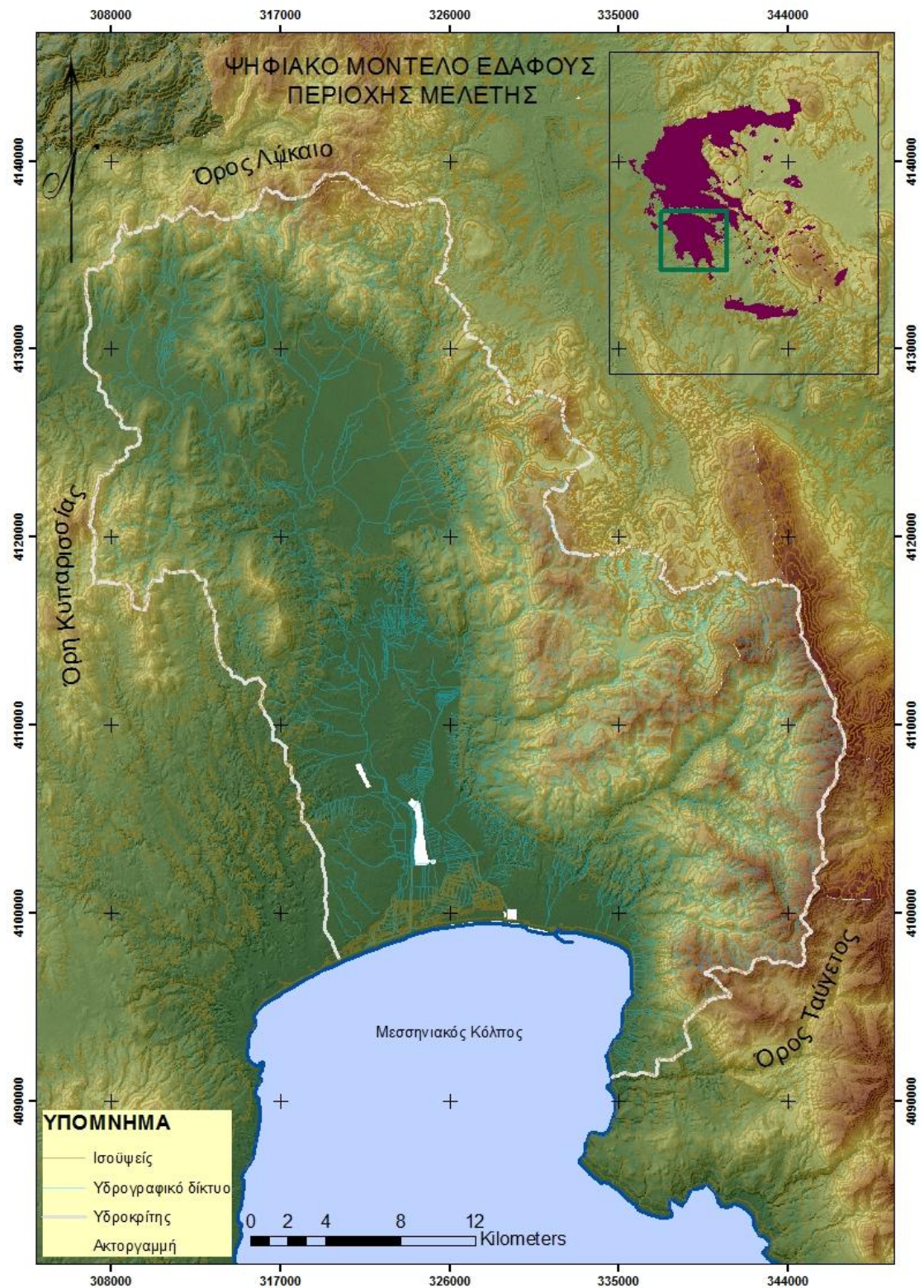
Από το 1980 μέχρι και την τελευταία απογραφή του 2011 παρατηρείται συνεχής αύξηση του πληθυσμού της πόλης. Από το 1970 και έπειτα ξεκίνησε η σταδιακή εισροή πληθυσμού στην πόλη, λόγω της αγροτικής και ταυτόχρονα τουριστικής ανάπτυξης της περιοχής.

2.3. Μορφολογία και υδρογραφικά δίκτυα

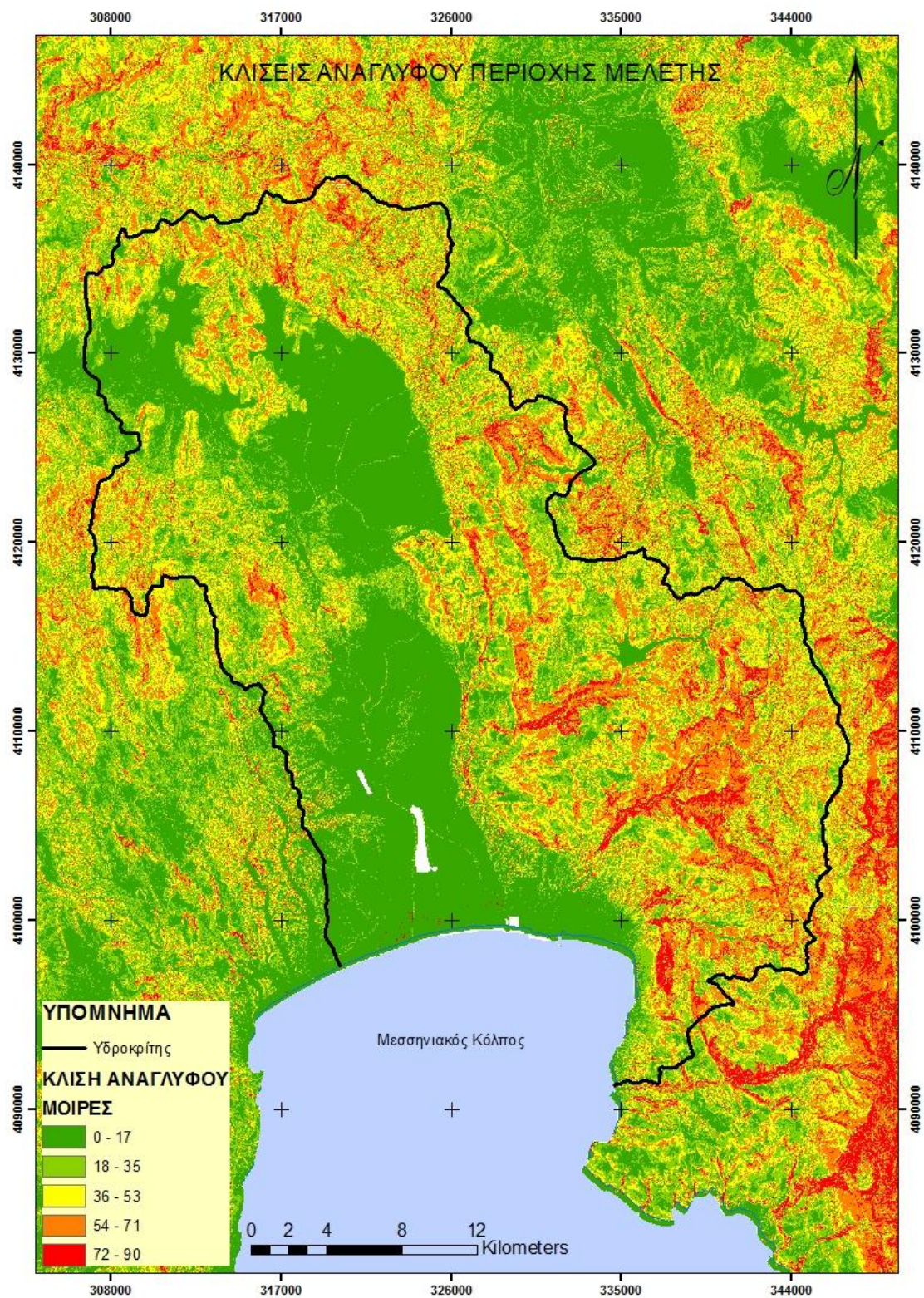
Στο ανατολικό τμήμα της Μεσσηνίας βρίσκεται ο Ταΰγετος, το ψηλότερο βουνό της Πελοποννήσου. Ο Ταΰγετος είναι το φυσικό όριο μεταξύ Μεσσηνίας και Λακωνίας. Έχει συνολικό μήκος 115 χλμ. και πλάτος 30 χλμ., ενώ η ψηλότερη κορυφή του, Προφήτης Ηλίας, έχει ύψος 2.407 μ. Βορειοανατολικά και δυτικά υψώνονται τα όρη Λύκαιο (1.421 μ.) και Κυπαρισσίας (1.218 μ.) αντίστοιχα (χάρτης 2). Συνολικά, οι ορεινοί όγκοι στη Μεσσηνία καταλαμβάνουν το 40,17% της συνολικής έκτασης του νομού, του οποίου, το 25% είναι ημιορεινό και το 33,9% πεδινό.

Στο κεντρικό τμήμα του νομού σχηματίζεται η πεδιάδα της Μεσσηνίας. Το βόρειο τμήμα της ονομάζεται πεδιάδα του Μελιγαλά και το νότιο πεδιάδα της Καλαμάτας και διαρρέεται από πολλά ποτάμια.

Όπως φαίνεται στο χάρτη 3 που ακολουθεί, οι περισσότερες περιοχές χαρακτηρίζονται από μικρή μορφολογική κλίση (0° - 17°) και εντοπίζονται στο κεντρικό και νότιο τμήμα, όπου εκτείνεται η πεδιάδα του Παμίσου ποταμού. Αντίθετα, οι μεγάλες κλίσεις (40° - 78°) εντοπίζονται, όπως είναι αναμενόμενο βόρεια και ανατολικά, στους ορεινούς όγκους.



Χάρτης 2: Ψηφιακό μοντέλο εδάφους περιοχής μελέτης, που προέκυψε από τα τοπογραφικά διαγράμματα της ΓΥΣ, κλίμακας 1:50.000 με ισοδιάσταση 20μ.



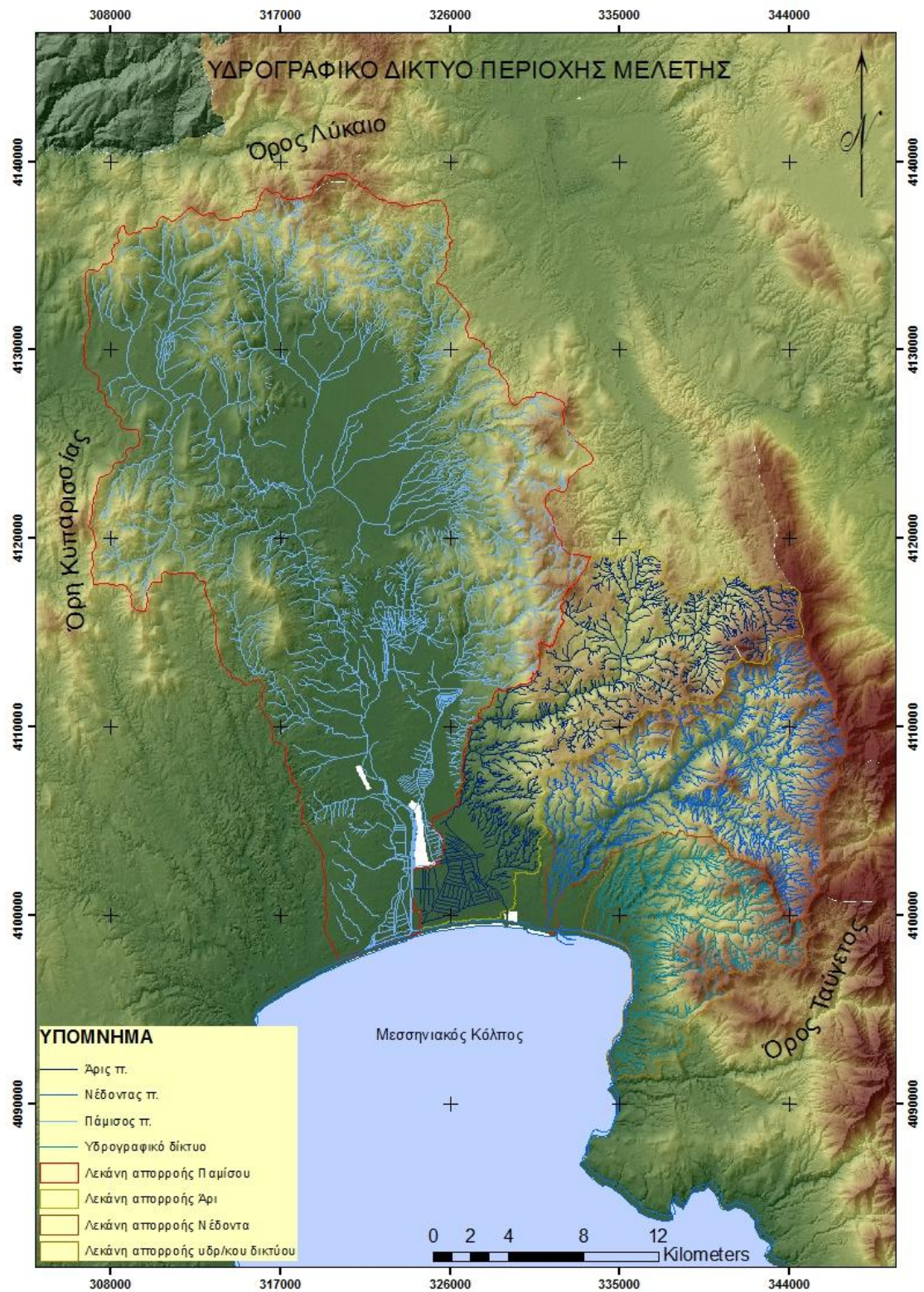
Χάρτης 3: Κλίση αναγλύφου περιοχής μελέτης.

Ο νομός διαθέτει πλούσιο υδρογραφικό δίκτυο (χάρτης 4). Ο Πάμισος είναι το μεγαλύτερο ποτάμι του νομού. Πηγάζει από τις βορειοδυτικές πλαγιές του Ταϋγέτου και τα όρη της Κυπαρισσίας και τροφοδοτεί τη μεσσηνιακή πεδιάδα. Εκβάλλει στο Μεσσηνιακό κόλπο μεταξύ της Καλαμάτας και της Μεσσήνης. Ο Πάμισος καταλαμβάνει έκταση 728 τ. χλμ., εκτείνεται σε μια διαδρομή 43 χλμ. και καλύπτει τις ανάγκες του νομού για άρδευση γεωργικών εκτάσεων.

Ο ποταμός Άρις πηγάζει από την περιοχή του Πηδήματος και εκβάλλει στη θαλάσσια περιοχή της Διασποράς. Έχει μέση παροχή 900 κ. μ. την ώρα και τροφοδοτεί τα αρδευτικά έργα των γύρω περιοχών.

Ο χείμαρρος Νέδοντας είναι ο δεύτερος μεγαλύτερος ποταμός του νομού Μεσσηνίας. Πηγάζει από τον Ταϋγετο και εκβάλλει στο Μεσσηνιακό κόλπο, δυτικά του λιμανιού της πόλης. Στο κατώτερο τμήμα της διαδρομής του διασχίζει ένα τμήμα της Μεσσηνιακής πεδιάδας και την πόλη της Καλαμάτας. Η λεκάνη απορροής του καλύπτει έκταση 127,833 τ. χλμ., έχει κύρια διεύθυνση προσανατολισμού ΝΝΔ – ΒΒΑ και δε θεωρείται ιδιαίτερα επιμήκης. Ο Νέδοντας μεταφέρει στη θάλασσα μεγάλες ποσότητες φερτών υλικών, καθώς κατά τη διαδρομή του, λόγω μεγάλων υψομετρικών διαφορών, διαβρώνει τους σχηματισμούς από τους οποίους διέρχεται (Μανταγάρης, 2008).

Ο νομός Μεσσηνίας διαθέτει ακτογραμμή συνολικού μήκους 250 χλμ. και αποτελεί το 21% της συνολικής ακτογραμμής της περιφέρειας. Οι δυτικές ακτές του Κυπαρισσιακού κόλπου δεν παρουσιάζουν σημαντικές εγκολπώσεις, σε αντίθεση με τις πιο νότιες του κόλπου του Ναυαρίνου, που παρουσιάζονται πιο διαμελισμένες. Από το ακρωτήριο Ακρίτα αρχίζει ο Μεσσηνιακός κόλπος, οι ακτές του οποίου είναι σχετικά ομαλές. Μεγάλο μέρος των ακτών του νομού είναι δυσπρόσιτο και απότομο, ενώ το 48,2% του συνόλου τους είναι κατάλληλο για κολύμβηση (Μανταγάρης, 2008).



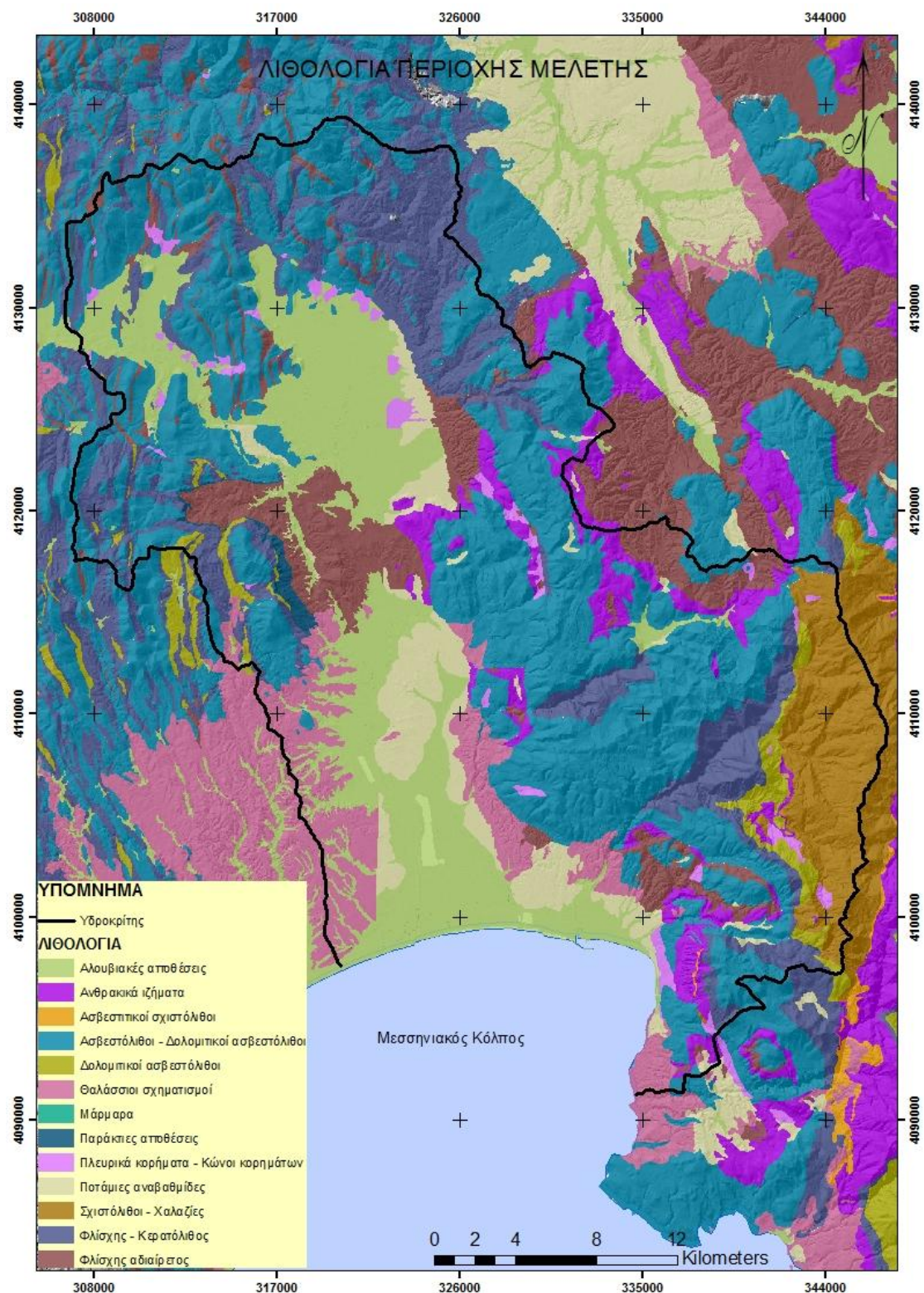
Χάρτης 4: Υδρογραφικό δίκτυο περιοχής μελέτης.

2.4. Γεωλογία – Τεκτονική

Η Μεσσηνία αποτελείται από την ανυψωμένη περιοχή της χερσονήσου της Δυτικής Μεσσηνίας, την καταβυθιζόμενη περιοχή του Παμίσου και το βόρειο τμήμα της ανυψωμένης περιοχής της Μάνης (Καμπόλης, 2007).

Στην περιοχή εντοπίζονται δυο γεωτεκτονικές ζώνες · η ζώνη Γαβρόβου – Τρίπολης στα δυτικά και η ζώνη Ωλονού – Πίνδου στα ανατολικά. Στη στρωματογραφία των δύο ζωνών κυριαρχούν τα ιζηματογενή ασβεστολιθικά πετρώματα, τα οποία διαφέρουν μεταξύ τους σε ηλικία και δομή (Παπανικολάου, 2015).

Το υπέδαφος του νομού αποτελείται από καρστικοποιημένους ασβεστόλιθους. Το νερό κατεισδύει μέσα από τα ρήγματα και τους καρστικούς αγωγούς μέχρι να συναντήσει αδιαπέρατους σχηματισμούς, οπότε και να εξέλθει στην επιφάνεια με τη μορφή πηγών υπερχείλισης (χάρτης 5). Αυτός είναι και ο λόγος ύπαρξης των πολλών καρστικών πηγών του νομού (Μανταγάρης, 2008).



Χάρτης 5: Λιθολογία περιοχής μελέτης. Πηγή: Γεωλογικοί χάρτες ΙΓΜΕ κλίμακας 1:50.000.

2.5. Κλιματολογικά – Μετεωρολογικά στοιχεία

Το κλίμα της Μεσσηνίας χαρακτηρίζεται ασθενές μεσογειακό έως υποτροπικό και πιο τραχύ στις ορεινές περιοχές. Τα καλοκαίρια είναι ζεστά και ξηρά, ενώ οι χειμώνες χαρακτηρίζονται από αρκετές βροχοπτώσεις, οι οποίες κυμαίνονται μεταξύ 600 – 1500 χιλιοστά το χρόνο στα νότια του νομού και 800 – 1200 χιλιοστά στις κεντρικές και βόρειες περιοχές (www.kalamata.gr).

Στα δυτικά παράκτια τμήματα της Μεσσηνίας, τους χειμερινούς μήνες, οι άνεμοι παρουσιάζουν σχετικά μικρές εντάσεις, ενώ στα εσωτερικά του νομού εμφανίζονται συχνότερα βόρειοι – βορειοανατολικοί άνεμοι. Τον θερινό μήνα, οι νότιοι και νοτιοδυτικοί άνεμοι είναι συχνότεροι (Κώτσιαρη, 2012).

Η νέφωση στο μεγαλύτερο τμήμα του νομού είναι σχετικά μικρή, με μέγιστες τιμές τους μήνες Δεκέμβριο και Ιανουάριο, ενώ οι μέρες με ηλιοφάνεια είναι περισσότερες του μήνες Ιούλιο και Αύγουστο. Ο ετήσιος αριθμός αίθριων ημερών είναι μεγαλύτερος από 120, ενώ οι μέρες με νέφωση είναι λιγότερες από 50 (Μανταγάρης, 2008).

