



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ

ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

**Χαρτογράφηση επιμήκων παραλιακών ράχων (beach ridges) με τη
χρήση Γεωπληροφορικής: Η περίπτωση του Λούρου (Δυτική Στερεά Ελλάδα)**

Πτυχιακή εργασία

Δήμητρα Τζεδάκη

Αθήνα, 2022



HAROKOPIO UNIVERSITY

SCHOOL OF ENVIRONMENT, GEOGRAPHY AND APPLIED
ECONOMICS

DEPARTMENT OF GEOGRAPHY

**Mapping of beach ridges with the use of geoinformatics: The case of
Louros (Western Central Greece)**

Bachelor Thesis

Dimitra Tzedaki

Athens, 2022



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

**ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ
ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ**

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Καρύμπαλης Ευθύμιος (Επιβλέπων)

Καθηγητής, Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Καψιμάλης Βασίλειος

Διευθυντής Ερευνών, Ινστιτούτο Ωκεανογραφίας, ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε.

Τσανάκας Κωνσταντίνος

ΕΔΒΜ, Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Η Τζεδάκη Δήμητρα

δηλώνω υπεύθυνα ότι:

- 1) Είμαι η κάτοχος των πνευματικών δικαιωμάτων της πρωτότυπης αυτής εργασίας και από όσο γνωρίζω η εργασία μου δε συκοφαντεί πρόσωπα, ούτε προσβάλλει τα πνευματικά δικαιώματα τρίτων.
- 2) Αποδέχομαι ότι η ΒΚΠ μπορεί, χωρίς να αλλάξει το περιεχόμενο της εργασίας μου, να τη διαθέσει σε ηλεκτρονική μορφή μέσα από τη ψηφιακή Βιβλιοθήκη της, να την αντιγράψει σε οποιοδήποτε μέσο ή/και σε οποιοδήποτε μορφότυπο καθώς και να κρατά περισσότερα από ένα αντίγραφα για λόγους συντήρησης και ασφάλειας.
- 3) Όπου υφίστανται δικαιώματα άλλων δημιουργών έχουν διασφαλιστεί όλες οι αναγκαίες άδειες χρήσης ενώ το αντίστοιχο υλικό είναι ευδιάκριτο στην υποβληθείσα εργασία.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέποντα καθηγητή μου Ευθύμιο Καρύμπαλη, ο οποίος με την καθοδήγησή του, τις εύστοχες παρατηρήσεις, τις συμβουλές και τη στήριξή του συνέβαλε σημαντικά στην ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.

Επιπλέον, θα ήθελα να εκφράσω την εκτίμησή μου σε όλες τις καθηγήτριες και όλους τους καθηγητές του τμήματος Γεωγραφίας του Χαροκόπειου Πανεπιστημίου για το σύνολο των πολύτιμων γνώσεων που μου μετέδωσαν.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω το μεταπτυχιακό απόφοιτο Ιωάννη Παπαδόπουλο, ο οποίος με βοήθησε δίνοντάς μου ορισμένα από τα δικά του ερευνητικά αποτελέσματα, τα οποία συνεισέφεραν καθοριστικά στη διεκπεραίωση της δικής μου εργασίας.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένειά μου και τους φίλους μου για τη στήριξή τους και την ενθάρρυνσή τους όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών μου.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	5
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	9
ABSTRACT.....	10
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	11
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΧΑΡΤΩΝ	12
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ/ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ.....	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο - ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	14
1.1. Επιμήκεις παραλιακές ράχες – Beach ridges.....	15
1.2. Berm.....	16
1.3. Εμφάνιση beach ridges στον κόσμο – Βιβλιογραφική ανασκόπηση.....	17
1.3.1. Δανία - Anholt	17
1.3.2. Αυστραλία – Cowley Beach και Wonga Beach	17
1.3.3. Νέα Ζηλανδία – Ακρωτήριο Turakirae.....	19
1.3.4. Ατλαντικός Ωκεανός – Saint Pierre & Miquelon.....	19
1.3.5. Η.Π.Α – St. Mary’s	20
1.3.6. Κίνα – Θιβέτ & Εσωτερική Μογγολία (λίμνες Selin Co & Dali).....	21
1.3.7. Δημοκρατία της Γκάνας – Volta river	22
1.3.8. Ελλάδα – Αχέροντας, Πηνειός και Μόρνος	23
1.3.9. Ελλάδα - Εύηνος Ποταμός	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο - ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	26
2.1. Δελταϊκή πεδιάδα του Εύηνου ποταμού	27
2.2. Λιμνοθάλασσα Κλείσοβας	32
2.3. Παραλιακές ράχες & έλη στο Λούρο	33