Η Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ) έχει εγκαταστήσει μετεωρολογικό σταθμό στην Καλαμάτα, ο οποίος λειτουργεί από το 1956. Η ακριβής θέση του σταθμού είναι 37°04' N γεωγραφικό μήκος (longitude) και 22°06' E γεωγραφικό πλάτος (latitude) και βρίσκεται σε υψόμετρο 7,9 μ. Ο συγκεκριμένος σταθμός παρέχει μετεωρολογικά δεδομένα σχετικά με την πίεση, τον άνεμο, τη νέφωση, τη θερμοκρασία, την υγρασία, τον υετό, την ηλιοφάνεια, την εξάτμιση και τη θερμοκρασία εδάφους.

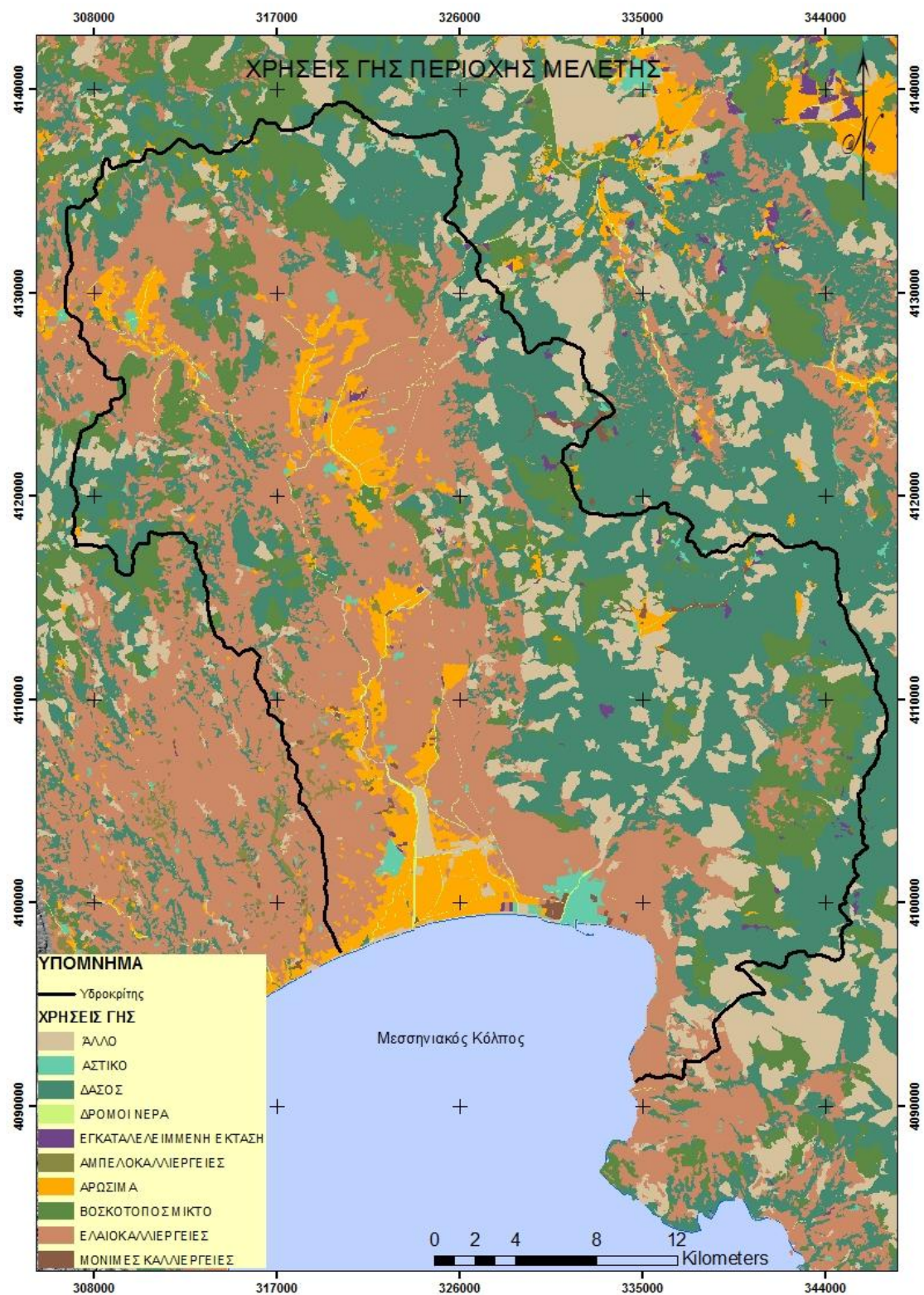
Το κλίμα που επικρατεί στην ευρύτερη περιοχή μελέτης καθορίζεται τόσο από την επίδραση της θάλασσας, όσο και τον ορεινό όγκο του Ταΰγετου. Κύριο χαρακτηριστικό είναι η έντονη υγρασία, η οποία όμως είναι πιο έντονη στις παράκτιες περιοχές και ελαττώνεται προς το εσωτερικό και τα ορεινά. Τις βραδινές ώρες, οπότε η υγρασία είναι εντονότερη, η απόγειος αύρα που κατέρχεται μέσω της κοιλάδας του Νέδοντα, καθιστά το κλίμα πιο υγιεινό και την ατμόσφαιρα λιγότερο αποπνικτική (www.kalamata.gr).

2.6. Χρήσεις γης

Στο χάρτη που ακολουθεί καταγράφονται οι χρήσεις γης του χερσαίου τμήματος της περιοχής μελέτης με δεδομένα ILOTS-2012. Σύμφωνα με τα στοιχεία του χάρτη, η μεγαλύτερη επιφάνεια της περιοχής μελέτης καταλαμβάνεται από βοσκότοπους σε ποσοστό 19,77% και μόνιμες καλλιέργειες σε ποσοστό 17,61%. Ο αστικός ιστός καλύπτει το 14,45% της συνολικής έκτασης της περιοχής μελέτης. Οι αμπελοκαλλιέργειες και τα αρώσιμα εδάφη καταλαμβάνουν σχεδόν το ίδιο ποσοστό, 12,4% και 12,6% αντίστοιχα.



Διάγραμμα 2: Ποσοστό χρήσεων γης περιοχής μελέτης. Πηγή: ILOTS-12, ιδία επεξεργασία.



Χάρτης 6: Χρήσεις γης περιοχής μελέτης. Πηγή: ILOTS-2012.

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ

3.1. Εργασίες πεδίου

Για την υλοποίηση της παρούσης διπλωματικής πραγματοποιήθηκε αποστολή τον Ιούνιο 2015 στο χερσαίο τμήμα της περιοχής μελέτης και στο θαλάσσιο με το εκπαιδευτικό σκάφος “Αίολος 5” του ναυταθλητικού συλλόγου Καλαμάτας «Αίολος» (εικόνα 1).



Εικόνα 1: Εκπαιδευτικό σκάφος “Αίολος 5”. Πηγή: Προσωπικό αρχείο.

Η βαθυμετρική καταγραφή του θαλάσσιου τμήματος των παραλιών και η συλλογή των βαθυμετρικών δεδομένων και των ηχογραφημάτων πλευρικής σάρωσης πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση του σκάφους πάνω στο οποίο προσαρμόστηκε κατάλληλα ένα βυθόμετρο Humminbird (998c SI Combo).

Το συγκεκριμένο σύστημα Humminbird περιλαμβάνει μονοδεσμικό βυθόμετρο (single beam echo sounder) και πλευρικό ηχοβολιστή (side imaging system) (εικόνα 2α). Για τις ανάγκες της μελέτης το μονοδεσμικό βυθόμετρο εξέπεμπε σε συχνότητα 200 kHz και με ρυθμό ενός ηχοβολισμού το δευτερόλεπτο, εφόσον τα βάθη έρευνας δεν ξεπερνούσαν τα 40 m. Για την αποτύπωση των γεωμορφών του θαλάσσιου πυθμένα χρησιμοποιήθηκε ο πλευρικός ηχοβολιστής σε λειτουργική συχνότητα 450

kHz και γωνία ηχητικού κώνου 120°. Το σύστημα Humminbird περιλαμβάνει κεραία GPS (50 Channel GPS/ WAAS) και αποθηκεύει όλα τα γεωγραφικά δεδομένα που συλλέγονται (στίγματα, πορείες, ηχογραφήματα και τροχιές) ψηφιακά σε σκληρό δίσκο SD. Για την καταγραφή και αποτύπωση των δεδομένων επιλέχθηκε το σύστημα συντεταγμένων WGS84 και εφαρμόστηκε το προβολικό σύστημα UTM Zone 34N. Επιπλέον, κατά τη διάρκεια των καταγραφών, πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία 15 επιφανειακών ιζημάτων του πυθμένα από έξι κάθετες προς την ακτογραμμή τομές, με τη χρήση δειγματολήπτη τύπου Van Veen (εικόνα 2β). Κάθε δείγμα σημειώθηκε με μοναδικό κωδικό και τοποθετήθηκε σε αεροστεγείς πλαστικές σακούλες για τη μεταφορά στο εργαστήριο και την περαιτέρω ανάλυση.



Εικόνα 2: α) Βυθόμετρο Humminbird (998c SI Combo) και (β) δειγματολήπτης τύπου Van Veen.
Πηγή: Προσωπικό αρχείο.

Για τη γεωμορφολογική αποτύπωση του χερσαίου τμήματος της παραλίας πραγματοποιήθηκαν έξι τοπογραφικές τομές, κάθετες προς την ακτογραμμή με τη χρήση χωροβάτη (rod level) (εικόνα 3). Ο χωροβάτης χρησιμοποιείται για την αποτύπωση των υψομετρικών διαφορών σε επιλεγμένη τομή και αποτελείται από ένα τηλεσκόπιο σε οριζόντια κλίση, μια βαθμονομημένη σταδία 5 μ. και μια μετροταινία 50 μ. Σε κάθε τομή συλλέχθηκαν 2-3 αντιπροσωπευτικά δείγματα με μοναδικό αριθμό, τα οποία τοποθετήθηκαν σε αεροστεγείς πλαστικές σακούλες για τη

μεταφορά τους στο εργαστήριο και την περαιτέρω ανάλυση. Οι ακριβείς θέσεις δειγματοληψίας προσδιορίστηκαν με τη χρήση GPS (Global Positioning System).



Εικόνα 3: Χωροβάτης, σταδία και μετροταινία. Πηγή: Προσωπικό αρχείο.

3.2. Αναλύσεις εργαστηρίου

Για την κοκκομετρική ανάλυση των δειγμάτων, αυτά μεταφέρθηκαν στο Εργαστήριο Φυσικής Γεωγραφίας του Χαροκοπείου Πανεπιστήμιου, εκτός από τα πηλώδη, η ανάλυση των οποίων έγινε στο ΒιοΓεωΧημικό Εργαστήριο του Ινστιτούτου Ωκεανογραφίας του Ελληνικού Κέντρου Θαλάσσιων Ερευνών (ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε.).

Το πρώτο στάδιο της κοκκομετρικής ανάλυσης των ιζημάτων περιελάμβανε την τοποθέτηση τους σε πυρίμαχα δοχεία και στη συνέχεια το διαχωρισμό των κόκκων του δείγματος με υδατικό διάλυμα υπεροξειδίου του υδρογόνου (H_2O_2), ώστε να αποκροκκισθούν οι κόκκοι και να εξαχθούν τα σωστά αποτελέσματα κατά τη διαδικασία του κοσκινίσματος. Τα δείγματα παρέμειναν στο διάλυμα για 24 ώρες και στη συνέχεια για να ξηρανθούν τοποθετήθηκαν στο φούρνο για άλλες 24 ώρες.

Ο εξοπλισμός που απαιτείται για την κοκκομετρική ανάλυση των ιζημάτων είναι μια ζυγαριά ακριβείας (εικόνα 4α), μια σειρά από κόσκινα διαφορετικής διαμέτρου (2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm, 0,125 mm, 0,063 mm, 0,045 mm) και μια συσκευή δόνησης (εικόνα 4β). Τα κόσκινα τοποθετούνται κατακόρυφα, ώστε να σχηματίζουν μια στήλη και η διάμετρος τους να ελατώνονται από την κορυφή προς τη βάση, στην οποία έχει τοποθετηθεί ένα τάσι (ταψάκι), το οποίο συλλέγει το λεπτόκκοκο κλάσμα που διέρχεται από το κατώτερο κόσκινο.



Εικόνα 4: Εξοπλισμός κοκκομετρικής ανάλυσης ιζημάτων στο εργαστήριο Φυσικής Γεωγραφίας του Χαροκοπείου Πανεπιστήμιου. Πηγή: Προσωπικό αρχείο.

Το ξηρό δείγμα ζυγίστηκε και τοποθετήθηκε στο πρώτο κόσκινο της στήλης. Στη συνέχεια η στήλη των κόσκινων τοποθετείται στη συσκευή δόνησης, η οποία τίθεται σε λειτουργία για 15 περίπου λεπτά σε συχνότητα 40 – 50 Hz. Τα κόσκινα απομακρύνονται προσεκτικά από τη συσκευή για περιορισμό τυχόν απωλειών, η ποσότητα του ιζήματος απομακρύνεται με τη βοήθεια ενός πινέλου και ζυγίζεται στη ζυγαριά ακριβείας. Από το επιμέρους βάρος που προκύπτει από τη ζύγιση, είναι δυνατόν να υπολογιστεί η εκατοστιαία συμμετοχή των κοκκομετρικών τάξεων στη σύσταση κάθε ιζήματος.

3.2.1. Στατιστική επεξεργασία κοκκομετρικής ανάλυσης

Τα δεδομένα που προέκυψαν από το κοσκίνισμα και τη ζύγιση των ιζημάτων εισήχθησαν στο πρόγραμμα Gradistat_v8 για την κατασκευή των αθροιστικών καμπυλών, ώστε να υπολογιστούν τα αθροιστικά ποσοστά κατά βάρος των κόκκων του κάθε δείγματος και να γίνουν οι απαραίτητες συγκρίσεις.

3.2.1.1. Καμπύλη αθροιστικής συχνότητας

Η γραφική αναπαράσταση των παραμέτρων του μεγέθους των κόκκων του κάθε δείγματος γίνεται με την καμπύλη αθροιστικής συχνότητας. Ο οριζόντιος άξονας απεικονίζει το μέγεθος των κόκκων και είναι αριθμητικός, όταν οι μονάδες που χρησιμοποιούνται είναι Φ ή λογαριθμικός, όταν χρησιμοποιείται η διάμετρός τους σε mm. Ο κατακόρυφος άξονας απεικονίζει τα αθροιστικά % ποσοστά ή τα ποσοστά κατά κλάσμα (κατά διάστημα διαμέτρου κόκκου).

Οι στατιστικοί παράμετροι που προέκυψαν από την καμπύλη αθροιστικής συχνότητας και χρησιμοποιούνται συχνότερα για την εξαγωγή συμπερασμάτων είναι το μέσο γραφικό μέγεθος, η σταθερή απόκλιση, οι παράμετροι λοξότητας ή ασυμμετρίας και κύρτωσης. Οι δείκτες που αναφέρθηκαν παρουσιάζονται αναλυτικά στο παράρτημα της εργασίας.

Μέσο γραφικό μέγεθος (Graphic Mean)

Το μέσο γραφικό μέγεθος δίνει σημαντικές πληροφορίες για την υφή (το μέγεθος) των κόκκων του ιζήματος, δηλαδή αν είναι χοντρόκοκκοι ή λεπτόκοκκοι.

Η παράμετρος αυτή δίνεται από τον τύπο των Folk & Ward (1957): $M_z = \Phi_{16} + \Phi_{50}$ + $\Phi_{84}/3$ και τον τύπο του Inman (1952): $M_z = 1/2 (\Phi_{16} + \Phi_{54})$. Τα Φ_{16} , Φ_{50} , Φ_{84}

και Φ_{54} είναι τα μεγέθη των κόκκων σε μονάδες Φ που αντιστοιχούν σε ποσοστό 16, 50, 84, 54 του δείγματος (Καρύμπαλης, 2010).

Γραφική αποκλειστική σταθερή απόκλιση (Inclusive Graphic Standard Deviation)

Η γραφική αποκλειστική σταθερή απόκλιση μετρά τη συγκέντρωση των κόκκων του δείγματος γύρω από το μέσο όρο του και δίνει την καλύτερη συνολική εικόνα για το πόσο ομοιογενές ή ανομοιογενές είναι το ίζημα κοκκομετρικά. Το ίζημα θεωρείται καλά ταξινομημένο όταν οι κόκκοι του έχουν όλοι την ίδια ή παρόμοια διάμετρο, ενώ αν έχουν διαφορετική διάμετρο μεταξύ τους, τότε το ίζημα είναι φτωχά ταξινομημένο.

Αποκλειστική σταθερή απόκλιση σ_1	Ταξινόμηση
$< 0,35 \Phi$	Πολύ καλή
$0,35 - 0,50 \Phi$	Καλή
$0,50 - 0,71 \Phi$	Μετρίως καλή
$0,71 - 1,0 \Phi$	Μέτρια
$1,0 - 2,0 \Phi$	Κακή
$2,0 - 4,0 \Phi$	Πολύ κακή
$> 4,0 \Phi$	Εξαιρετικά κακή

Πίνακας 2: Βαθμός ταξινόμησης ιζημάτων με βάση την τιμή της αποκλειστικής σταθερής απόκλισης.
Πηγή: Καρύμπαλης, 2010.

Η παράμετρος αυτή δίνεται από τον τύπο των Folk & Ward (1957): $\sigma_1 = (\Phi_{84} - \Phi_{16})/4 + (\Phi_{95} - \Phi_5)/6,6$ και από τον τύπο του Inman (1952): $\sigma_1 = 1/2(\Phi_{84} - \Phi_{16})$. (Καρύμπαλης 2010).

Παράμετροι λοξότητας ή ασυμμετρίας (Skewness)

Η παράμετρος της λοξότητας μετρά το βαθμό της ασυμμετρίας της κοκκομετρικής καμπύλης και επιπλέον κατά πόσο η καμπύλη έχει ασύμμετρη ουρά προς τα δεξιά ή προς τα αριστερά. Η λοξότητα είναι το μέτρο του βαθμού απόκλισης της κατανομής των κόκκων από μία κανονική κατανομή και παρουσιάζει τους αδρομερείς ή πιο λεπτομερείς κόκκους. Δίνεται από τον τύπο του Inman (1952): $S_{KG} = \Phi_{16} + \Phi_{84} - 2\Phi_{50} / \Phi_{84} - \Phi_{16}$ (Καρύμπαλης 2010).

Ισχυρά λεπτόκυρτες	1,00 – 0,30	Πολύ θετική (λεπτόκοκκη) λοξότητα
Λεπτόκυρτες	0,30 – 0,10	Θετική λοξότητα
Σχεδόν λεπτόκυρτες	0,10 - -0,10	Σχεδόν ασυμμετρικά
Πλατύκυρτες	-0,10 - -0,30	Αρνητική (χονδρόκοκκη) λοξότητα
Πολύ πλατύκυρτες	-0,30 – 1,30	Πολύ αρνητική λοξότητα

Πίνακας 3: Όρια λοξότητας σύμφωνα με τον Folk. Πηγή: Παυλόπουλος, 2011.

Παράμετροι κύρτωσης

Η παράμετρος της κύρτωσης περιγράφει την απόκλιση από την κανονικότητα ποσοτικά και μετρά το λόγο μεταξύ του κεντρικού τμήματος της καμπύλης και του καμπύλου άκρου της καμπύλης. Όταν το κεντρικό τμήμα είναι καλύτερα διαβαθμισμένο από τα άκρα, τότε η καμπύλη είναι λεπτόκυρτη, που σημαίνει μεγάλη συγκέντρωση κόκκων κοντά στο μέσο όρο. Όταν το καμπύλο άκρο είναι καλύτερα διαβαθμισμένο από το κεντρικό τμήμα, τότε η καμπύλη είναι πλατύκυρτη και σημαίνει πως υπάρχει μεγάλη διασπορά κατανομής των κόκκων γύρω από το μέσο όρο.

Η κύρτωση δίνεται από τον τύπο του Folk (1980): $K_G = (\Phi 95 - \Phi 5) / (2,4(\Phi 75 - \Phi 25))$ και τον τύπο του Inman (1952): $K_G = \frac{1}{2} (\Phi 95 - \Phi 5) - \sigma 1 / \sigma 1$ (Καρύμπαλης 2010).

Όρια τιμών κύρτωσης	Χαρακτηρισμός ιζήματος
$K_G < 0,67$	Πολύ πλατύκυρτο
$0,67 < K_G < 0,90$	Πλατύκυρτο
$0,90 < K_G < 1,11$	Μεσόκυρτο
$1,11 < K_G < 1,50$	Λεπτόκυρτο
$1,50 < K_G < 3,00$	Πολύ λεπτόκυρτο
$K_G > 3,00$	Πάρα πολύ λεπτόκυρτο

Πίνακας 4: Χαρακτηρισμός του ιζήματος με βάση τις τιμές κύρτωσης. Πηγή: Καρύμπαλης, 2010.

3.3. Επεξεργασία δεδομένων

Η κατασκευή των χαρτών (τοπογραφίας, γεωλογίας, υδρολογίας, κλίσεων, προσανατολισμού, κάλυψης γης, κάλυψης πυθμένα, βαθυμετρίας) έγινε με το πρόγραμμα Arc GIS 10.3.1. της ESRI. Το σύστημα συντεταγμένων που επιλέχθηκε ήταν το WGS 84 και το προβολικό που εφαρμόστηκε το UTM Zone 34N. Τα ηχογραφήματα επεξεργάστηκαν με το λογισμικό Sonar TRX και δημιουργήθηκαν ακουστικά μωσαϊκά που απεικονίζουν τη μορφολογία και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του πυθμένα της περιοχής μελέτης (βραχώδεις επιφάνειες, ιζηματομορφές, ενδιαιτήματα, ανθρώπινα αντικείμενα). Τα παραπάνω ηχογραφήματα αγκιστρώθηκαν στις δορυφορικές εικόνες του Google Earth, ενώ ενσωματώθηκαν και τα σημεία δειγματοληψίας των θαλάσσιων και χερσαίων ιζημάτων και οι διαδρομές του σκάφους.

Για τη μεταφορά του ψηφιοποιημένου βυθού της περιοχής μελέτης από το Google Earth στο ArcMap, έγινε η μετατροπή των αρχείων σε vector μορφή μέσω του λογισμικού Global Mapper.

Τα δεδομένα των τοπογραφικών τομών εισήχθησαν στο πρόγραμμα Excel (Microsoft) από όπου προέκυψαν τα διαγράμματα. Η επεξεργασία τους έγινε στο πρόγραμμα CorelDRAW X5 και παρουσιάστηκαν όλα στην ίδια κλίμακα για να γίνουν οι συγκρίσεις με τα σημεία δειγματοληψίας και το χαρακτηρισμό του εδάφους.

Η στατιστική επεξεργασία των δειγμάτων των ιζημάτων έγινε με το πρόγραμμα Gradistat_v8, στο οποίο εισήχθησαν τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής ανάλυσεως.

Ο υπολογισμός του δείκτη παράκτιας τρωτότητας, ο οποίος αποτελεί μια μαθηματική έκφραση της επιδεκτικότητας των παραλιακών περιοχών σε παράκτιους φυσικούς κινδύνους και η εξαγωγή των αποτελεσμάτων έγινε με το πρόγραμμα Arc GIS 10.3.1. Τα δεδομένα που εισήχθησαν στο πρόγραμμα αφορούσαν στη γεωμορφολογία της παράκτιας ζώνης της περιοχής μελέτης, στη μορφολογική κλίση, στη σχετική μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης, στην προέλαση ή υποχώρηση της ακτογραμμής, στο μέσο παλιρροιακό εύρος, στο μέσο σημαντικό ύψος κύματος και στη γεωλογία της παράκτιας ζώνης.

Η παράμετρος της γεωμορφολογίας αφορά στην ανθεκτικότητα των παράκτιων

γεωμορφών που αναπτύσσονται κατά μήκος της ακτογραμμής στη διάβρωση και τα δεδομένα προέκυψαν από τη λεπτομερή υπαίθρια γεωμορφολογική χαρτογράφηση. Η μορφολογική κλίση της παράκτιας ζώνης υπολογίστηκε από το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM), σε συνδυασμό με την επιτόπια παρατήρηση. Η μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης θεωρήθηκε ενιαία για όλη την περιοχή μελέτης, σύμφωνα με στοιχεία της IPCC. Για τον προσδιορισμό της οριζόντιας προέλασης ή οπισθοχώρησης της ακτογραμμής, έγινε συγκριτική παρατήρηση των τοπογραφικών διαγραμμάτων της ΓΥΣ (1977) και των δορυφορικών εικόνων του Google Earth (2013). Ψηφιοποιήθηκαν οι ακτογραμμές των δύο χρονολογιών και μετρήθηκε η μεταβολή της ακτογραμμής στο διάστημα των 34 ετών και στο τέλος υπολογίστηκε ο μέσος ετήσιος ρυθμός μεταβολής. Το μέσο σημαντικό ύψος κύματος εκτιμήθηκε από το χάρτη κατανομής μέσου ύψους κύματος του ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. για τον Ελλαδικό χώρο και το μέσο παλιρροιακό εύρος από τα δεδομένα του συστήματος Ποσειδών.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1. Τοπογραφικές τομές

Για την αποτύπωση και ανάλυση του χερσαίου τμήματος της παράκτιας ζώνης, της σύστασης της παραλίας και της μελέτης του υποθαλάσσιου μέρους της παραλίας, πραγματοποιήθηκαν σε όλη την έκταση της περιοχής μελέτης τοπογραφικές τομές και δειγματοληψίες πάνω σε αυτές.

Συνολικά χαράχτηκαν έξι τομές μήκους 930 μ. – 1.850 μ., κάθετες προς την ακτογραμμή με τη χρήση χωροβάτη για το χερσαίο τμήμα, ενώ για το υποθαλάσσιο χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα από τη βαθυμετρική καταγραφή του πυθμένα με τη χρήση του βυθομέτρου. Σε κάθε τομή συλλέχθηκαν έξι δείγματα, τρία από το χερσαίο τμήμα και τρία από το υποθαλάσσιο τμήμα, τα οποία αναλύθηκαν κοκκομετρικά.

Σε όλο το μήκος της ακτογραμμής της περιοχής μελέτης δεν εντοπίζονται έντονες ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Ωστόσο, το παραλιακό μέτωπο της πόλης εμφανίζει έντονες αντιθέσεις. Η ανατολική παραλιακή ζώνη είναι εμφανώς πιο ανεπτυγμένη από τη δυτική, το φυσικό όριο των οποίων είναι οι εκβολές του ποταμού Νέδοντα, δυτικά του λιμανιού.

Η εικόνα 5 απεικονίζει τις ακριβείς θέσεις που χαράχθηκαν οι τοπογραφικές και βυθομετρικές τομές.



Εικόνα 5: Ακριβείς θέσεις χάραξης τομών στην περιοχή μελέτης. Υπόβαθρο Google Earth.

4.1.1. Τομή KAL15-1

Η πρώτη τομή που κατασκευάστηκε βρίσκεται στο δυτικό μέρος της παραλίας, ανατολικά των εκβολών του ποταμού Παμίσου και παρουσιάζει ομαλή κλίση. Έχει συνολικό μήκος 1.840 μ., με το χερσαίο τμήμα της να καταλαμβάνει τα 36 μ περίπου. Το υψηλότερο σημείο της είναι στα 2,47 μ. και το βαθύτερο στα -31,3 μ. Η Ποσειδωνία αναπτύσσεται αραιά από τα -2 μ. μέχρι τα -5 μ., πιο πυκνά μεταξύ -5 μ. – -12μ. και πιο αραιά μέχρι τα -14 μ.



Εικόνα 6: Θέση τομής KAL15-1. Υπόβαθρο Google Earth.

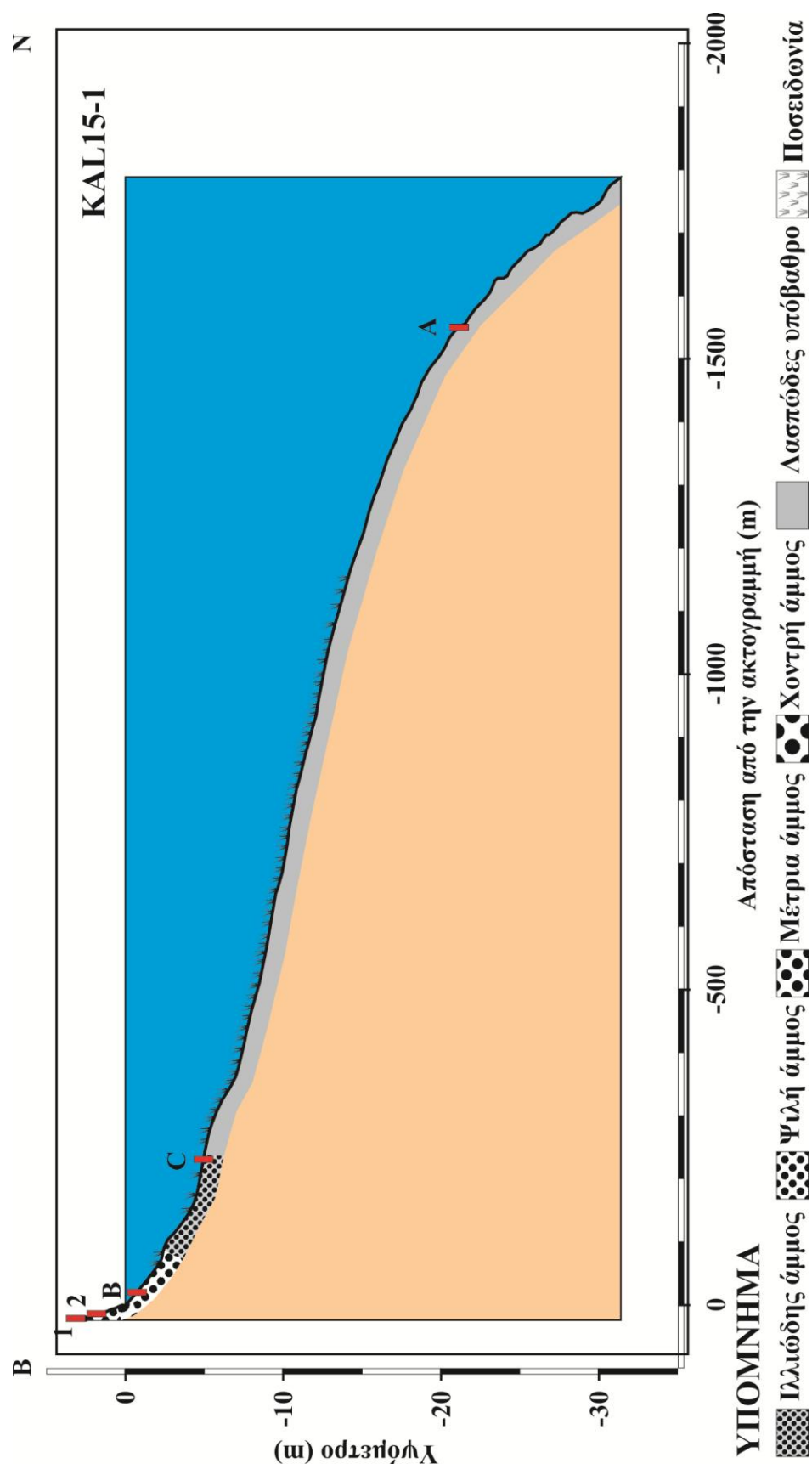
Από την τομή συλλέχθηκαν δύο χερσαία δείγματα, T1-1 και T1-2, στα 1,20 μ. και 8 μ. αντίστοιχα και τρία υποθαλάσσια, KAL15-1B, KAL15-1C και KAL15-1A, στα -2,2 μ., -5,1 μ. και -21 μ. Στη συνέχεια τα δείγματα των ιζημάτων υποβλήθηκαν στη διαδικασία του κοσκινίσματος, από την οποία εξήχθησαν σημαντικά συμπεράσματα για την κοκκομετρική δομή της παραλίας.

Τα ιζήματα του χερσαίου τμήματος της τομής αποτελούνται από πολύ χοντρό αμμοχάλικο (T1-1) και ελαφρά χαλικώδη άμμο (T1-2). Σύμφωνα με τη σχετική σταθερή απόκλιση τα δείγματα είναι μέτρια και καλά ταξινομημένα αντίστοιχα. Σύμφωνα με την παράμετρο της κύρτωσης τα δύο δείγματα είναι πλατύκυρτα, όμως παρουσιάζουν διαφορετικές τιμές λοξότητας, με το T1-1 να έχει πολύ αρνητική λοξότητα και το T1-2 να είναι σχεδόν συμμετρικό.

Τα δύο από τα τρία δείγματα του υποθαλάσσιου τμήματος της τομής (KAL15-1B και KAL15-1C) αποτελούνται από μεσαία και πολύ λεπτή άμμο αντίστοιχα. Σχετικά με τη σχετική σταθερή απόκλιση, τα δείγματα λαμβάνουν διαφορετικές τιμές, με το KAL15-1B να είναι φτωχά ταξινομημένο, ενώ το KAL15-1C να εμφανίζει καλύτερη ταξινόμηση. Τα δύο δείγματα έχουν αρνητική λοξότητα, ενώ αυτό που βρίσκεται πιο κοντά στην ακτογραμμή (KAL15-1B) είναι μεσόκυρτο και εκείνο που απέχει 5,1 μ. από την ακτογραμμή είναι πλατύκυρτο. Το τρίτο δείγμα της τομής, KAL15-1A, πάρθηκε από βάθος 21 μ. και αποτελείται από 66,55% λάσπη, 22,99% πηλό και 10,46% άμμο.



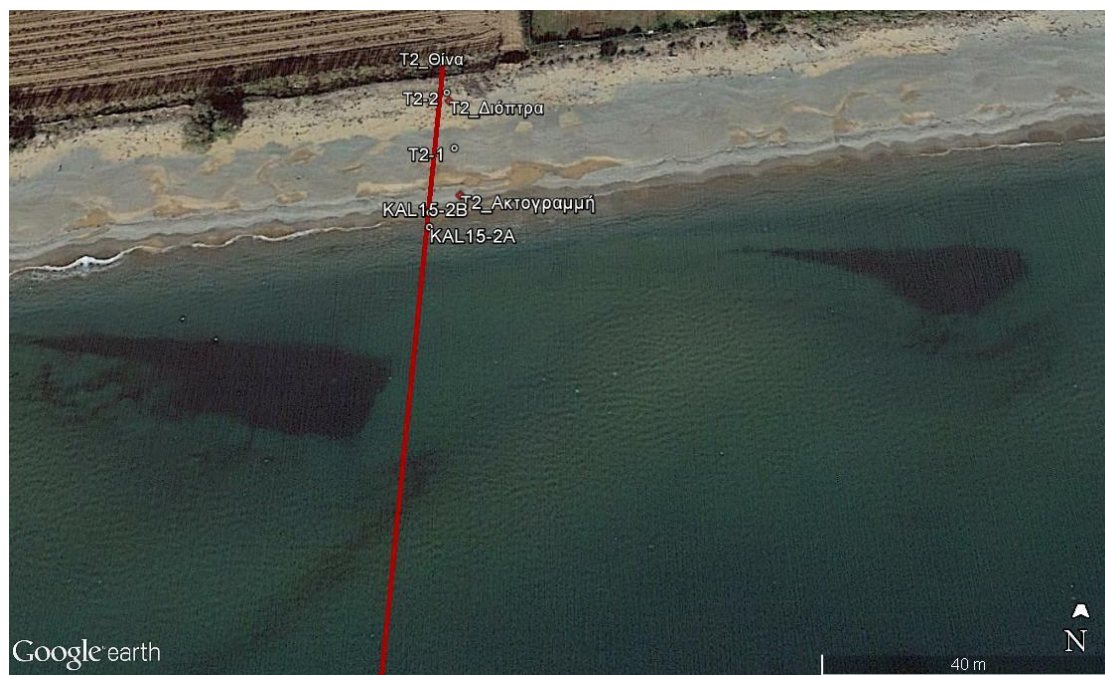
Εικόνα 7: Άποψη παραλίας τομής KAL15-1 και δείγματα ιζημάτων.



Εικόνα 8: Τοπογραφική – ιζηματολογική τομή KAL15-1.

4.1.2. Τομή KAL15-2

Η δεύτερη τομή κατασκευάστηκε στο δυτικό μέρος της παραλίας και έχει συνολικό μήκος 1.530 μ. Το χερσαίο τμήμα της καταλαμβάνει τα 33,6 μ. περίπου και τα μέγιστα σημεία της είναι στα 3,63 μ. στη χέρσο και στα 32.8 μ. στο υποθαλάσσιο τμήμα. Η τομή παρουσιάζει ομαλή και σταθερή κλίση και η Ποσειδώνια αναπτύσσεται από τα -3,5 μ. μέχρι τα -16 μ.



Εικόνα 9: Θέση τομής KAL15-2. Υπόβαθρο Google Earth.

Από την τομή συλλέχθηκαν συνολικά τέσσερα δείγματα, δύο χερσαία (T2-1 και T2-2) και δύο υποθαλάσσια (KAL15-2B και KAL15-2A) στα 10 μ. και 23 μ. τα χερσαία και στα -1,5 μ. και -4,2 μ. τα υποθαλάσσια.

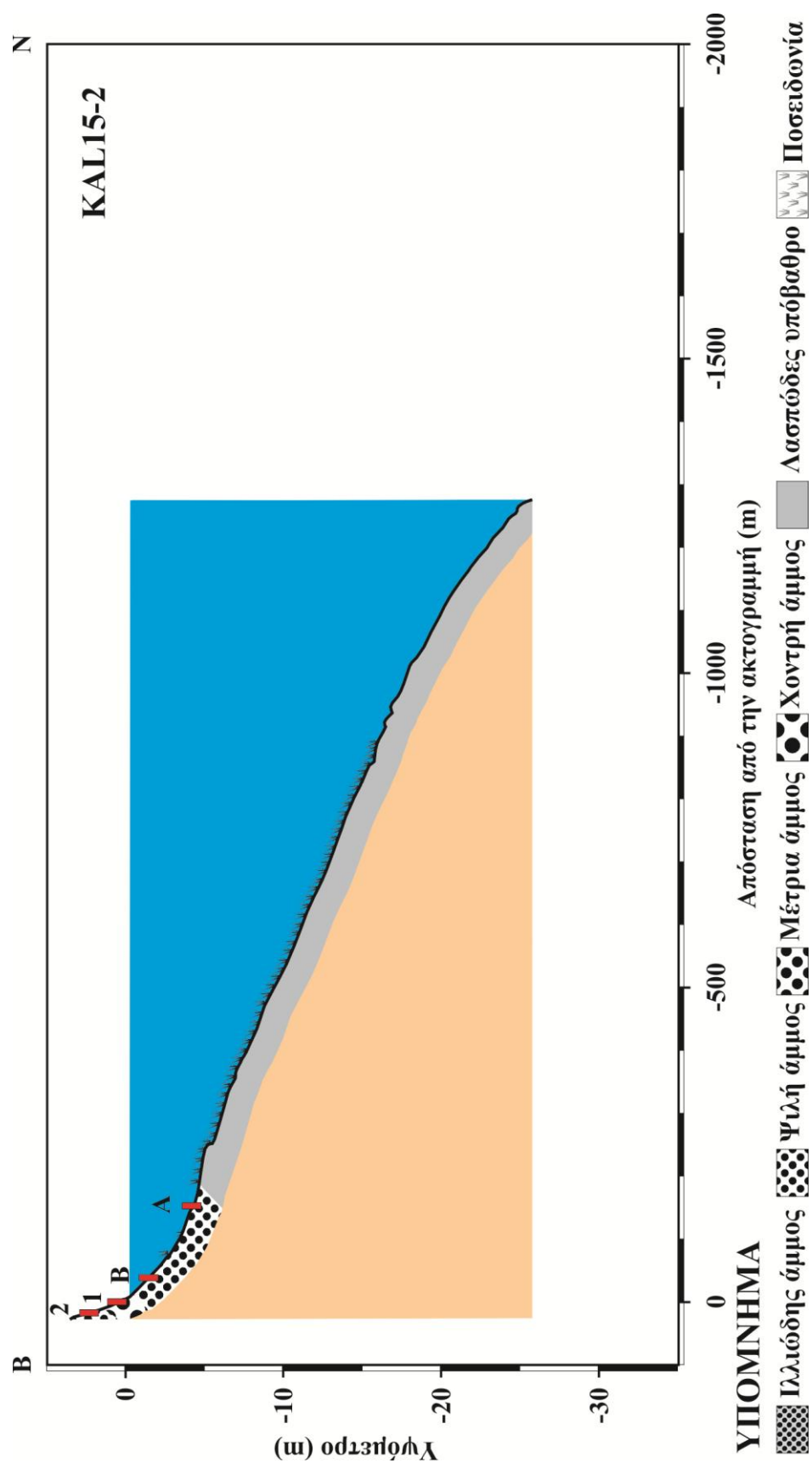
Τα χερσαία ιζήματα αποτελούνται από πολύ ψιλό χαλίκι (T2-1) και χοντρή άμμο (T2-2) και σύμφωνα με τη σχετική σταθερή απόκλιση τους είναι μετρίως καλά ταξινομημένα. Οι τιμές της κύρτωσης και της λοξότητας διαφέρουν, καθώς τα δείγματα παρουσιάζουν διαφορετική υφή. Το δείγμα T2-1 είναι μεσόκυρτο με θετική λοξότητα, ενώ το T2-2 είναι πλατύκυρτο με αρνητική λοξότητα.

Τα ιζήματα του υποθαλάσσιου τμήματος της τομής, KAL15-2B και KAL15-2A, αποτελούνται από ελαφρά χαλικώδη άμμο και θεωρούνται μέτρια και μετρίως καλά ταξινομημένα. Παρουσιάζουν αρνητική και πολύ αρνητική λοξότητα αντίστοιχα και

σχετικά με την παράμετρο της κύρτωσης, το KAL15-2B είναι πλατύκυρτο, ενώ το KAL15-2A μεσόκυρτο.



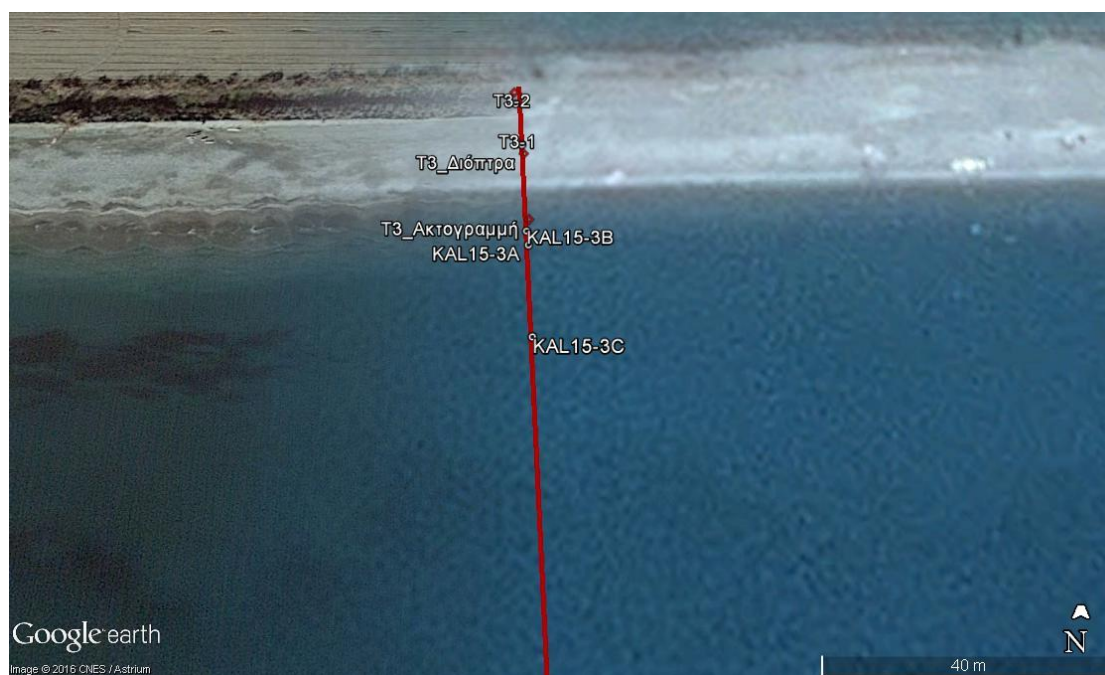
Εικόνα 10: Άποψη παραλίας τομής KAL15-2 και δείγματα ιζημάτων.



Εικόνα 11: Τοπογραφική – ιζηματολογική τομή KAL15-2.

4.1.3. Τομή KAL15-3

Η τομή αυτή κατασκευάστηκε στη δυτική παραλία, δυτικά των εκβολών του ποταμού Άρι. Το συνολικό της μήκος φτάνει τα 1.397 μ. και το χερσαίο τμήμα της είναι 24,32 μ. περίπου. Το μέγιστο χερσαίο σημείο της είναι στα 3,11 μ. και το μέγιστο υποθαλάσσιο στα -31,8 μ. Το χερσαίο τμήμα της είναι σχετικά απότομο, ενώ το υποθαλάσσιο είναι ομαλής κλίσεως μέχρι τα 6 μ. περίπου και στη συνέχεια αυξάνεται ξανά. Η Ποσειδωνία εκτείνεται από τα -3,2 μ. μέχρι τα -17 μ.



Εικόνα 12: Θέση τομής KAL15-3. Υπόβαθρο Google Earth.

Από την τομή συλλέχθηκαν δύο χερσαία δείγματα, T3-1 και T3-2, στα 15,5 μ. και 24 μ. αντίστοιχα και τρία υποθαλάσσια, KAL15-3B, KAL15-3A και KAL15-3C, στα -2,2 μ., -4,2 μ. και -21,2 μ. αντίστοιχα.

Το χερσαίο τμήμα τους είναι σχετικά απότομο, ενώ το υποθαλάσσιο είναι ομαλής κλίσεως μέχρι τα 6 μ. περίπου και στη συνέχεια αυξάνεται ξανά. Η Ποσειδώνια εκτείνεται από τα -3,2 μ. μέχρι τα 17 μ.