2.4. Χρήσεις γης	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο - ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	37
3.1. Χωρικά δεδομένα.....	37
3.2. Δορυφορικά δεδομένα	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο - ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	39
4.1. Χαρτογράφηση επιμήκων παραλιακών ράχων	39
4.1.1. 1 ^{ος} τρόπος – Google Earth Pro	39
4.1.2. 2 ^{ος} τρόπος – Χάρτης προσανατολισμού (Aspect)	40
4.2. Μελέτη ακτογραμμής	40
4.3. Μελέτη περιοχής – Εγκάρσιες τοπογραφικές τομές	41
4.4. Συμβολομετρία – Εδαφική παραμόρφωση	41
4.5. Εκτίμηση μελλοντικής εξέλιξης της περιοχής των παραλιακών ράχων	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	43
5.1. Χαρτογράφηση επιμήκων παραλιακών ράχων	43
5.1.1. Google Earth Pro.....	43
5.1.2. Χάρτης προσανατολισμού.....	46
5.1.3. Σύγκριση των δύο μεθοδολογιών χαρτογράφησης.....	48
5.2. Μελέτη ακτογραμμής	49
5.3. Τοπογραφικές τομές	51
5.4. Συμβολομετρία – Εδαφική παραμόρφωση (Παπαδόπουλος, 2021)	59
5.5. Εκτίμηση μελλοντικής εξέλιξης της περιοχής των παραλιακών ράχων	64
5.5.1. 1 ^η εκτίμηση – Μέση τιμή των 2 σεναρίων	65
5.5.2. 2 ^η εκτίμηση – Αισιόδοξο σενάριο	65
5.5.3. 3η εκτίμηση – Απαισιόδοξο σενάριο	66

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ^ο - ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	67
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	69
Ξενόγλωσση βιβλιογραφία	69
Ελληνική βιβλιογραφία	71
Διαδικτυακές πηγές	71

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματεύεται τη χαρτογράφηση των επιμήκων παραλιακών ράχων (beach ridges) που βρίσκονται στο ΝΑ τμήμα της λιμνοθάλασσας της Κλείσοβας στο δέλτα του Εύηνου ποταμού. Οι παραλιακές ράχες που μελετήθηκαν, σχηματίζουν μία φραγματική γεωμορφή που διαχωρίζει τη λιμνοθάλασσα από τον Πατραϊκό κόλπο.

Οι επιμήκεις παραλιακές ράχες αποτελούν παράκτιες γεωμορφές απόθεσης, οι οποίες χαρακτηρίζονται από παράλληλα ή ημιπαράλληλα συνήθως πολλαπλά υβώματα που διαχωρίζονται από αύλακες και έχουν σχηματιστεί και διατηρηθεί στις ακτές, τόσο θαλασσών, όσο και λιμνών. Επίσης, αποτελούν παλαιές ακτογραμμές σε παράκτιες περιοχές προέλασης.