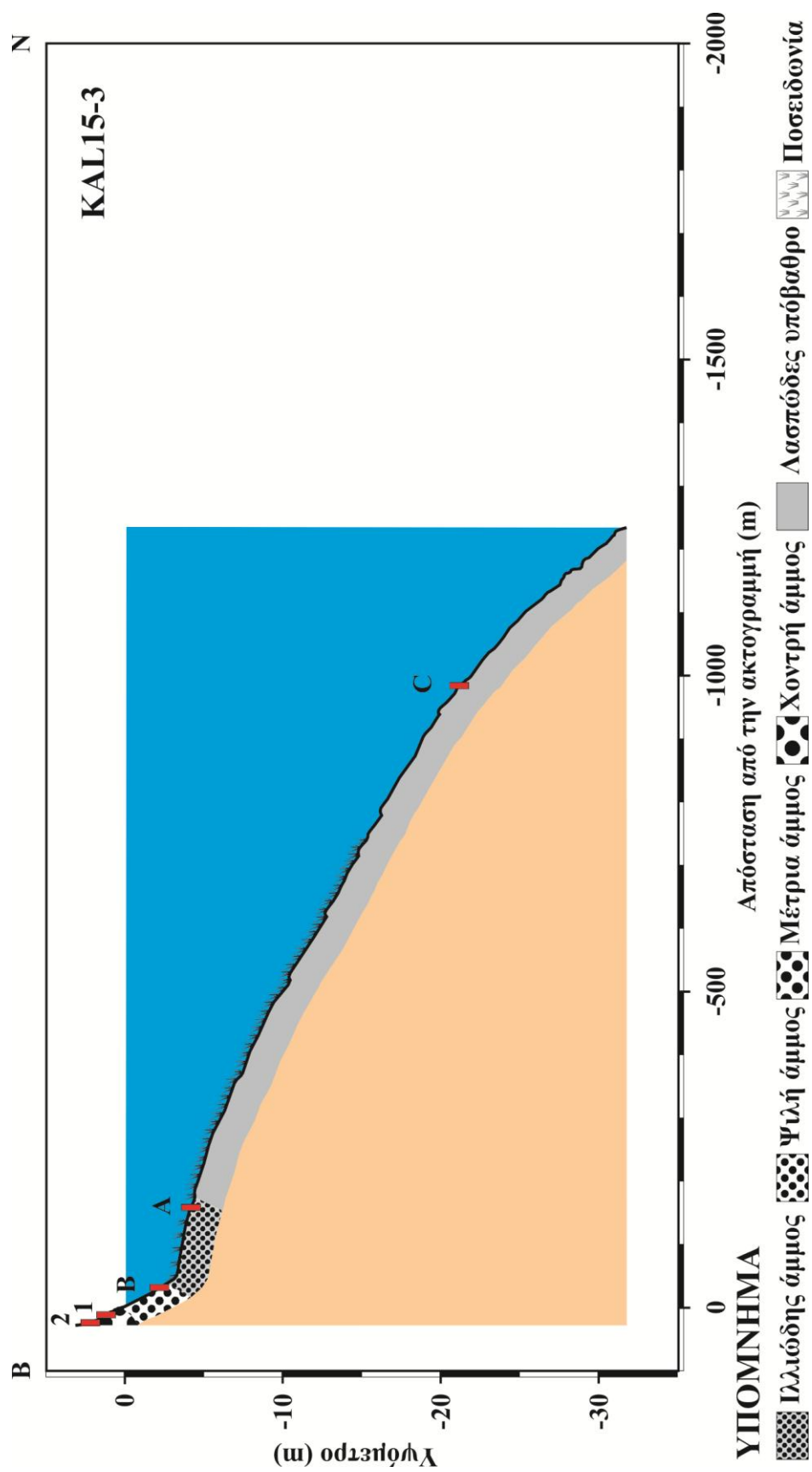
Τα ιζήματα του χερσαίου τμήματος της τομής, T3-1 και T3-2, αποτελούνται από χοντρή και μέτρια άμμο αντίστοιχα. Η τιμή της σχετικής σταθερής απόκλισής τους έδειξε πως τα ιζήματα είναι μέτρια και φτωχά ταξινομημένα αντίστοιχα. Λόγω της διαφορετικής τους υφής, τα δείγματα παρουσιάζουν μεγάλες αποκλίσεις στις τομές

λοξότητας και κύρτωσης. Το T3-1 εμφανίζεται λεπτόκυρτο με πολύ θετική λοξότητα, ενώ το T3-2 είναι πλατύκυρτο με αρνητική λοξότητα.

Τα δύο από τα τρία δείγματα του υποθαλάσσιου τμήματος της τομής (KAL15-3B και KAL15-3A) αποτελούνται από ελαφρά χαλικώδη άμμο και ελαφρά χαλικώδη - λασπώδη άμμο αντίστοιχα. Σχετικά με τη σχετική σταθερή απόκλιση, τα δείγματα λαμβάνουν κοντινές τιμές και παρουσιάζονται μετρίως καλά ταξινομημένα. Το KAL15-3B είναι πλατύκυρτο με αρνητική λοξότητα, ενώ το KAL15-3A είναι λεπτόκυρτο με πολύ αρνητική λοξότητα. Το τρίτο δείγμα της τομής, KAL15-3C, πάρθηκε από βάθος 21,2 μ. και αποτελείται από 62,96% λάσπη, 26,21% πηλό και 10,84% άμμο.



Εικόνα 13: Αποψη παραλίας τομής KAL15-3 και δείγματα ιζημάτων.



Εικόνα 14: Τοπογραφική – ιζηματολογική τομή KAL15-3.

4.1.4. Τομή KAL15-4

Η συγκεκριμένη τομή κατασκευάστηκε στο δυτικό τμήμα της παραλίας, ακριβώς στις εκβολές του ποταμού Νέδοντα, δυτικά από το λιμάνι της Καλαμάτας. Έχει συνολικό μήκος 1.303 μ., με το χερσαίο τμήμα της να καταλαμβάνει τα 58,89 μ. Το υψηλότερο χερσαίο σημείο της είναι στα 1,35 μ. και το βαθύτερο υποθαλάσσιο στα -33,2 μ. Παρουσιάζει ήπια κλίση μέχρι τα -20 μ. περίπου και στη συνέχεια αυξάνεται. Η Ποσειδωνία αναπτύσσεται πολύ αραιά από τα -4,4 μ. μέχρι τα -9 μ. και πιο πυκνά από τα -9,5 μ. μέχρι τα -20 μ.



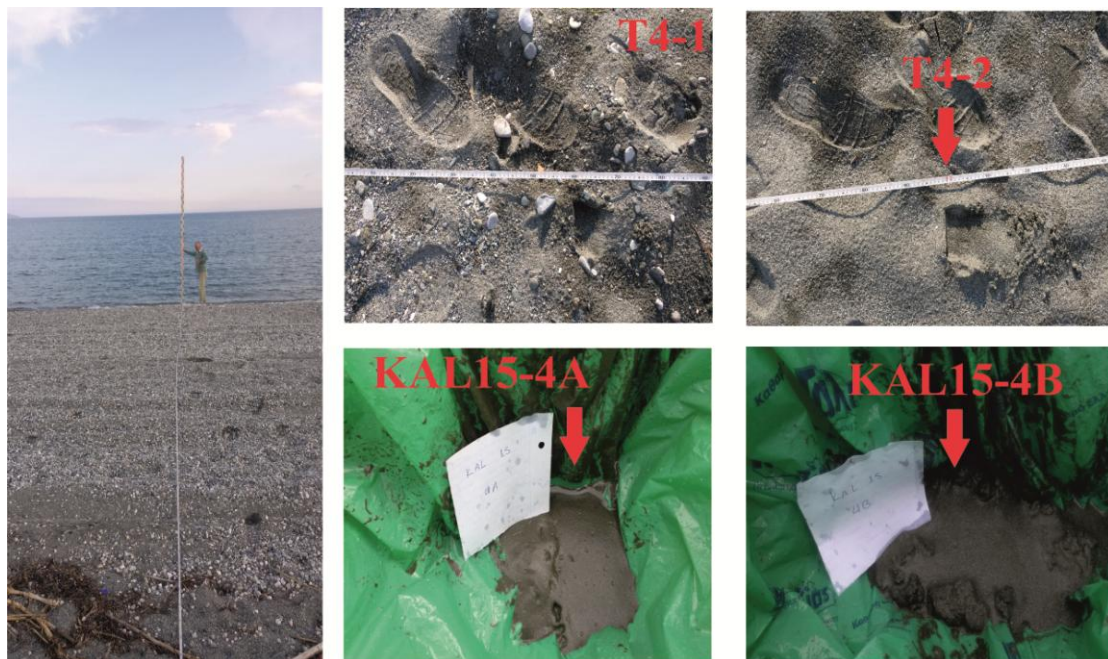
Εικόνα 15: Θέση τομής KAL15-4. Υπόβαθρο Google Earth.

Από την τομή συλλέχθηκαν συνολικά τέσσερα δείγματα, δύο χερσαία και δύο υποθαλάσσια. Τα χερσαία, T4-1 και T4-2, βρίσκονται σε απόσταση 19,8 μ. και 33 μ. αντίστοιχα από την ακτογραμμή και τα υποθαλάσσια, KAL15-4B και KAL15-4A, σε βάθος 3 μ. και 4,6 μ. αντίστοιχα.

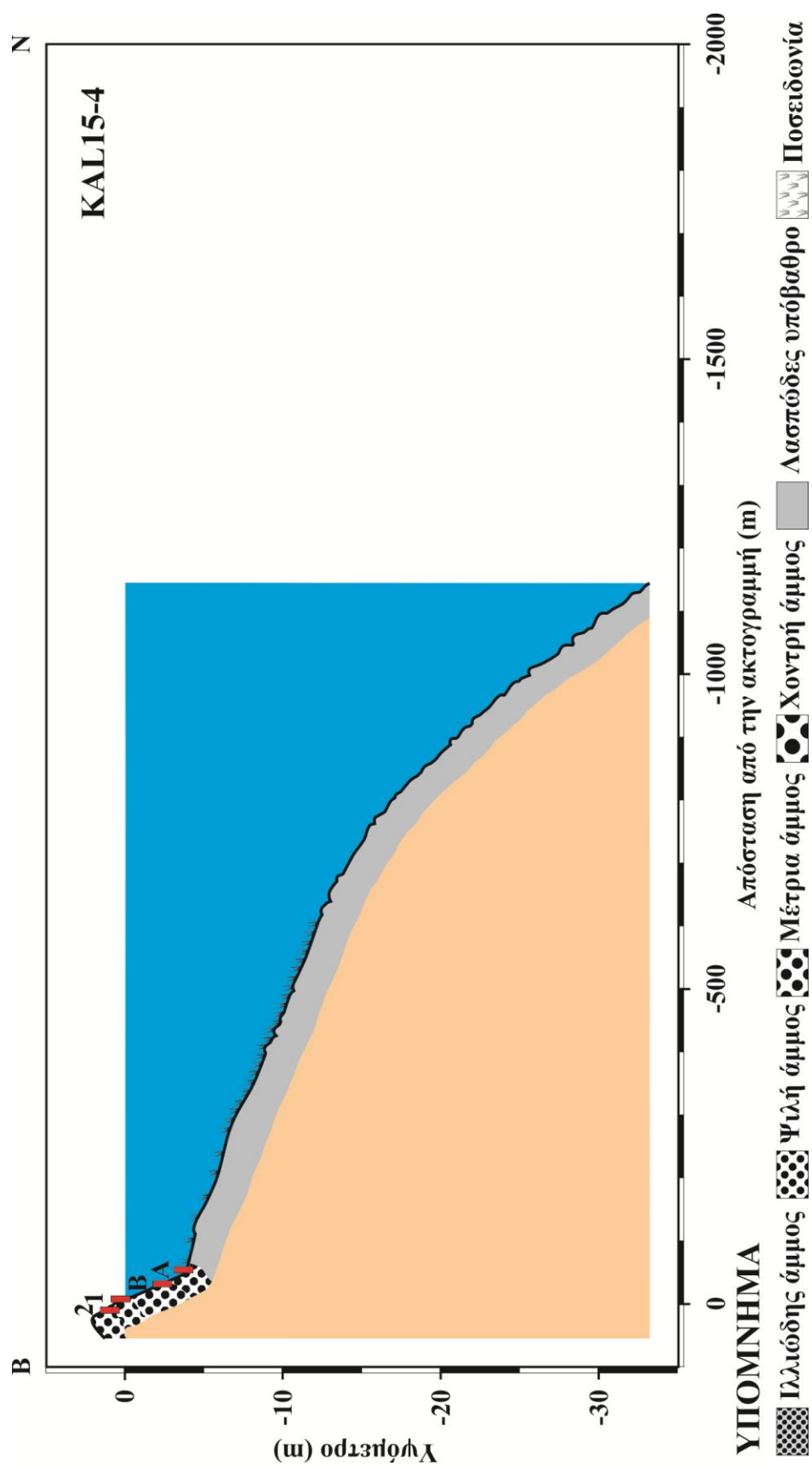
Τα χερσαία δείγματα παρουσιάζουν τα ίδια χαρακτηριστικά στις παραμέτρους που μελετήθηκαν στην κοκκομετρική ανάλυση, λόγω της θέσης τους στις εκβολές του ποταμού, τα οποία εξαρτώνται και διαμορφώνονται από τα φερτά υλικά του ποταμού. Τα ιζήματα αποτελούνται από μέτρια - ψιλή άμμο, εμφανίζονται μέτρια ταξινομημένα και είναι μεσόκυρτα. Η παράμετρος της λοξότητας είναι η μόνη στην

οποία παρουσιάζουν διαφορά τα δύο δείγματα. Το T4-1 εμφανίζει θετική λοξότητα, ενώ το T4-2 πολύ αρνητική λοξότητα.

Τα δείγματα του υποθαλάσσιου τμήματος της τομής, KAL15-4B και KAL15-4A, αποτελούνται από ψιλή έως πολύ ψιλή άμμο. Παρόλο που και αυτά τα δείγματα πάρθηκαν από το θαλάσσιο τμήμα στις εκβολές του ποταμού, παρουσιάζουν διαφορετικές τιμές όσον αφορά στην κοκκομετρική τους ανάλυση. Το δείγμα KAL15-4B είναι φτωχά ταξινομημένο, παρουσιάζει θετική λοξότητα και είναι μεσόκυρτο. Αντίθετα, το KAL15-4A είναι μετρίως καλά ταξινομημένο, παρουσιάζει αρνητική λοξότητα και είναι λεπτόκυρτο.



Εικόνα 16: Άποψη παραλίας τομής KAL15-4 και δείγματα ιζημάτων.



Εικόνα 17: Τοπογραφική – ιζηματολογική τομή KAL15-4.

4.1.5. Τομή KAL15-5

Η πέμπτη σε σειρά τομή κατασκευάστηκε στο ανατολικό τμήμα της παραλίας της Καλαμάτας και παρουσιάζει τη μεγαλύτερη κλίση από όλες. Το συνολικό της μήκος φτάνει τα 931 μ. και το χερσαίο κομμάτι της καταλαμβάνει τα 38,41 μ. Το υψηλότερο σημείο της βρίσκεται στα 2,9 μ. και το βαθύτερο στα -32,4 μ. Στο υποθαλάσσιο τμήμα της τομής αναπτύσσεται Ποσειδωνία από τα -3,6 μ. μέχρι τα -16 μ., αραιά στην αρχή και πιο πυκνά μέχρι το τέλος.



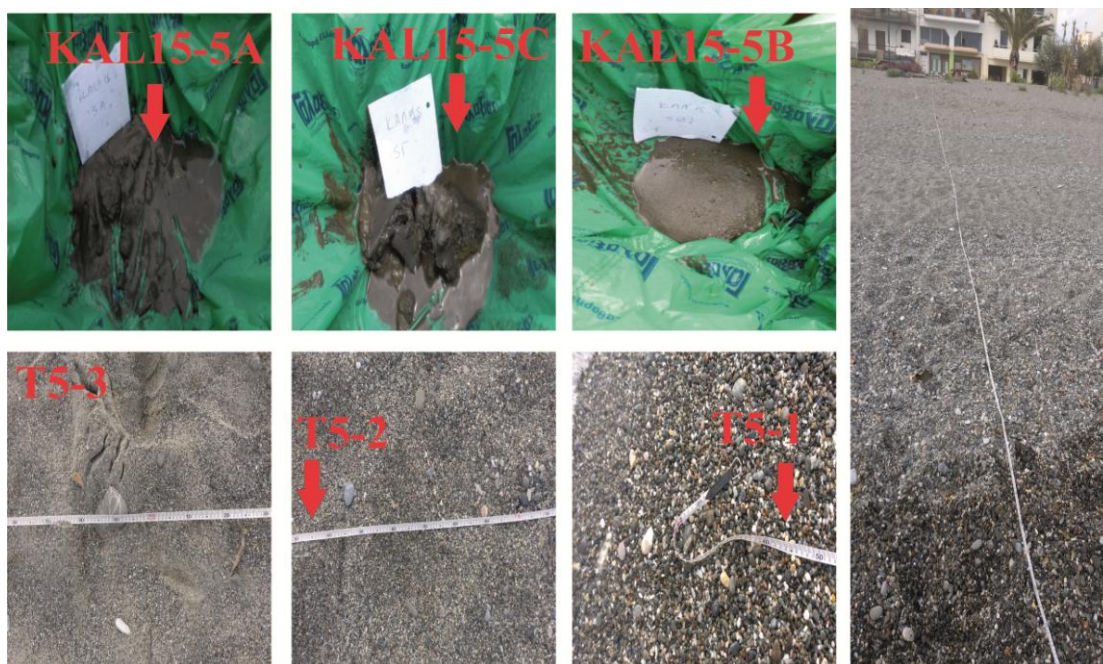
Εικόνα 18: Θέση τομής KAL15-5. Υπόβαθρο Google Earth.

Από την τομή συλλέχθηκαν τρία χερσαία δείγματα, T5-1, T5-2 και T5-3 στα 0,5 μ., 6,3 μ. και 23,7 μ. αντίστοιχα και τρία υποθαλάσσια, KAL15-5B, KAL15-5A και KAL15-5C, στα -2,3 μ., -4,2 μ. και -20,2 μ. αντίστοιχα.

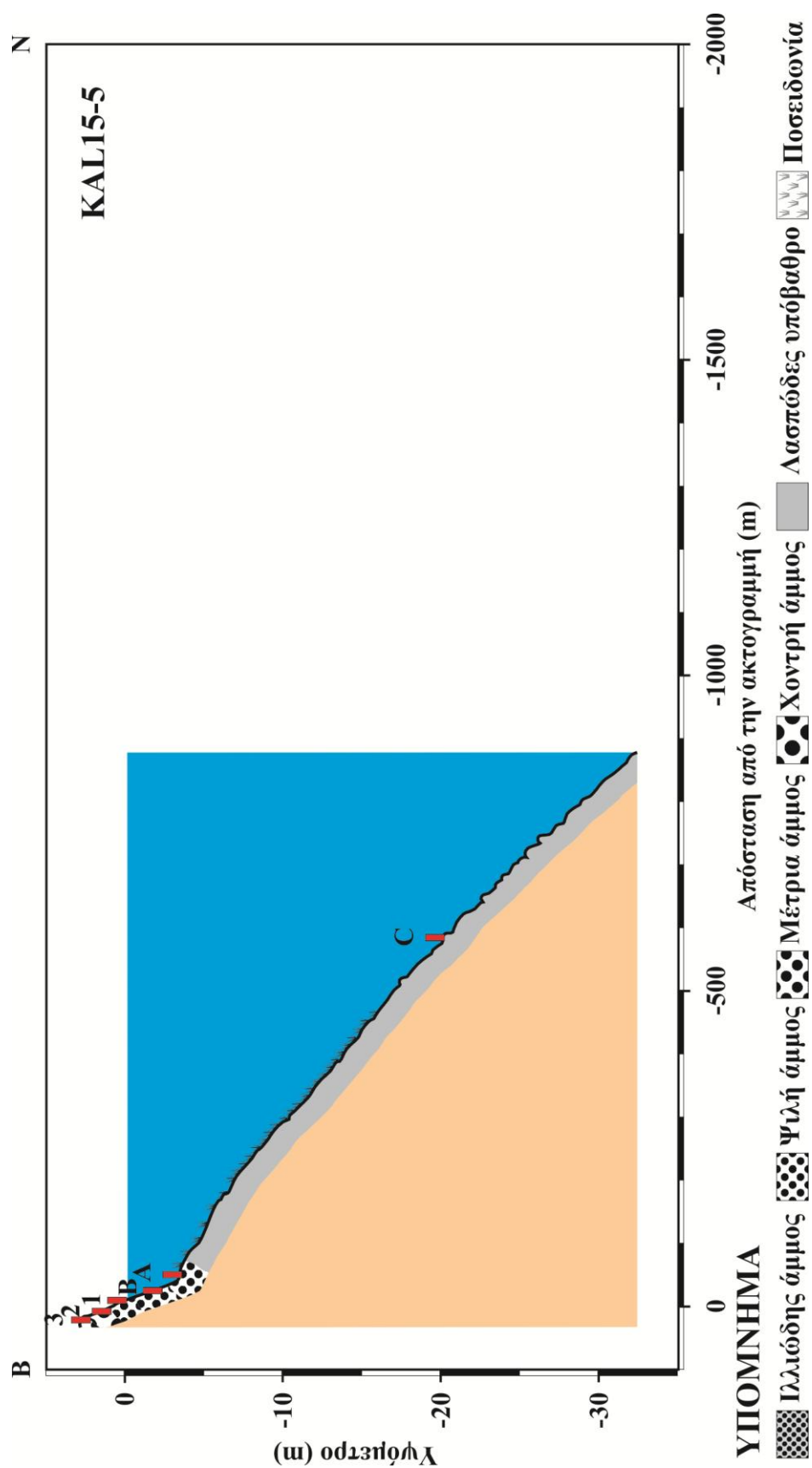
Τα ιζήματα του χερσαίου τμήματος της τομής αποτελούνται από πολύ ψιλό χαλίκι (T5-1 και T5-2) και πολύ χοντρή άμμο (T5-3). Σύμφωνα με τη σχετική σταθερή απόκλιση τα δείγματα είναι πολύ καλά ταξινομημένα (T5-1), μετρίως καλά ταξινομημένα (T5-2) και μέτρια ταξινομημένα (T5-3). Τα δείγματα T5-1 και T5-2, που βρίσκονται πιο κοντά στην ακτογραμμή είναι πλατύκυρτα, ενώ το T5-3, που απέχει πιο πολύ από την ακτογραμμή και είναι κοντά στο δρόμο είναι μεσόκυρτο. Όσον αφορά στην παράμετρο της λοξότητας, το T5-1 έχει πολύ θετική λοξότητα και

τα T5-2 και T5-3 παρουσιάζουν θετική λοξότητα.

Τα δύο από τα τρία δείγματα του υποθαλάσσιου τμήματος της τομής (KAL15-5B και KAL15-5A) αποτελούνται από μεσαία και πολύ λεπτή άμμο αντίστοιχα και εμφανίζονται φτωχά και καλά ταξινομημένα αντίστοιχα. Το KAL15-5B είναι πολύ πλατύκυρτο με πολύ αρνητική λοξότητα και το KAL15-5A είναι πλατύκυρτο με αρνητική λοξότητα. Το τρίτο δείγμα της τομής, KAL15-5C, πάρθηκε από βάθος 20,2 μ. και αποτελείται από 58,49% λάσπη, 20,78% πηλό και 20,73% άμμο.



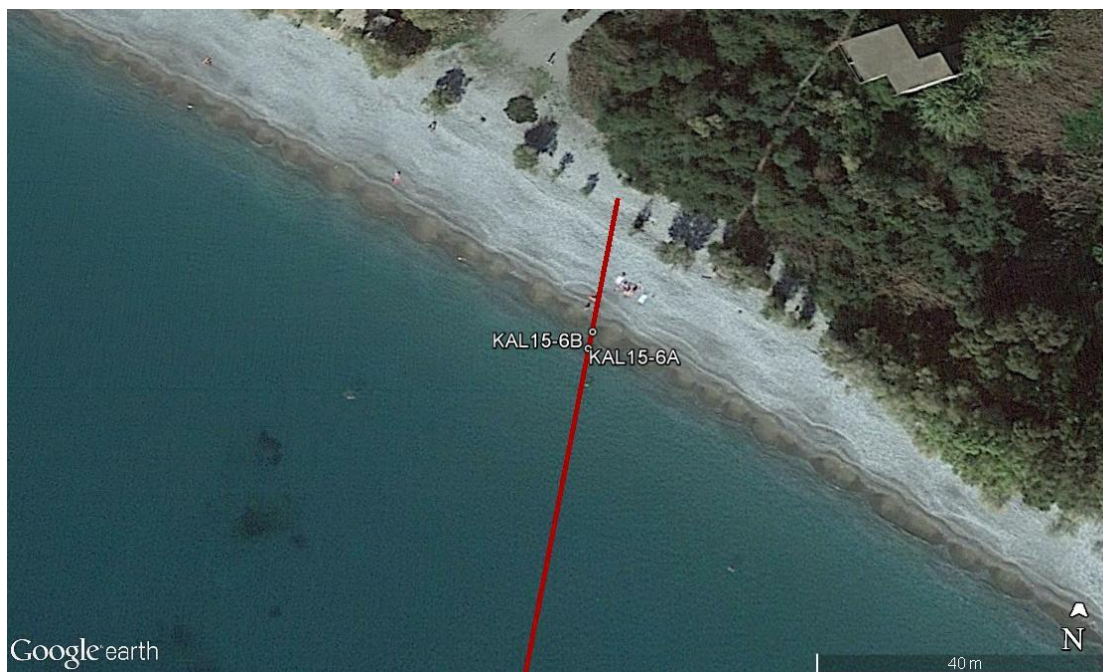
Εικόνα 19: Άποψη παραλίας τομής KAL15-5 και δείγματα ιζημάτων.



Εικόνα 20: Τοπογραφική – ιζηματολογική τομή KAL15-5.

4.1.6. Τομή KAL15-6

Η τελευταία τομή κατασκευάστηκε στο ανατολικότερο τμήμα της παραλίας. Το χερσαίο τμήμα της είναι 24,30 μ και το συνολικό 1.293 μ. Το υψηλότερο σημείο της είναι στα 2,37 μ. και το βαθύτερο στα -35.7 μ. Παρουσιάζει σχετικά μεγάλη κλίση και η Ποσειδωνία αναπτύσσεται αραιά από τα -3,7 μ. μέχρι τα -5 μ., πυκνά από τα -5 μ. μέχρι τα -10 μ. και ξανά αραιά από τα -10 μ. μέχρι τα -18 μ.



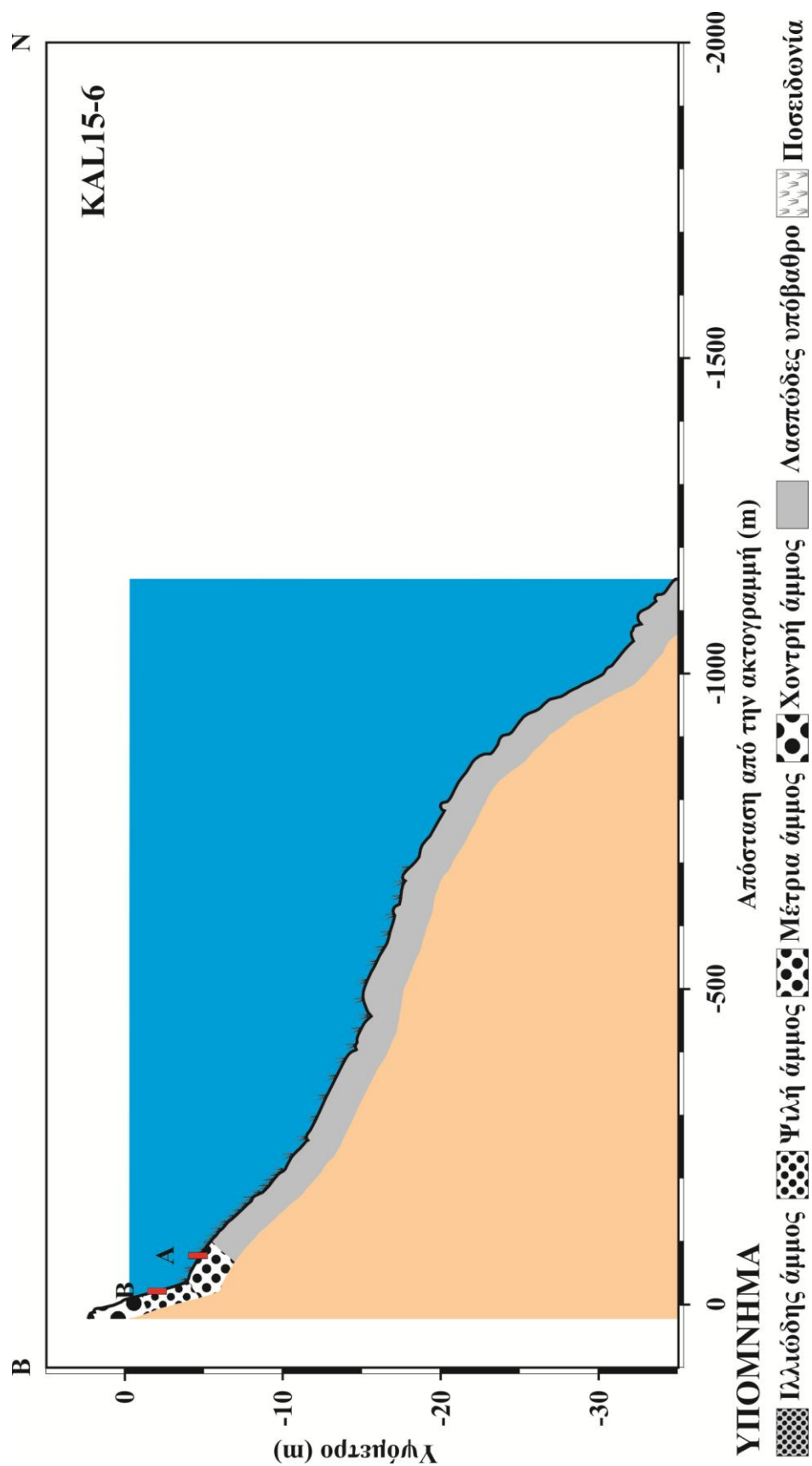
Εικόνα 21: Θέση τομής KAL15-6. Υπόβαθρο Google Earth.

Από αυτή την τομή συλλέχθηκαν μόνο υποθαλάσσια δείγματα ιζημάτων. Το χερσαίο τμήμα της παραλίας αποτελείται από κροκάλες μικρού μεγέθους, οπότε δεν υπήρχε λόγος κοκκομετρικής ανάλυσης των δειγμάτων.

Τα υποθαλάσσια ιζήματα, KAL15-6B και KAL15-6A, αποτελούνται από λεπτή και πολύ λεπτή άμμο, αντίστοιχα. Σχετικά με τη σχετική σταθερή απόκλιση, τα δείγματα εμφανίζονται μετρίως καλά ταξινομημένα και καλά ταξινομημένα αντίστοιχα. Το δείγμα KAL15-6B, το οποίο βρίσκεται πιο κοντά στην ακτογραμμή είναι πλατύκυρτο και παρουσιάζει θετική λοξότητα, ενώ το δείγμα KAL15-6A είναι λεπτόκυρτο με αρνητική λοξότητα.



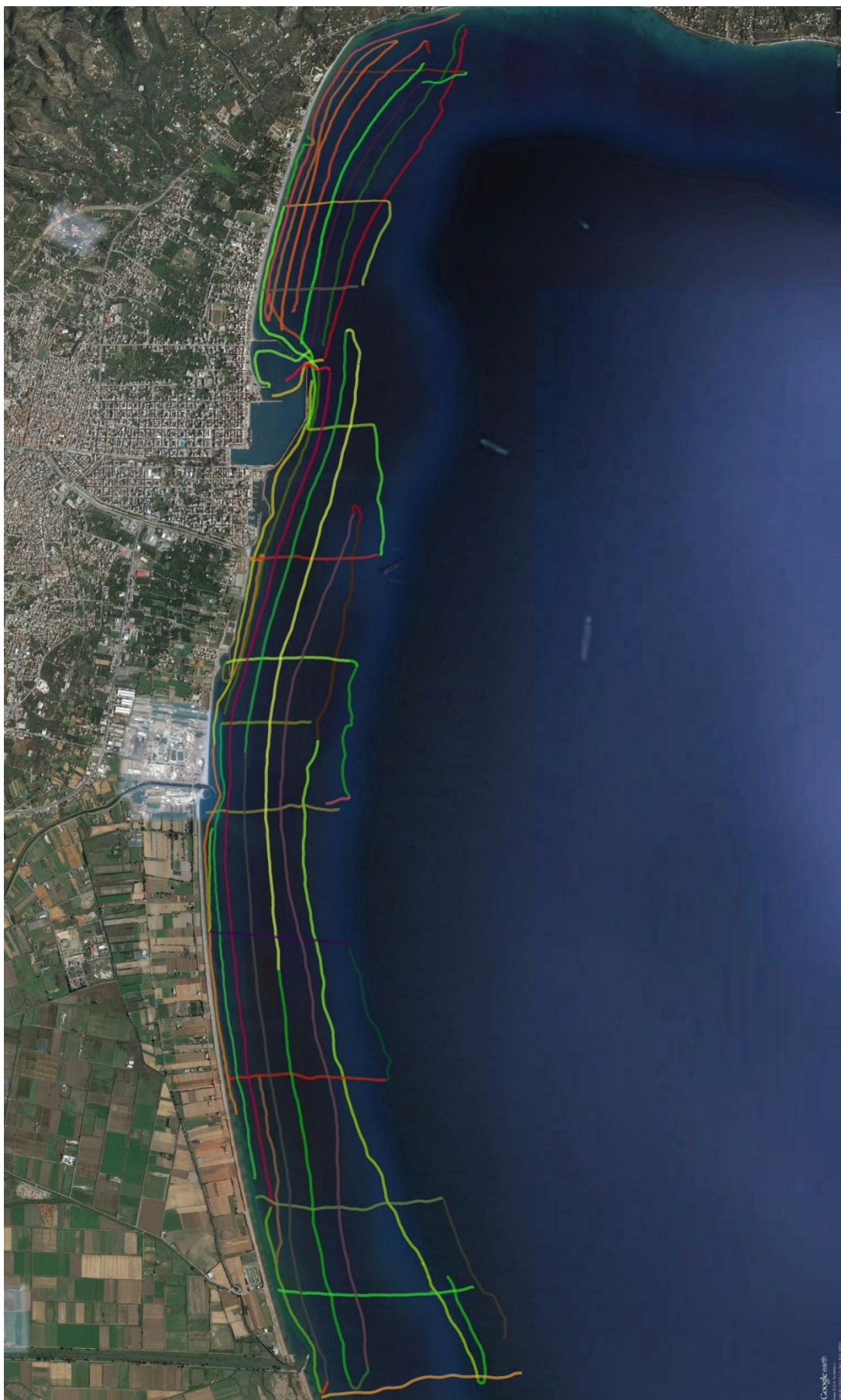
Εικόνα 22: Άποψη παραλίας τομής KAL15-6 και δείγματα ιζημάτων.



Εικόνα 23: Τοπογραφική – ιζηματολογική τομή KAL15-6.

4.2. Βαθυμετρία και μορφολογική αποτύπωση πυθμένα

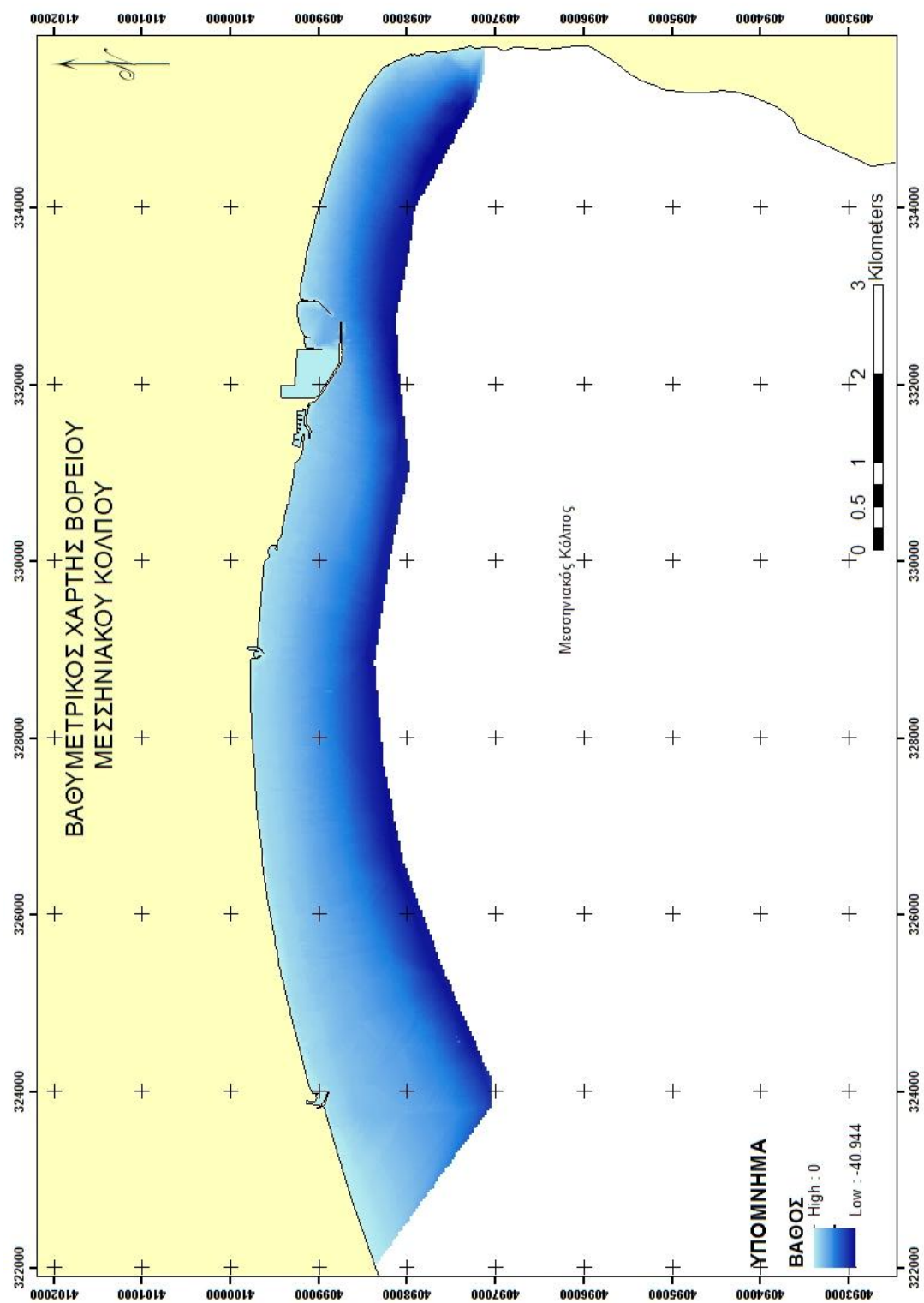
Οι χάρτες βαθυμετρίας, κλίσεων και προσανατολισμού δημιουργήθηκαν με τις συντεταγμένες και το βάθος κάθε σημείου, δεδομένα που αντλήθηκαν από τις πορείες του σκάφους (εικόνα 24) και επεξεργάστηκαν σε περιβάλλον ΣΓΠ. Το μωσαϊκό της παραλίας και ο χάρτης ενδιαιτημάτων του πυθμένα δημιουργήθηκαν με το πρόγραμμα SonarTRX.



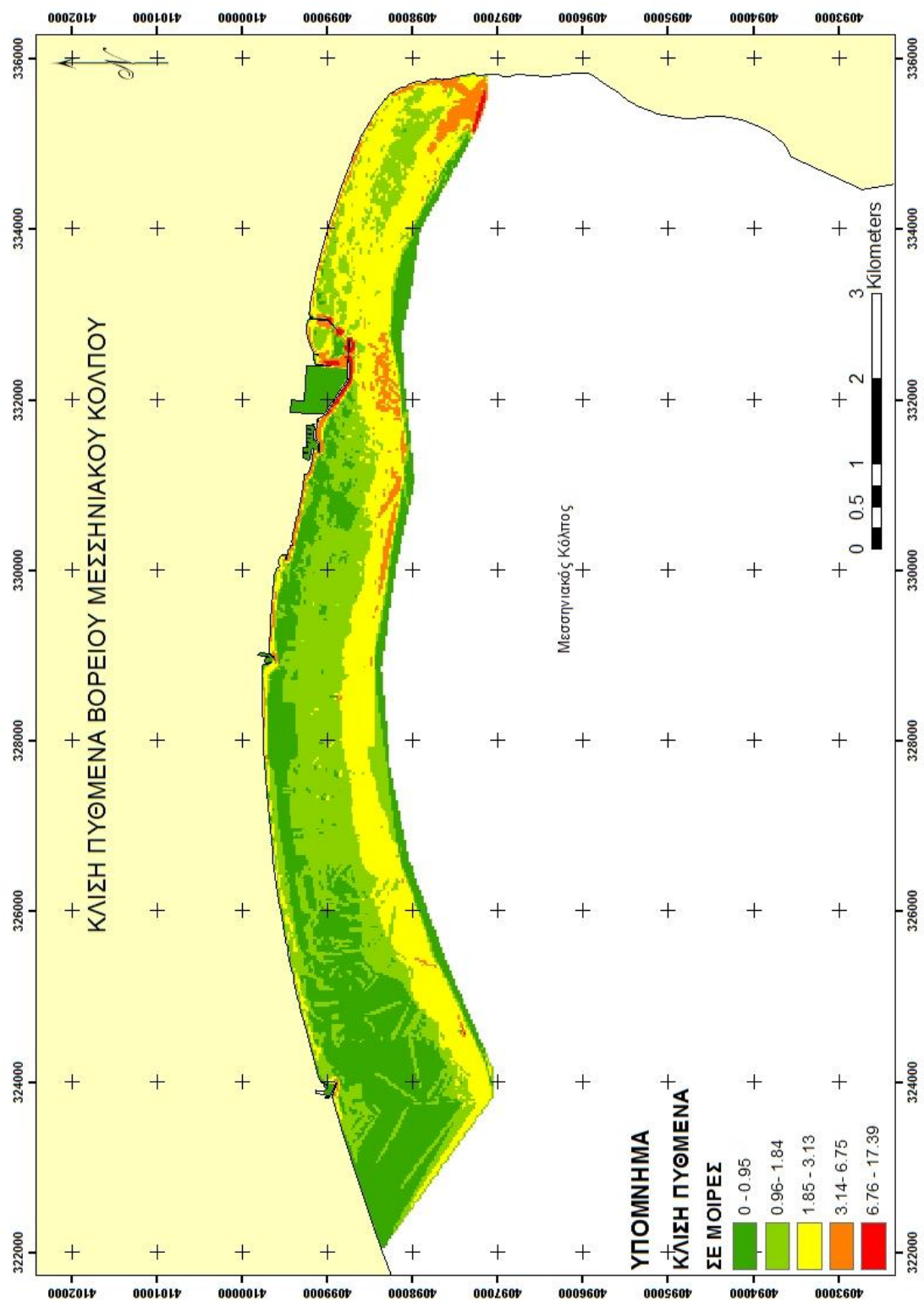
Εικόνα 24: Κάθετη και οριζόντια σάρωση της περιοχής μελέτης. Υπόβαθρο Google Earth.

Όπως φαίνεται στο χάρτη που ακολουθεί (χάρτης 7), τα βάθη της περιοχής μελέτης εμφανίζουν σχετικά μικρές τιμές, με μέγιστο τα -40,944 μ. Το βάθος του πυθμένα αυξάνεται ομαλά όσο απομακρύνεται από την ακτογραμμή προς την ανοιχτή θάλασσα και πιο έντονα όσο απομακρύνεται από τις ανατολικές ακτές μεγάλης κλίσης. Στο δυτικό τμήμα του κόλπου εντοπίζονται μικρότερα βάθη, από ότι στο ανατολικό, πιθανώς λόγω της ύπαρξης ποτάμιων εκβολών, τα οποία εναποθέτουν τις φερτές ύλες, μειώνοντας έτσι το βάθος του πυθμένα.

Ο χάρτης κλίσεων (χάρτης 8) παρουσιάζει την ομαλότητα της αύξησης του βάθους από την ακτογραμμή προς την ανοιχτή θάλασσα. Οι μεγαλύτερες κλίσεις εντοπίζονται στην περιοχή εξωτερικά του λιμανιού της πόλης και στο ανατολικό μέρος της περιοχής μελέτης και φτάνουν τις 17,39°. Η ανατολική παραλία εμφανίζει υψηλότερες τιμές από τη δυτική, όσον αφορά στην υποθαλάσσια κλίση.



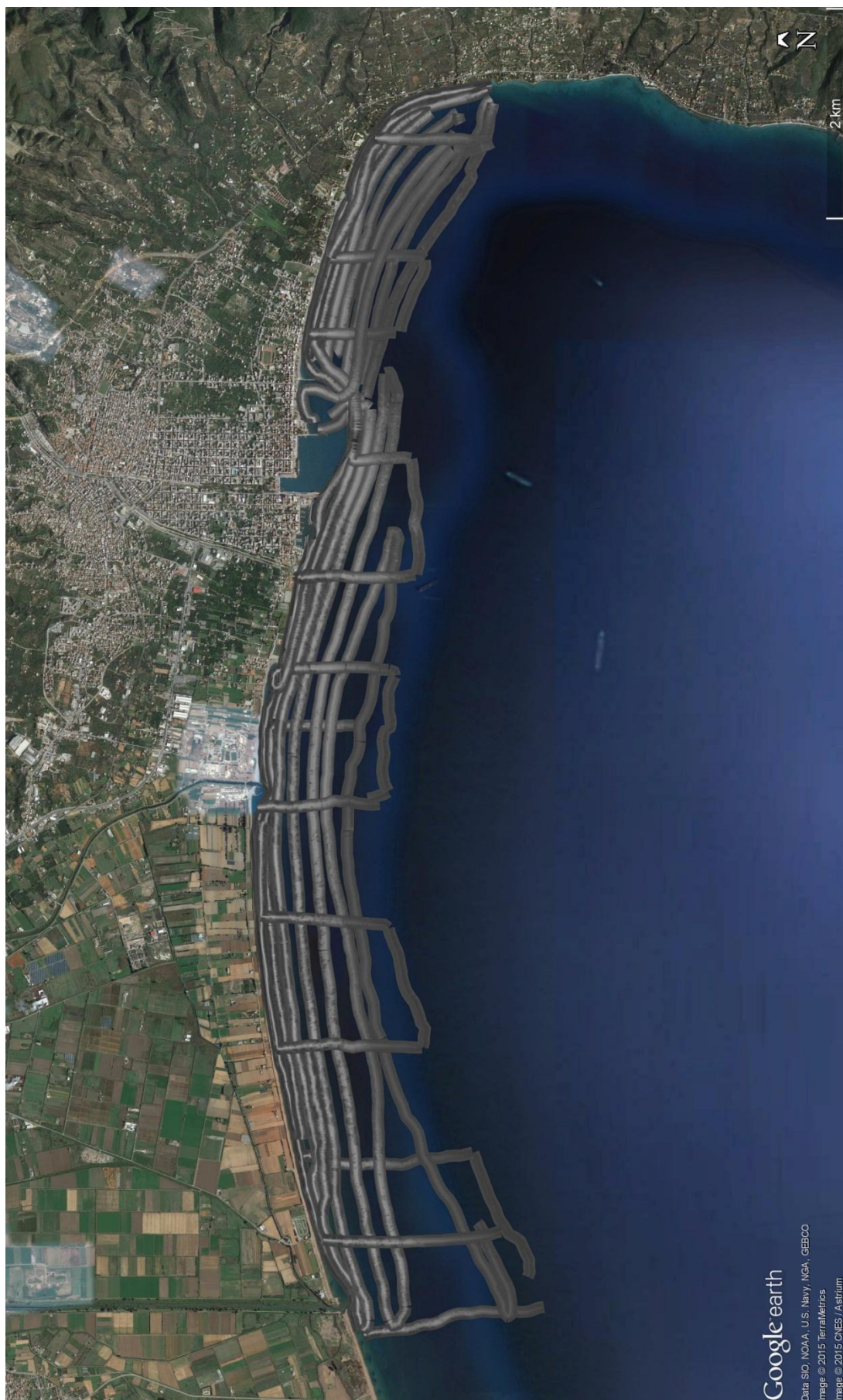
Χάρτης 7: Βαθυμετρική απεικόνιση πυθμένα Βόρειου Μεσσηνιακού Κόλπου.



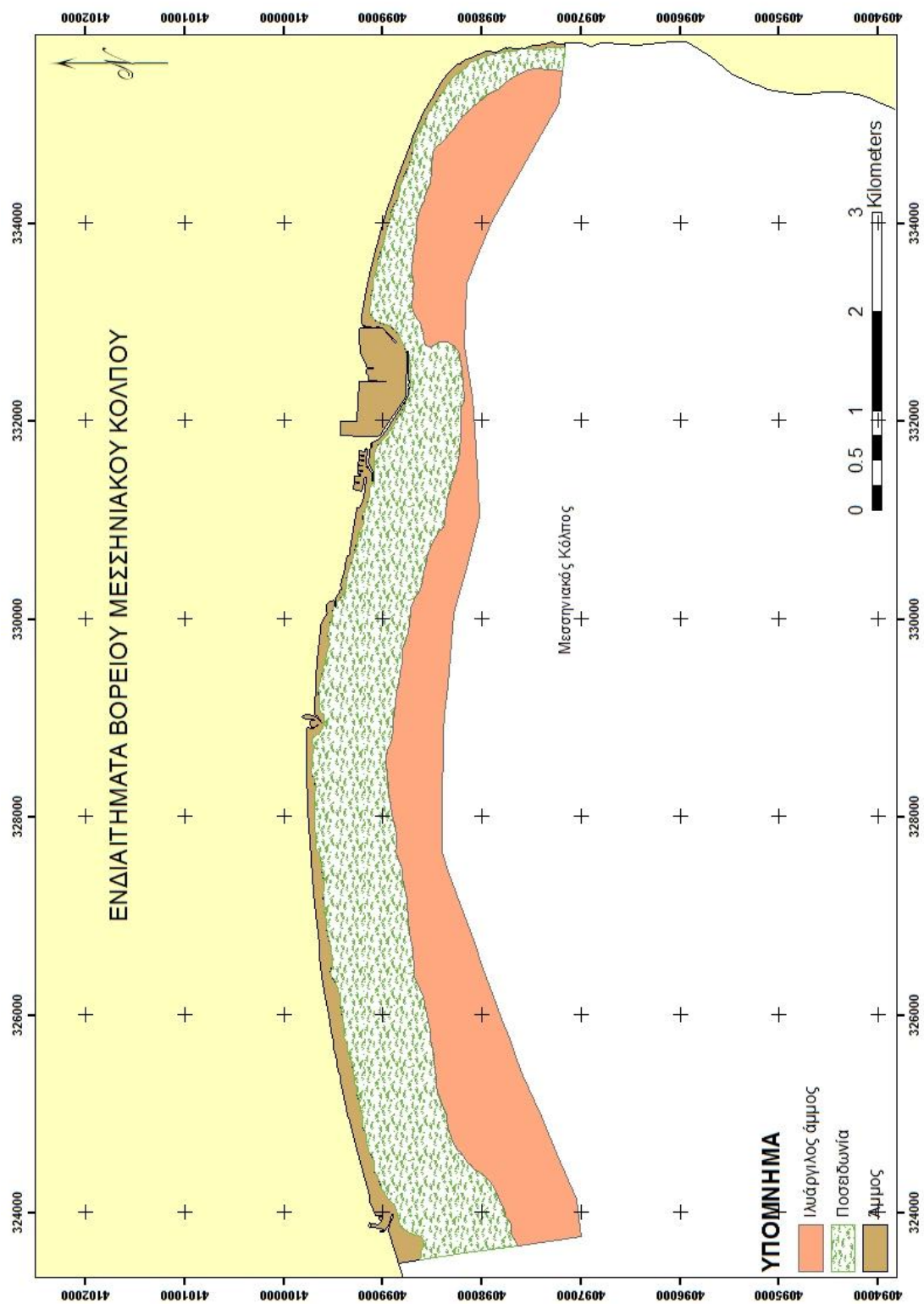
Χάρτης 8: Κλίση πυθμένα Βόρειου Μεσσηνιακού Κόλπου.

Με τη χρήση του λογισμικού SonarTRX δημιουργήθηκε το μωσαϊκό της περιοχής μελέτης (εικόνα 25). Ο χάρτης ενδιαιτημάτων του θαλάσσιου πυθμένα κατασκευάστηκε από τις πληροφορίες που αντλήθηκαν από τα ηχογραφήματα, την επιτόπια παρατήρηση και τις δειγματοληψίες που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή.

Από το χάρτη ενδιαιτημάτων του πυθμένα της περιοχής (χάρτης 26), συμπεραίνεται πως τη μεγαλύτερη έκταση καταλαμβάνει το λιβάδι Ποσειδωνίας, το οποίο εκτείνεται μεταξύ της άμμου και της ιλιάργιλου, με ποσοστό 44,01%. Η άμμος εντοπίζεται στο προσκείμενο με την ακτογραμμή υποθαλάσσιο τμήμα και καταλαμβάνει ποσοστό 20,85%. Τέλος, το ιλυαργιλώδες τμήμα του πυθμένα καταλαμβάνει ποσοστό 35,09% και εκτείνεται από το κάτω όριο της Ποσειδωνίας προς την ανοιχτή θάλασσα.



Εικόνα 25: Μωσαϊκό Βόρειου Μεσσηνιακού Κόλπου. Υπόβαθρο Google Earth.



Χάρτης 9: Κάλυψη του θαλάσσιου πυθμένα του βόρειου Μεσσηνιακού κόλπου.

5. ΣΥΝΘΕΣΗ – ΕΡΜΗΝΕΙΑ

5.1 Δείκτης Παράκτιας Τρωτότητας (Coastal Vulnerability Index – C.V.I.)

Στη συνέχεια αναλύονται οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της παράκτιας τρωτότητας και παρουσιάζεται ο δείκτης τρωτότητας για κάθε μεταβλητή ξεχωριστά. Ο υπολογισμός του δείκτη έγινε με τον τύπο που πρώτα προτάθηκε από τους Gormitz et al. για την εκτίμηση της τρωτότητας των ακτών των ΗΠΑ και του Καναδά:

$$C.V.I. = \sqrt{\frac{a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot e \cdot f}{6}} ,$$

όπου a: παράμετρος γεωμορφολογίας,

b: παράμετρος παράκτιας κλίσης,

c: παράμετρος μετατόπισης της ακτογραμμής,

d: παράμετρος ανόδου θαλάσσιας στάθμης,

e: παράμετρος μέσου σημαντικού ύψους κύματος,

f: παράμετρος μέσου εύρους παλίρροιας.

5.1.1. Παράμετρος Γεωμορφολογίας

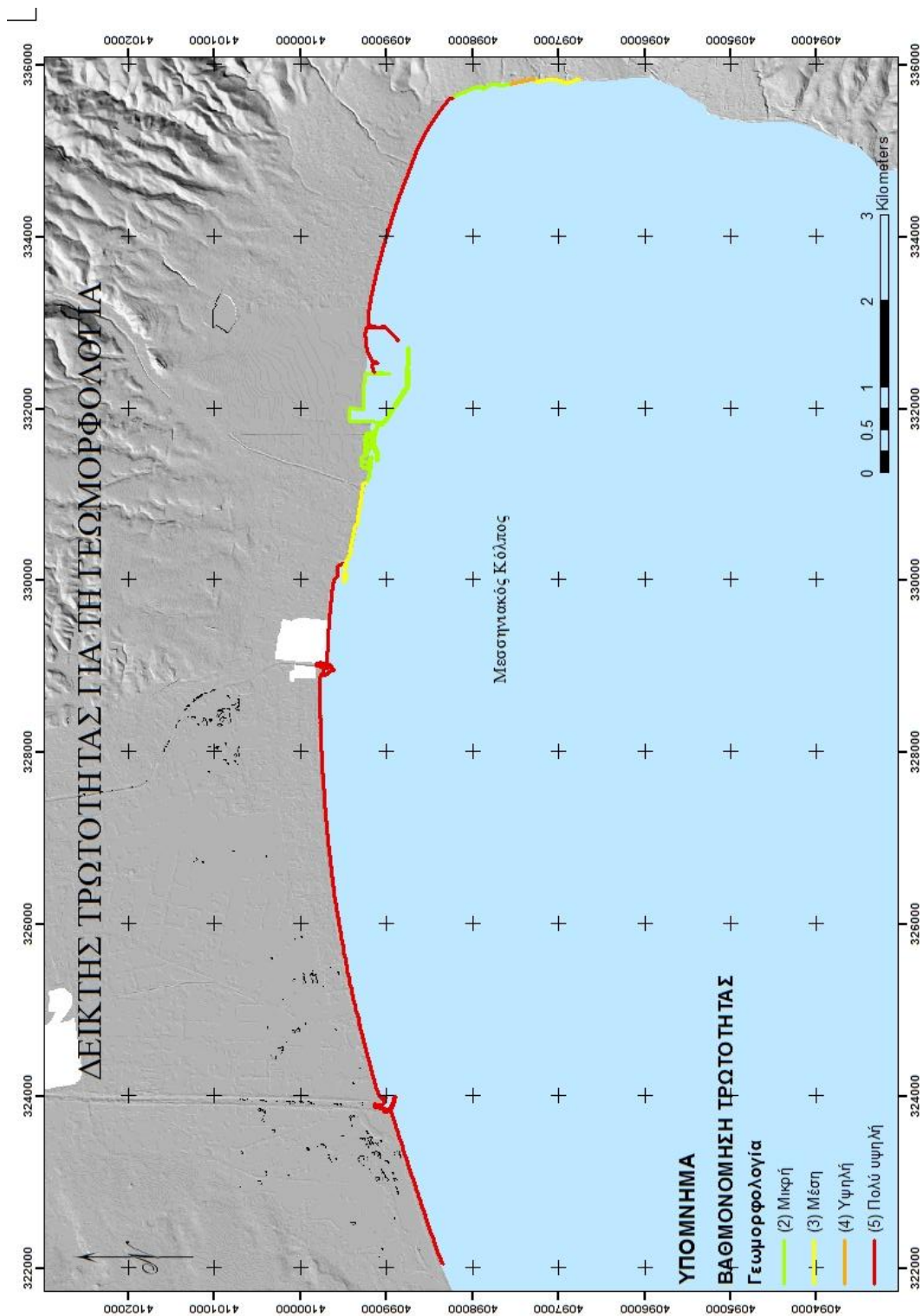
Για την καταγραφή των παράκτιων γεωμορφών κατά μήκος της ακτογραμμής της περιοχής μελέτης πραγματοποιήθηκε υπαίθρια γεωμορφολογική χαρτογράφηση στην περιοχή μελέτης.

Στον πίνακα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι παράκτιες γεωμορφές που εντοπίστηκαν στην περιοχή μελέτης, ύστερα από προσωπική κατηγοριοποίηση.

Τρωτότητα	Πολύ μικρή (1)	Μικρή (2)	Μέση (3)	Υψηλή (4)	Πολύ υψηλή (5)
Γεωμορφολογία		Χαμηλοί παράκτιοι κρημνοί	Βραχώδεις παραλίες	Χαλικώδης αιγιαλοί	Αμμώδης αιγιαλοί / εκβολικά συστήματα
Μήκος (χλμ.)		6,964581	1,949962	0,290121	14,66462
Μήκος (%)		29,17%	8,16%	1,21%	61,43%

Πίνακας 5: Βαθμονόμηση της τρωτότητας για την παράμετρο της γεωμορφολογίας στην περιοχή μελέτης.

Από το χάρτη της τρωτότητας για τη γεωμορφολογία διαπιστώνεται πως η μεγαλύτερη έκταση (61,43%) της περιοχής χαρακτηρίζεται πολύ υψηλή τρωτότητα, αφού αποτελείται από παραλίες με αμμώδη σύσταση. Το μικρότερο ποσοστό κάλυψης καταλαμβάνουν οι χαλικώδεις αιγιαλοί, οι οποίοι ανήκουν στην κατηγορία τρωτότητας 4 (υψηλή τρωτότητα). Η κατηγορία με την πολύ μικρή τρωτότητα δεν εμφανίζεται στις γεωμορφές της περιοχής μελέτης.



Χάρτης 10: Δείκτης τρωτότητας για την παράμετρο που αφορά στη γεωμορφολογία.

5.1.2. Παράμετρος παράκτιας κλίσης

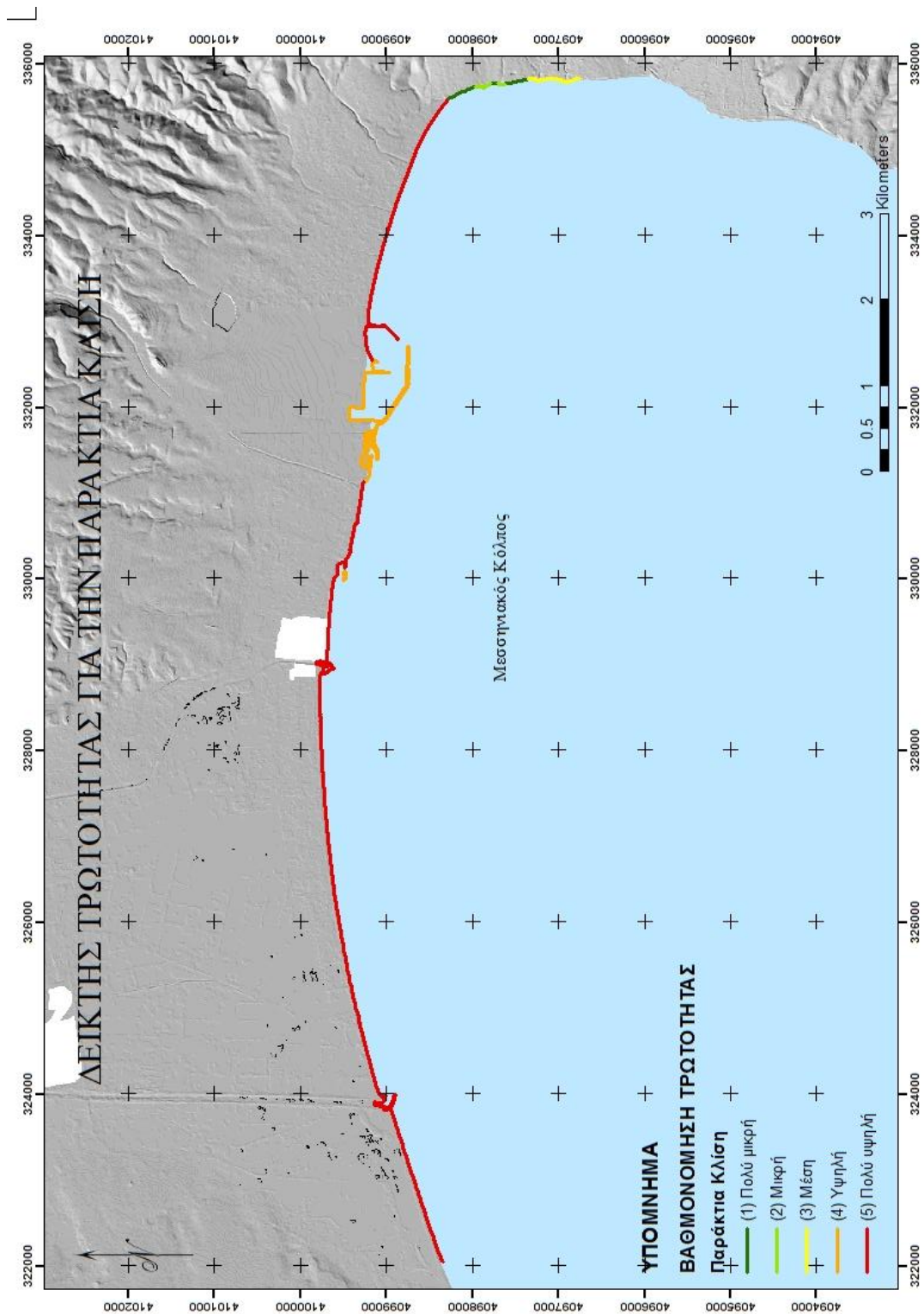
Οι παράκτιες περιοχές ήπιας κλίσης διαβρώνονται πιο εύκολα από ότι εκείνες μεγαλύτερης κλίσης. Αυτό συμβαίνει λόγω της δράσης φυσικών διεργασιών και ανθρώπινων δραστηριοτήτων που εκτείνονται σε τέτοιες περιοχές. Ο κυματισμός και οι παλίρροιες διαβρώνουν πιο εύκολα μια ακτή μικρής κλίσης και επιπλέον, οι άνθρωποι επιλέγουν την εγκατάσταση οικισμών και άλλων δραστηριοτήτων (κυρίως τουριστικών) πολύ κοντά στην ακτή.

Η κλίση της παράκτιας ζώνης υπολογίστηκε από το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM), τα δεδομένα για την κατασκευή του οποίου αντλήθηκαν από τη βυθομετρική κάλυψη του θαλάσσιου πυθμένα. Όπως φαίνεται και στον πίνακα που ακολουθεί, οι κλίσεις του αναγλύφου χωρίστηκαν σε τέσσερις κατηγορίες και έλαβαν τιμές τρωτότητας από 1 (πολύ μικρή τρωτότητα) έως 5 (πολύ υψηλή τρωτότητα). Η κατηγοριοποίηση έγινε βάση των ορίων τρωτότητας κατά Pendleton et al. (Pendleton et al., 2004).

Τρωτότητα	Πολύ μικρή (1)	Μικρή (2)	Μέση (3)	Υψηλή (4)	Πολύ υψηλή (5)
Παράκτια κλίση (%)	>1,20	1,20 – 0,90	0,90 – 0,60	0,60 – 0,30	<0,30
Μήκος (χλμ.)	0,741448	0,291837	0,621769	6,710418	15,503813
Μήκος (%)	3,10%	1,22%	2,60%	28,11%	64,95%

Πίνακας 6: Βαθμονόμηση της τρωτότητας για την παράμετρο της παράκτιας κλίσης στην περιοχή μελέτης.

Όπως φαίνεται στο χάρτη που απεικονίζει την τρωτότητα της παράκτιας ζώνης με βάση την κλίση, το μεγαλύτερο ποσοστό ανήκει στην κατηγορία με την υψηλότερη τρωτότητα με ποσοστό 64,95%, που αντιστοιχεί σε κλίση < 0,30% και χωρικά εντοπίζεται στο δυτικό αλλά και ανατολικό μέρος της περιοχής μελέτης, όπου βρίσκονται οι παραλίες. Οι κλίσεις 0,60% – 0,30% καταλαμβάνουν το 28,11% του μήκους της παράκτιας ζώνης και ανήκουν στην κατηγορία τρωτότητας 4. Οι περιοχές που ανήκουν στις κατηγορίες 1, 2, 3 καταλαμβάνουν ποσοστό 3,10%, 1,22%, 2,60% αντίστοιχα και εντοπίζονται στο ανατολικότερο τμήμα της περιοχής μελέτης, όπου υπάρχουν χαμηλοί παράκτιοι κρημνοί.



Χάρτης 11: Δείκτης τρωτότητας για την παράμετρο που αφορά στην παράκτια κλίση.

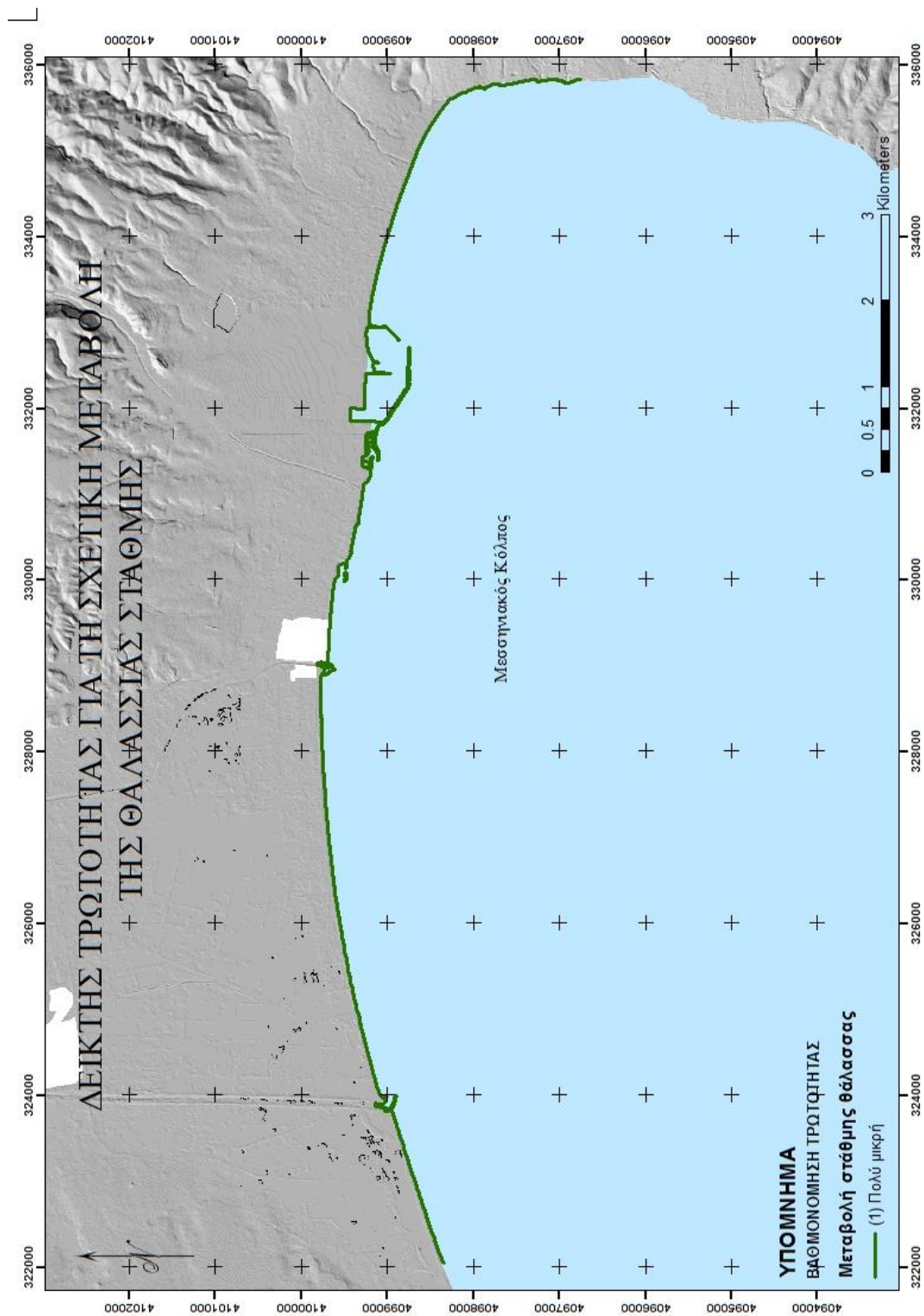
5.1.3. Παράμετρος σχετικής μεταβολής θαλάσσιας στάθμης

Οι παράγοντες που συμβάλλουν στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας είναι ο ευστατισμός, ο τεκτονισμός και η ισοστασία. Σύμφωνα με την IPCC, η παγκόσμια μέση στάθμη της θάλασσας αυξάνεται περίπου κατά 1,7 χιλιοστά το χρόνο.

Η περιοχή μελέτης δεν ανήκει στις περιοχές που επηρεάζονται από τα φαινόμενα που προαναφέρθηκαν και για αυτό το λόγο θεωρήθηκε πως η άνοδος της στάθμης της θάλασσας θα είναι σταθερή στα 1,7 χιλιοστά σε όλη την έκτασή της.

Τρωτότητα	Πολύ μικρή (1)	Μικρή (2)	Μέση (3)	Υψηλή (4)	Πολύ υψηλή (5)
Σχετική μεταβολή της στάθμης της θάλασσας (mm/έτος)	<18,8	1,8 – 2,5	2,5 – 3,0	3,0 – 3,4	>3,4
Μήκος (χλμ.)	23,869285				
Μήκος (%)	100				

Πίνακας 7: Βαθμονόμηση της τρωτότητας για την παράμετρο της σχετικής μεταβολής της στάθμης της θάλασσας στην περιοχή μελέτης.



Χάρτης 12: Δείκτης τρωτότητας για την παράμετρο που αφορά στη σχετική μεταβολή της στάθμης της θάλασσας.

5.1.4. Παράμετρος προέλασης/υποχώρησης ακτογραμμής

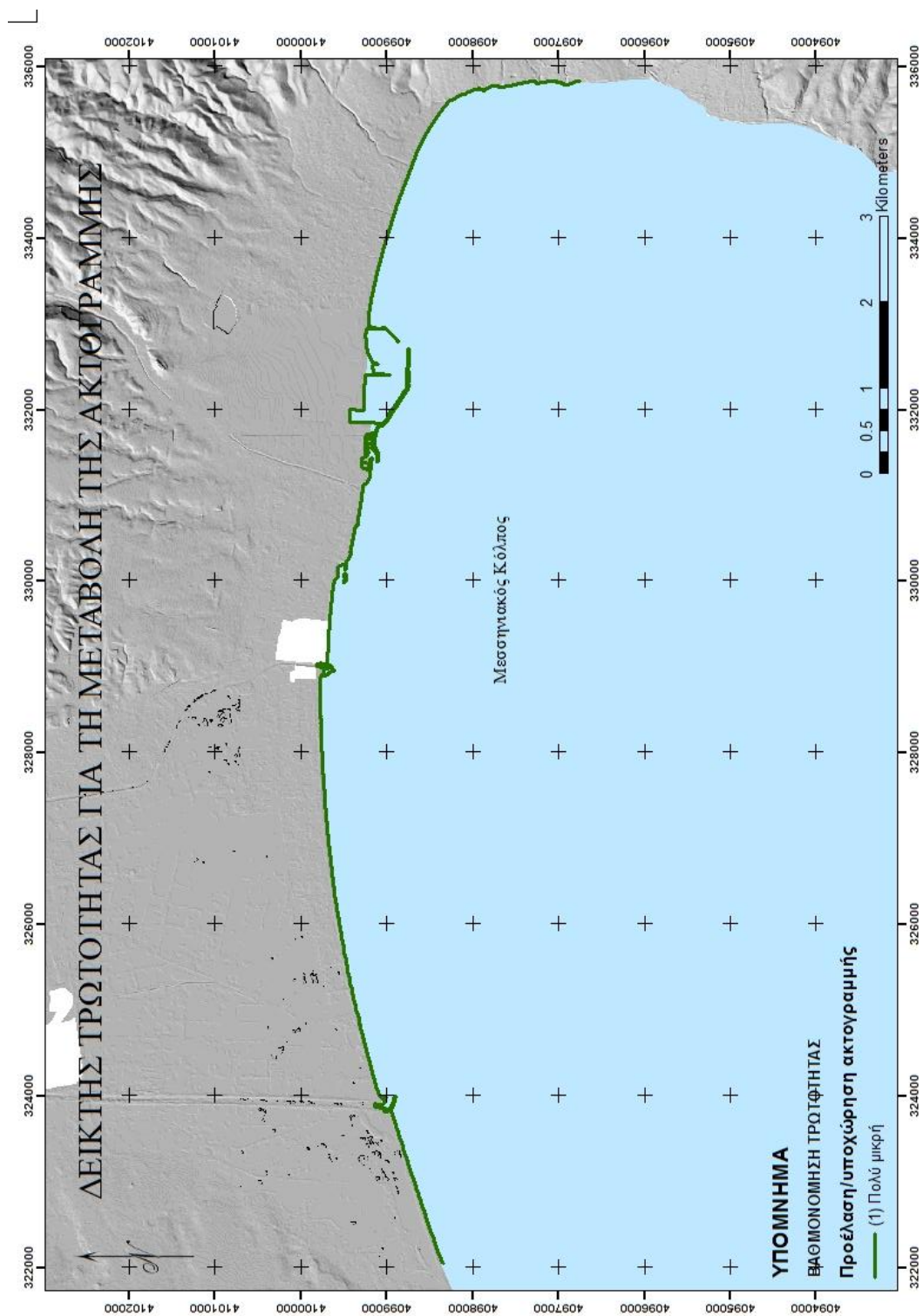
Η διάβρωση των ακτών είναι από τα σημαντικότερα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι παράκτιες περιοχές ανά τον κόσμο. Το φαινόμενο είναι πιο εμφανές σε παράκτιες κατοικημένες περιοχές, όπου έχει εγκατασταθεί και αναπτύξει τις δραστηριότητές του ο άνθρωπος.

Για τον προσδιορισμό της οριζόντιας προέλασης ή οπισθοχώρησης της ακτογραμμής, έγινε συγκριτική παρατήρηση των τοπογραφικών διαγραμμάτων της ΓΥΣ (1977) και των δορυφορικών εικόνων του Google Earth (2013). Ψηφιοποιήθηκαν οι ακτογραμμές των δύο χρονολογιών και μετρήθηκε η μεταβολή της ακτογραμμής στο διάστημα των 34 ετών και στο τέλος υπολογίστηκε ο μέσος ετήσιος ρυθμός μεταβολής.

Ο μέσος ετήσιος ρυθμός μεταβολής για τις ακτές της περιοχής μελέτης είναι 6,75 μ./έτος και ανήκουν στην κατηγορία της πολύ μικρής τρωτότητας.

Τρωτότητα	Πολύ μικρή (1)	Μικρή (2)	Μέση (3)	Υψηλή (4)	Πολύ υψηλή (5)
Προέλαση/υποχώρηση ακτογραμμής (μ./ έτος)	>2,0	1,0 – 2,0	(-1,0) – 1,0	(-2,0) – (-1,0)	<-2,0
Μήκος (χλμ.)	23,869285				
Μήκος (%)	100				

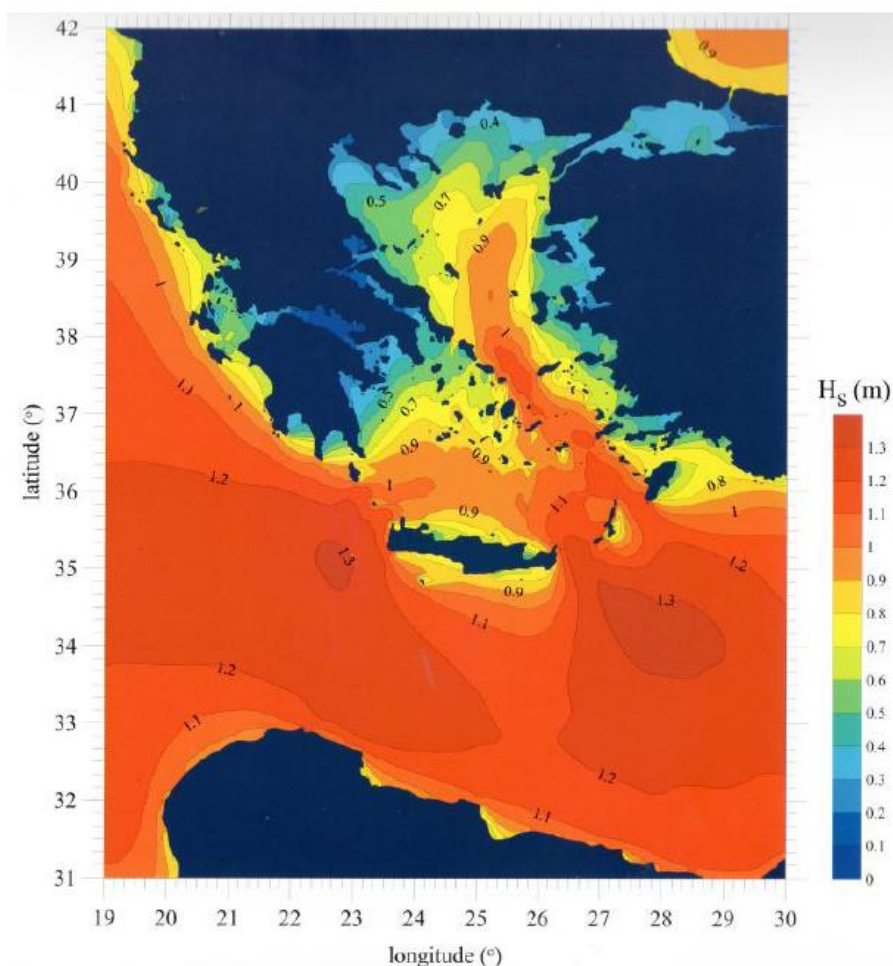
Πίνακας 8: Βαθμονόμηση της τρωτότητας για την παράμετρο της υποχώρησης/προέλασης της ακτογραμμής στην περιοχή μελέτης.



Χάρτης 13: Δείκτης τρωτότητας για την παράμετρο που αφορά στη μεταβολή της ακτογραμμής.

5.1.5. Παράμετρος μέσου σημαντικού ύψους κύματος

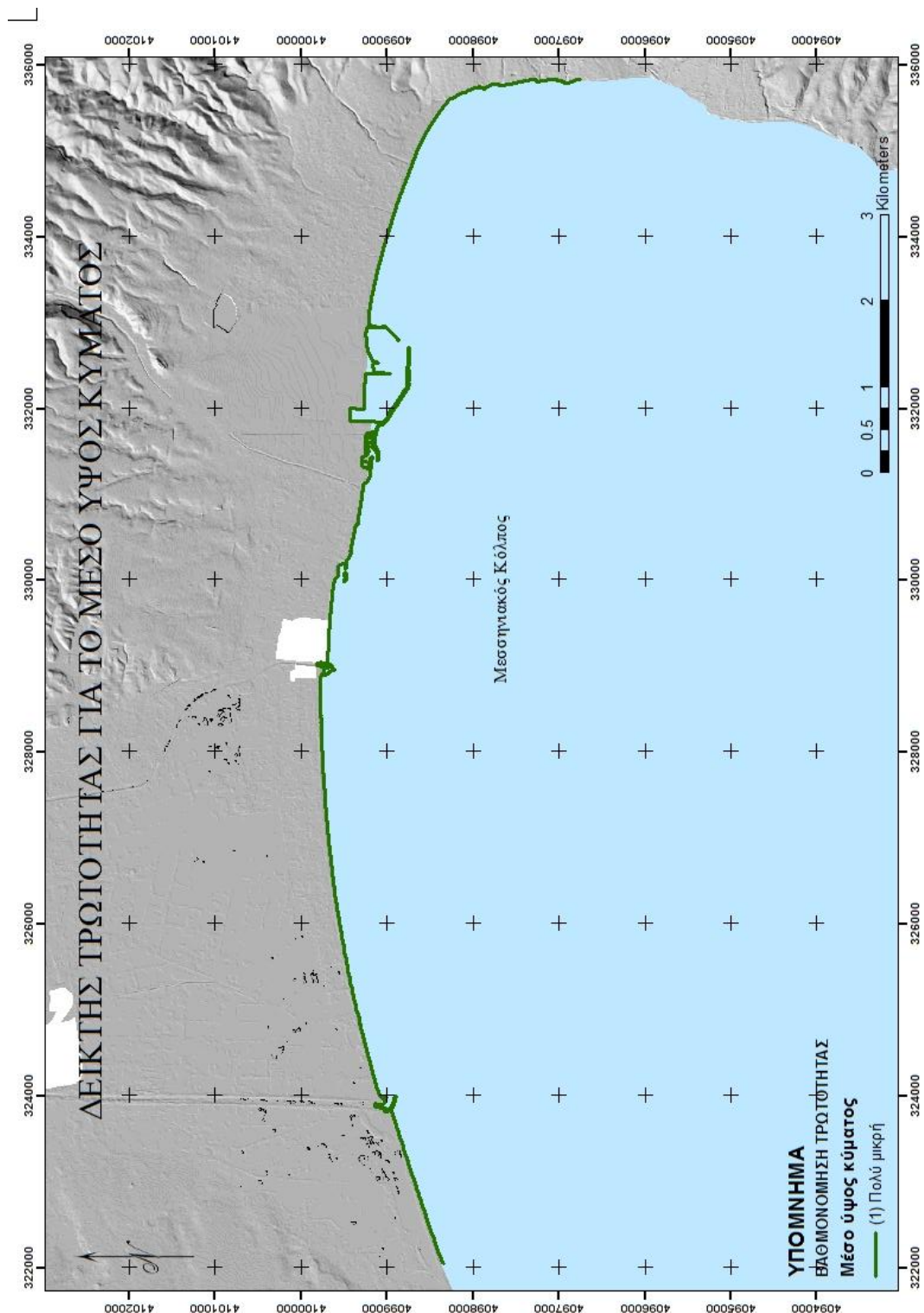
Σύμφωνα με τον Άτλαντα Ανέμου και Κύματος των Ελληνικών Θαλασσών, του ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. (εικόνα 26), η περιοχή μελέτης ανήκει στην κατηγορία των 0,3 μ. και παρουσιάζει πολύ μικρή τρωτότητα.



Εικόνα 26: Κατανομή μέσου ύψους κύματος στον ελληνικό και ευρύτερο θαλάσσιο χώρο. Πηγή: Άτλαντας Ανέμου και Κύματος Ελληνικών Θαλασσών, 2007.

Τρωτότητα	Πολύ μικρή (1)	Μικρή (2)	Μέση (3)	Υψηλή (4)	Πολύ υψηλή (5)
Μέσο ύψος κύματος (μ.)	<0,55	0,55 – 0,85	0,85 – 1,5	1,05 – 1,25	>1,25
Μήκος (χλμ.)	23,869285				
Μήκος (%)	100				

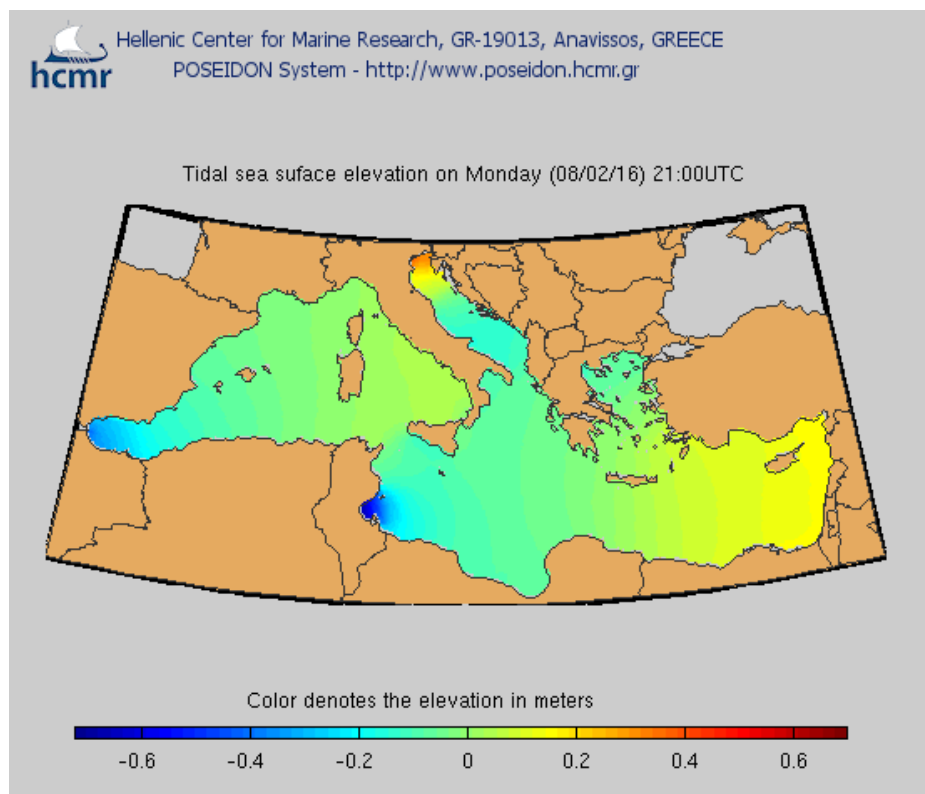
Πίνακας 9: Βαθμονόμηση της τρωτότητας για την παράμετρο του μέσου ύψους κύματος στην περιοχή μελέτης.



Χάρτης 14: Δείκτης τρωτότητας για την παράμετρο που αφορά στο μέσο ύψος κύματος.

5.1.6. Παράμετρος μέσου παλιρροιακού εύρους

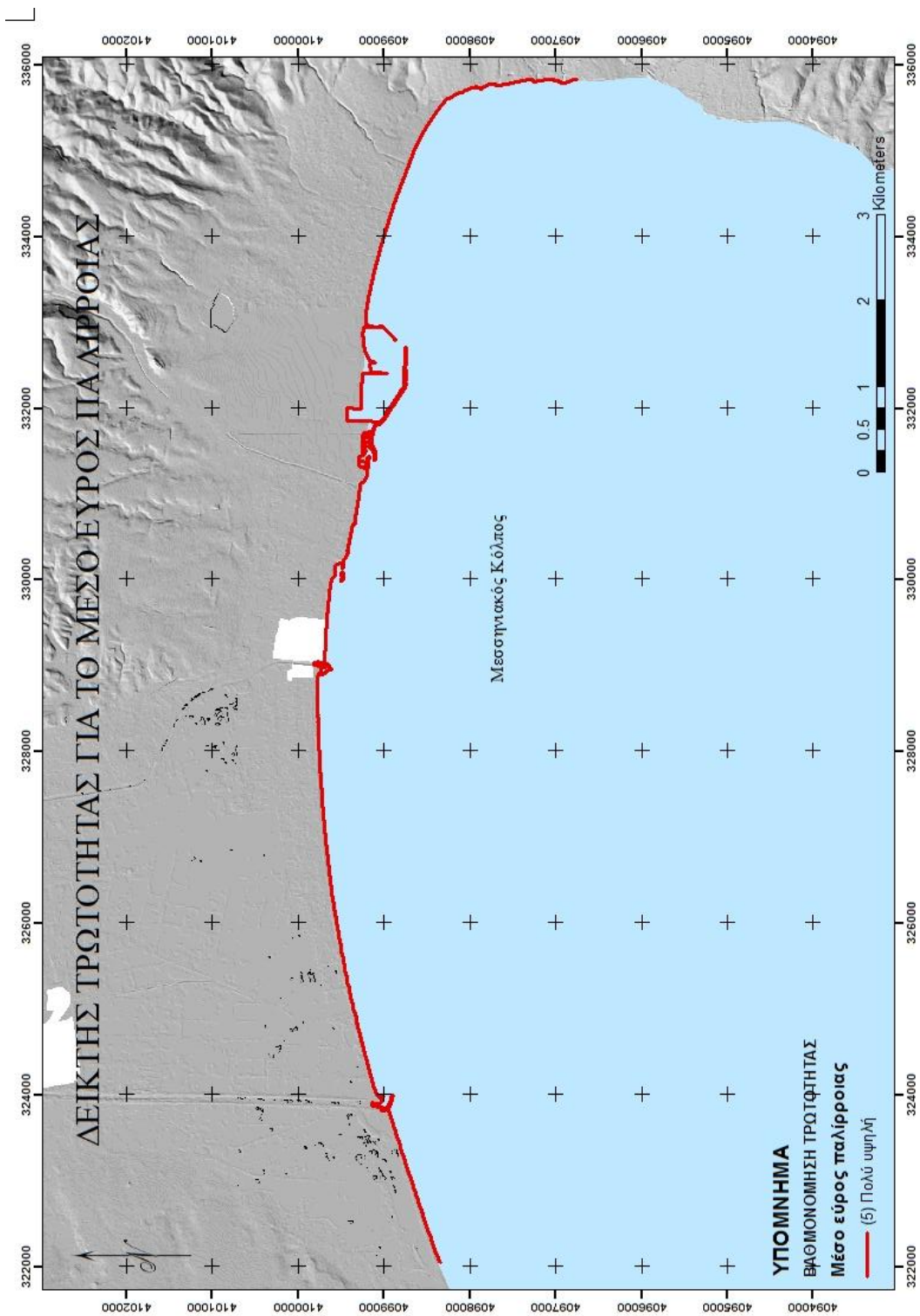
Σύμφωνα με το σύστημα Ποσειδών του Ελληνικού Κέντρου Θαλάσσιων Ερευνών (ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε.), η μέση τιμή του παλιρροιακού εύρους της περιοχής μελέτης είναι 0,5 μ. (εικόνα 27) κι ανήκει στην πέμπτη κατηγορία της τρωτότητας.



Εικόνα 27: Μέσο παλιρροιακό εύρος Μεσογείου. Πηγή: http://www.poseidon.hcmr.gr/sealevel_forecast_gr.php

Τρωτότητα	Πολύ μικρή (1)	Μικρή (2)	Μέση (3)	Υψηλή (4)	Πολύ υψηλή (5)
Μέσο εύρος παλίρροιας (μ.)	>6,0	4,0 – 6,0	2,0 – 4,0	1,0 – 2,0	<1,0
Μήκος (χλμ.)					23,869285
Μήκος (%)					100

Πίνακας 10: Βαθμονόμηση της τρωτότητας για την παράμετρο του μέσου παλιρροιακού εύρους στην περιοχή μελέτης.



Χάρτης 15: Δείκτης τρωτότητας για την παράμετρο που αφορά στο μέσο εύρος παλίρροιας.

5.1.7. Υπολογισμός Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας

Για τον υπολογισμό του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας, χρησιμοποιήθηκε η εντολή Field Calculator του προγράμματος ArcMap και ενώθηκαν όλα τα επίπεδα με τις επιμέρους μεταβλητές που υπολογίστηκαν σε ένα νέο επίπεδο.

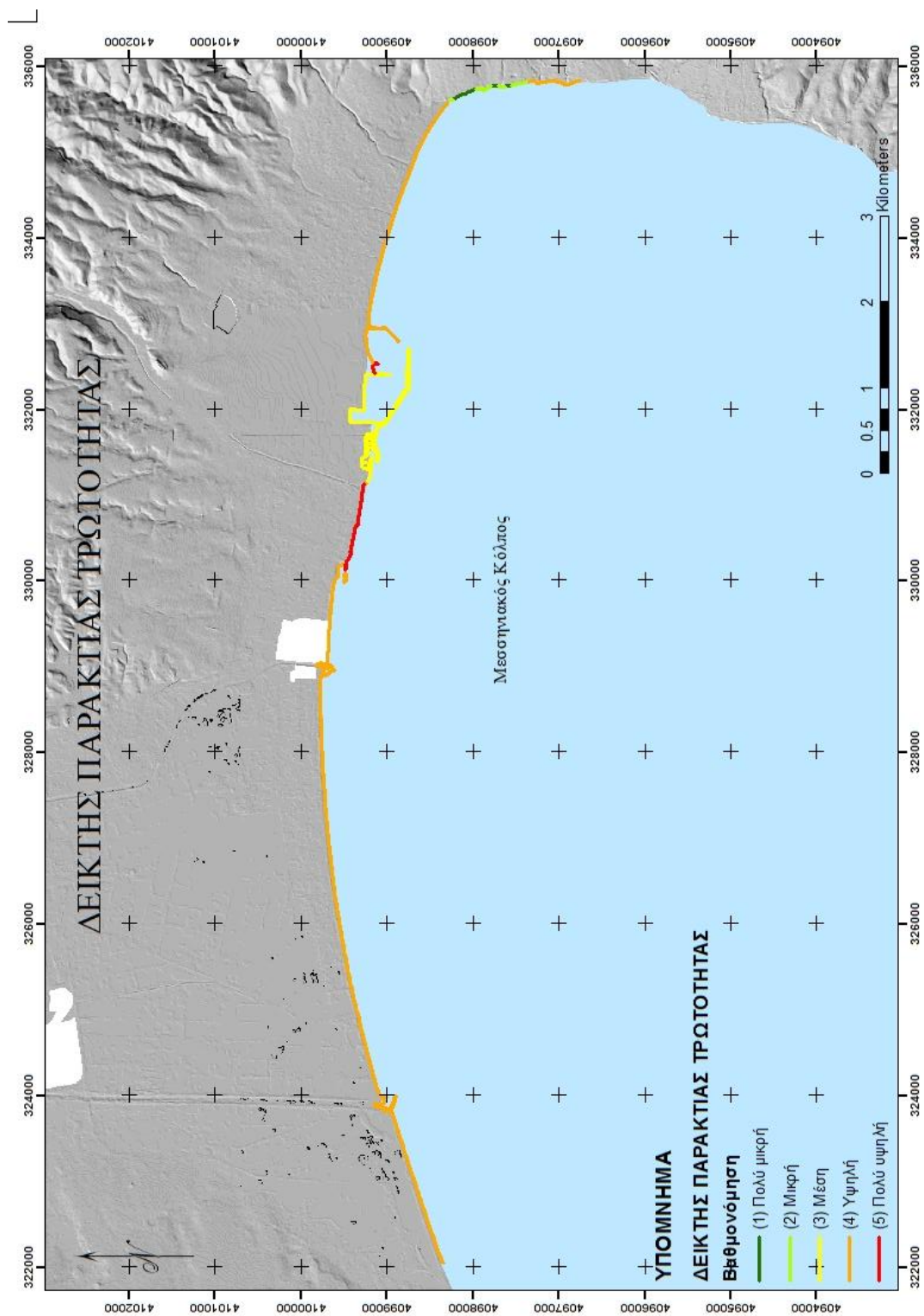
Ο πίνακας που ακολουθεί παρουσιάζει τις σχετικές τιμές του δείκτη παράκτιας τρωτότητας για την περιοχή μελέτη.

Τρωτότητα	Πολύ μικρή (1)	Μικρή (2)	Μέση (3)	Υψηλή (4)	Πολύ υψηλή (5)
Δείκτης Παράκτιας Επικινδυνότητας	<1,4	1,4 - 2	2 – 2,8	2,8 – 3,4	3,4 – 4,58
Μήκος (χλμ.)	0,4856605	0,54768	6,18714	15,2551163	1,393697
Μήκος (%)	2,03%	2,29%	25,92%	63,91%	5,83%

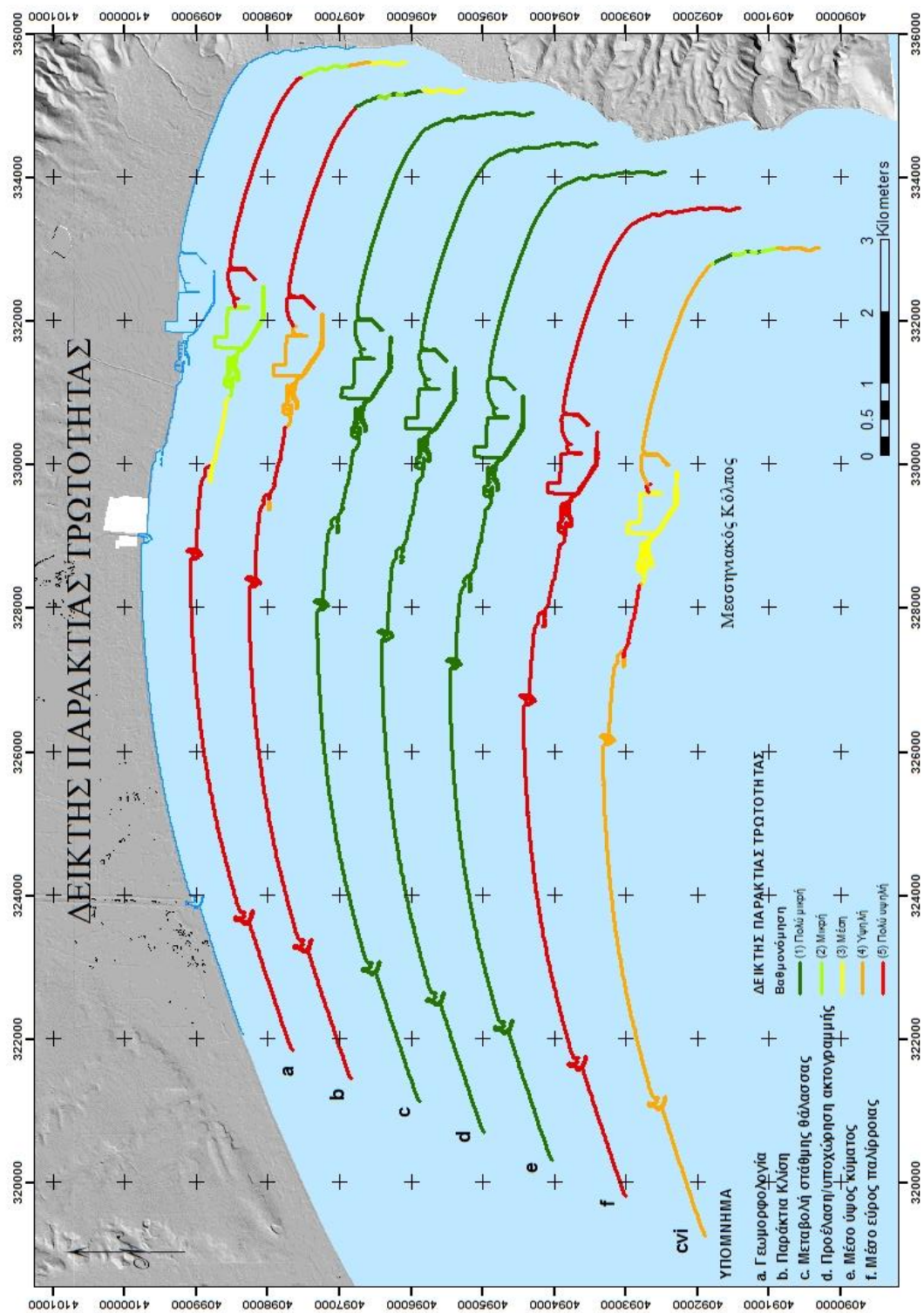
Πίνακας 11: Βαθμονόμηση του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας για την περιοχή μελέτη.

Όπως φαίνεται στο χάρτη παράκτιας τρωτότητας (χάρτης 16), οι περιοχές με μικρή τρωτότητα (κατηγορίες 1 και 2), εντοπίζονται γεωγραφικά στο ανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης, γιατί εκεί η κλίση του αναγλύφου και η σύσταση των γεωμορφών (παράκτιοι κρημνοί μικρής κλίσης) εμποδίζουν τη θαλάσσια δράση. Το υπόλοιπο τμήμα της ακτογραμμής, εκτός από το λιμάνι και τη Μαρίνα της πόλης, παρουσιάζει υψηλή τρωτότητα (κατηγορία 4) και καταλαμβάνει έκταση 15,25 χλμ.

Εφαρμόζοντας το δείκτη παράκτιας τρωτότητας, συμπεραίνεται εύκολα πως οι μεταβλητές που επηρεάζουν περισσότερο από όλες το αποτέλεσμα, είναι αυτές της γεωμορφολογίας και της παράκτιας κλίσης. Αυτό συνέβη επειδή για την περιοχή μελέτης οι μεταβλητές που αφορούν στη σχετική μεταβολή της στάθμης της θάλασσας, στην προέλαση/υποχώρηση της ακτογραμμής, στο μέσο σημαντικό ύψος κύματος και στο μέσο παλιρροιακό εύρος ήταν σταθερές για όλη την έκταση της ακτογραμμής. Αντίθετα, οι μεταβλητές που αφορούν στους γεωλογικούς παράγοντες (γεωμορφολογία και παράκτια κλίση), παρουσιάζουν έντονες διαφοροποιήσεις κατά μήκος της ακτογραμμής (χάρτης 17).



Χάρτης 16: Δείκτης παράκτιας τρωτότητας για την περιοχή μελέτης.



Χάρτης 17: Δείκτης παράκτιας τρωτότητας για την περιοχή μελέτης σε σχέση με την κάθε μεταβλητή που υπολογίστηκε.

5.2. ΣΥΝΙΣΤΩΜΕΝΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ

Για την αντιμετώπιση της διάβρωσης των παράκτιων περιοχών προτείνονται έργα σκληρών λύσεων ή πιο ήπιων εφαρμογών. Οι σκληρές λύσεις περιλαμβάνουν τεχνικές κατασκευές παράλληλες προς την ακτογραμμή ή εγκάρσιες και στην ουσία επιχειρείται η σταθεροποίηση της δυναμικής της παράκτιας ζώνης. Αντίθετα, με την επιλογή πιο ήπιων μεθόδων γίνεται προσπάθεια μίμησης των φυσικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στην παράκτια περιοχή.

Στις σκληρές λύσεις προστασίας περιλαμβάνονται παράλληλες και εγκάρσιες κατασκευές. Παράλληλα στην ακτογραμμή είναι τα έργα, ο διαμήκης άξονας των οποίων είναι παράλληλος στην ακτογραμμή και τοποθετούνται είτε σε απόσταση από την ακτογραμμή ή στο μέτωπο αυτής (Ούρλογλου, 2009).

Οι τοίχοι προστασίας των ακτών (seawalls) είναι έργο θωράκισης του μετώπου της ακτής και κατασκευάζεται για την αποφυγή της δράσης της διάβρωσης σε δρόμους και κτίρια. Η λύση αυτή δεν προτείνεται καθώς τα προβλήματα που προσπαθεί να αντιμετωπίσει, στην ουσία πολλαπλασιάζονται (Καρύμπαλης, 2010).

Οι κυματοθραύστες (breakwaters) κατασκευάζονται γραμμικά, σε απόσταση από την ακτογραμμή. Εμποδίζουν την κυματική ενέργεια, δημιουργώντας έτσι προέλαση της ακτογραμμής, εμποδίζοντας όμως την κυκλοφορία του ιζήματος με αποτέλεσμα την κατακράτηση του ιζήματος στην εξωτερική πλευρά τους. Για την αποφυγή του φραγμού του θαλάσσιου πυθμένα, οι κυματοθραύστες κατασκευάζονται είτε βυθισμένοι είτε σε απόσταση μεταξύ τους (Κουτίτας, 1998).



Εικόνα 28: Κυματοθραύστης στην περιοχή Αρχοντικό Αβίας, ανατολική Μεσσηνία. Πηγή: Προσωπικό αρχείο.



Εικόνα 29: Κυματοθραύστης στη Δυτική Παραλία Καλαμάτας. Πηγή: Προσωπικό αρχείο.

Οι πρόβολοι (groins) ή βραχίονες είναι έργα, ο διαμήκης άξονας των οποίων είναι κάθετος στην ακτογραμμή. Η κατασκευή των προβόλων έχει άμεση επίδραση στο φορτίο του πυθμένα. Στη μια πλευρά του βραχίονα το ίζημα αποτίθεται, ενώ ταυτόχρονα στην άλλη το νερό διαβρώνει την ακτή, αφού το παράκτιο ρεύμα έχει απαλλαγεί από το ίζημα (Κουτίτας, 1998).



Εικόνα 30: Ζεύγη προβόλων στην περιοχή Ακρογιάλι, ανατολική Μεσσηνία. Πηγή: Προσωπικό αρχείο



Εικόνα 31: Πρόβολος στην περιοχή Αρχοντικό Αβίας, ανατολική Μεσσηνία. Πηγή: Προσωπικό αρχείο.

Στις ήπιες λύσεις προστασίας των ακτών από τη διάβρωση ανήκει η τεχνητή τροφοδοσία της ακτής με ίζημα (beach nourishment). Η αναπλήρωση της ακτής αποτελεί μια σύγχρονη μέθοδο, στην οποία επιτυγχάνεται η τροφοδοσία της ακτής με άμμο, συνήθως από τον πυθμένα. Θεωρείται μία πολυέξοδη και μη μόνιμη διαδικασία, καθώς η άμμος απομακρύνεται με γρήγορους ρυθμούς, αν το έργο δε συνοδεύεται και από άλλα τεχνητά έργα που να βοηθούν τον εγκλωβισμό των ποσοτήτων άμμου που μεταφέρθηκαν (Ούρλογλου, 2009).

Για την περιοχή μελέτης προτείνεται η κατασκευή βυθισμένων κυματοθραυστών ή κυματοθραύστες σε απόσταση μεταξύ τους. Η κατασκευή γίνεται από λιθορριπή και ογκόλιθους ή και σκυρόδεμα, κοντά στην ακτογραμμή και υποθαλάσσια, ελέγχοντας έτσι την κυματική ενέργεια που φτάνει στην ακτογραμμή και επιτρέποντας την ελεύθερη κυκλοφορία του νερού. Η παρουσία τους μειώνει τη διαβρωτική δράση των κυμάτων και σταδιακά σταθεροποιείται η ακτογραμμή (Ούρλογλου, 2009).

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα εργασία εστίασε στη γεωμορφολογική αποτύπωση του χερσαίου και υποθαλάσσιου τμήματος του παράκτιου χώρου της πόλης της Καλαμάτας, με σκοπό τη διερεύνηση της δυναμικής των ακτών και επιπλέον, την ανάδειξη της τρωτότητας τους σε μια μελλοντική άνοδο της στάθμης της θάλασσας.

Για την αποτύπωση της μορφολογίας της παράκτιας ζώνης κατασκευάστηκαν έξι τομές στο χερσαίο και υποθαλάσσιο τμήμα της και συλλέχθηκαν ιζήματα σε όλο το μήκος τους. Από τις τομές φαίνεται πως ο παράκτιος χώρος αποτελείται από ήπιες κλίσεις με μικρές υψομετρικές διαφορές και χαλαρά ιζήματα.

Η κοκκομετρική ανάλυση των 11 χερσαίων και 15 υποθαλάσσιων ιζημάτων πραγματοποιήθηκε ώστε να εξαχθούν πληροφορίες σχετικά με την υφή της παραλίας και του πυθμένα. Τα χερσαία ιζήματα αποτελούνται κυρίως από χονδρόκοκκα υλικά (κροκάλα και άμμος). Τα δείγματα που πάρθηκαν από τον πυθμένα, αποτελούνται από χαλαρά ιζήματα, άμμο και ιλύαργιλο.

Από τη σάρωση του πυθμένα και την επιτόπια έρευνα, συλλέχθηκαν τα απαραίτητα δεδομένα για την αποτύπωση της βαθυμετρίας, των κλίσεων και των ενδιαιτημάτων του πυθμένα. Ο πυθμένας χαρακτηρίζεται από ήπιες κλίσεις, οι οποίες αυξάνονται προς την ανοιχτή θάλασσα. Οι μέγιστες τιμές εντοπίζονται στην εξωτερική πλευρά του μεγάλου λιμενοβραχίονα (χιλιόμετρο) του λιμανιού της Καλαμάτας και στο ανατολικό τμήμα του κόλπου. Τα βάθη της περιοχής είναι σχετικά μικρά, με μέγιστο βάθος στα 40 μ., το οποίο απαντάται στο κέντρο του πυθμένα, στη νοητή ευθεία από το λιμάνι προς την ανοιχτή θάλασσα. Οι ήπιες κλίσεις του πυθμένα και τα μικρά βάθη, οφείλονται στα φερτά υλικά που εναποθέτουν τα υδρογραφικά δίκτυα της περιοχής, τα οποία εκβάλλουν στο δυτικό τμήμα της παράκτιας ζώνης της περιοχής μελέτης. Αυτό εξηγεί το γεγονός πως ο δυτικός πυθμένας αποτελείται από μικρότερα βάθη από τον ανατολικό.

Το ρηχό θαλάσσιο τμήμα της παράκτιας περιοχής καλύπτεται από άμμο. Η ύπαρξη Ποσειδωνίας υποδηλώνει την καλή ποιοτική κατάσταση των νερών του κόλπου και το χαμηλό υδροδυναμικό καθεστώς που επικρατεί στην περιοχή. Συστάδες Ποσειδωνίας αναπτύσσονται από πολύ μικρά βάθη (3,2 μ.), ενώ σε μεγαλύτερα βάθη

αναπτύσσονται πυκνά λιβάδια. Μετά το βάθος των 20 μ. ο θαλάσσιος πυθμένας αποτελείται από ιλυαργιλώδη υλικά.

Η τρωτότητα των ακτών σε μια ενδεχόμενη μελλοντική άνοδο της στάθμης της θάλασσας εκτιμήθηκε με το συνυπολογισμό έξι παραμέτρων, οι οποίες είναι η γεωμορφολογία της παράκτιας ζώνης, η παράκτια κλίση, η σχετική μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης, η προέλαση ή υποχώρηση της ακτογραμμής, το μέσο ύψος κύματος και το μέσο εύρος παλίρροιας.

Η γεωμορφολογία και η παράκτια κλίση είναι οι δύο φυσικοί παράγοντες που επηρεάζουν την τελική τιμή του δείκτη παράκτιας τρωτότητας περισσότερο από όλες. Οι τιμές των υπόλοιπων μεταβλητών παραμένουν σταθερές για όλο το μήκος της ακτογραμμής μελέτης.

Ο δείκτης λαμβάνει τιμές στο διάστημα 1,4 – 4,58. Από τα συνολικά 23,87 περίπου χιλιόμετρα της ακτογραμμής μελέτης, τα 15,25 χλμ. παρουσιάζουν υψηλή επικινδυνότητα και αποτελούν το σύνολο των παραλιών κολύμβησης, τόσο στην ανατολική όσο και στη δυτική πλευρά της πόλης. Αυτά τα τμήματα της ακτογραμμής παρουσιάζουν υψηλή τρωτότητα, λόγω της μικρής κλίσης των παραλιών και των χαλαρών ιζημάτων, από τα οποία αποτελούνται. Για την αντιμετώπιση της παράκτιας διάβρωσης στην περιοχή μελέτης προτείνονται οι βυθισμένοι κυματοθραύστες, οι οποίοι σταδιακά θα σταθεροποιήσουν την ακτογραμμή.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική

Γαλύφας Ι., Παπαευσταθίου Α. (2008), *Παραλιακό μέτωπο Καλαμάτας. Προτάσεις αναβάθμισης της Δυτικής παραλιακής ζώνης κα πιθανής λειτουργικής ενοποίησης με το πλέον ανεπτυγμένο ανατολικό τμήμα*, Διπλωματική εργασία, Τμήμα Πολιτικών Δομικών Έργων, ΑΤΕΙ Πειραιά.

Ελληνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών (2007), *Ατλαντας Ανέμου και Κύματος των Ελληνικών Θαλασσών*, Αθήνα: ΕΛ.ΚΕ.ΘΕ.

Καμπόλης Ι. (2007), *Γεωμορφολογική μελέτη του υποθαλασσίου καρστικού συστήματος, του υπογείου ποταμού «Δράκος», Μεσσηνιακής Μάνης*, Διπλωματική εργασία, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο.

Καρύμπαλης Ε. (2010), *Παράκτια γεωμορφολογία*, Αθήνα: Εκδόσεις ‘ΙΩΝ’.

Κουτίτας Χ. (1998), *Εισαγωγή στην παράκτια τεχνική και τα λιμενικά έργα*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις ΖΗΤΗ.

Κώτσιαρη Α.Χ. (2012), *Γεωμορφολογική Μελέτη της Λεκάνης Απορροής του Ποταμού Νέδοντα (Νομός Μεσσηνίας - Πελοπόννησος)*, Πτυχιακή εργασία, Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο.

Λεβέντης Π. (2015), *Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά και Περιβαλλοντικός Δείκτης Ευαισθησίας σε πετρελαϊκή ρύπανση των παραλιών της νήσου Ίου*, Πτυχιακή εργασία, Τμήμα γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο.

Μανταγάρης Α. (2008), *Περιφερειακή μελέτη νομού Μεσσηνίας*, Διπλωματική εργασία, Τμήμα Οργάνωσης και Διοίκησης Επιχειρήσεων, Πανεπιστήμιο Πειραιά.

Ουρλόγλου Ο. (2009), *Παράκτια διάβρωση και εφαρμογή στο δήμο Αλυκών Ζακύνθου*, Διπλωματική εργασία, Διεπιστημονικό - Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Επιστήμη και τεχνολογία υδατικών πόρων», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Παπανικολάου Δ. (2015), *Γεωλογία της Ελλάδας*, Αθήνα: Εκδόσεις ΠΑΤΑΚΗΣ.

Παπανικολάου Μ., Παπανικολάου Δ., Βασιλάκης Ε. (2011), *Μεταβολές της στάθμης της θάλασσας και επιπτώσεις στις ακτές*, Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής, Τράπεζα της Ελλάδος.

Παυλόπουλος Κ. (2011), *Γεωμορφολογία - Εφαρμογές στις γεωεπιστήμες*, Αθήνα: Εκδόσεις ‘ΙΩΝ’.

Σαρταμπάκου Α. (2013), *Δείκτης Παράκτιας Επικινδυνότητας. Διερεύνηση της αξιολόγησης των παραμέτρων κινδύνου του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας*, Διπλωματική εργασία, Σχολή αγρονόμων και τοπογράφων μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Ξενόγλωσση

Dimou A., Vassilakis E., Antoniou V., Evelpidou N., «An assessment of the coastal erosion at Marathon East Attica (Greece)».

Gormitz V.M., Daniels R.C., White T.W., Birdwell K.R., «The development of a coastal vulnerability assessment database, Vulnerability to sea-level rise in the U.S. southeast». Journal of Coastal Research, Special Issue, 12 (1994), 327 - 338.

Karymbalis E., Chalkias C., Chalkias G., Grigoropoulou E., Manthos G., Ferentinou M., «Assessment of the Sensitivity of the Southern Coast of the Gulf of Corinth (Peloponnese, Greece) to Sea-level Rise», Central European Journal of Geosciences, 4(4) (2012), 561-577.

Pendleton E.A., Williams S.J., Thieler E.R. (2004), Coastal vulnerability assessment of Assetague Island national seashore (ASIS) to sea-level rise. U.S. Geological Survey Open-File Report 2004-1020, Electronic book.

Πηγές διαδικτύου

Δήμος Καλαμάτας: <http://www.kalamata.gr/>

Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία: http://www.emy.gr/hnms/greek/index_html

Καλογήρου Σ., Σιούλας Α., Corsini – Φωκά Μ., «Ποσειδωνίες, τα υποθαλάσσια δάση μας», Πρόσβαση στο δικτυακό τόπο http://www.oikologos.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=155&Itemid=192 στις 5 Δεκεμβρίου 2015.

Σαλωμίδη Μ., «Ζωή στη θάλασσα. Δάση της θάλασσας.», WWF Factsheet, Πρόσβαση στο δικτυακό τόπο <http://www.wwf.gr/images/pdfs/posidonia-factsheet.pdf> στις 5 Δεκεμβρίου 2015.

Σύστημα Ποσειδών, Ελληνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών: http://www.poseidon.hcmr.gr/index_gr.php

Intergovernmental Panel on Climate Change (I.P.C.C.): <http://www.ipcc.ch/>