Σκοπός της εργασίας είναι η λεπτομερής χαρτογράφηση των ράχων και η γεωμορφολογική μελέτη της περιοχής που έχουν διαμορφώσει (περιοχή Λούρος). Διερευνήθηκαν οι παράγοντες που ενδέχεται να προκαλέσουν την υποχώρησή τους κάτω από τη στάθμη της θάλασσας κάτι που θα είχε ως αποτέλεσμα την πλήρη επικοινωνία της λιμνοθάλασσας Κλείσοβας με τον Πατραϊκό Κόλπο. Για την επίτευξη των στόχων της έρευνας, έγινε χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ) και συγκεκριμένα του λογισμικού ArcGIS 10.4, καθώς και του προγράμματος περιήγησης Google Earth Pro. Χαρτογραφήθηκαν οι ράχες της περιοχής μελέτης, πραγματοποιήθηκε η εκτίμηση των διαχρονικών αλλαγών της ακτογραμμής και εκτιμήθηκε το πώς θα επηρεαστεί ο Λούρος εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής και των διαφόρων διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στην περιοχή.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ακτογραμμή του Λούρου αποτελείται από 10 ή 13 ράχες, ανάλογα με τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε. Η διαχρονική παρατήρηση της ακτογραμμής οδήγησε στη διαπίστωση ότι η Άκρα Ευήνου, από το 1945 έως το 2020, έχει υποχωρήσει με ρυθμό 4,53 μέτρα/χρόνο. Επίσης, σύμφωνα με τα δεδομένα της Διακυβερνητικής Επιτροπής Κλιματικής Αλλαγής (IPCC-Intergovernmental Panel on Climate Change) και τον ρυθμό καθίζησης της περιοχής, εκτιμάται πως αν δε ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα, η υποχώρηση της περιοχής κάτω από τη στάθμη της θάλασσας έως το έτος 2100 είναι βέβαιη.

Λέξεις Κλειδιά: παραλιακές ράχες, Λούρος, λιμνοθάλασσα Κλείσοβα, κλιματική αλλαγή, ΓΣΠ

ABSTRACT

This dissertation explores the study of mapping of beach ridges, which are located in the SE part of the Klisova Lagoon in Evinos River delta. The beach ridges of the study area form a barrier geomorphology that separates the lagoon from the Gulf of Patras.

Beach ridges are coastal depositional geomorphs, characterized by parallel or semi-parallel usually multiple ridges separated by swales, which have been formed and preserved on the coast of both seas and lakes. These geomorphs are old shorelines in prograding coastal areas.

The aim of this work is the detailed mapping of the beach ridges and to study the geomorphology of the area they have formed (Louros area). The factors that may cause them to retreat below sea level, which would result in the full communication of the Klisova Lagoon with the Gulf of Patras, were investigated. In order to achieve the objectives of the research, GIS techniques and Google Earth Pro browser were used. The ridges of the study area were mapped, an assessment of the diachronic shoreline changes was carried out and an assessment of how the Louros River will be affected due to climate change and the various processes taking place in the area was made.

The results showed that the shoreline of Louros consists of 10 or 13 coastal ridges depending on the methodology that was followed. The diachronic observation of the shoreline led to the finding that Akra Evinou (Cape Evinos), from 1945 to 2020, has retreated at a rate of 4.53 m/year. Furthermore, according to data from the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) and the rate of subsidence of the area, it is estimated that unless appropriate measures are taken, the area is certain to retreat below sea level by the year 2100.

Keywords: Beach ridges, Louros, Klisova lagoon, climate change, GIS

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1 Παραλιακές ράχες στο βόρειο τμήμα του νησιού Anholt, Δανία	17
Εικόνα 2 Παραλιακές ράχες, Cowley beach, Αυστραλία	18
Εικόνα 3 Παραλιακές ράχες, Wonga Beach, Αυστραλία.....	18
Εικόνα 4 Παραλιακές ράχες στο Ακρωτήριο Turkirae Head, Νέα Ζηλανδία.....	19
Εικόνα 5 Παραλιακές ράχες, Saint Pierre and Miquelon	20
Εικόνα 6 Παραλιακές ράχες στα σύνορα Γεωργίας και Φλόριντας, στις εκβολές του ποταμού St. Mary's.....	20
Εικόνα 7 Παραλιακές ράχες, λίμνη Selin Co	21
Εικόνα 8 Παραλιακές ράχες, λίμνη Dali Lake	22
Εικόνα 9 Παραλιακές ράχες στη δελταϊκή πεδιάδα του ποταμού Volta River.....	22
Εικόνα 10 Παραλιακές ράχες στη δελταϊκή πεδιάδα του ποταμού Αχέροντα, Ήπειρος.....	23
Εικόνα 11 Παραλιακές ράχες στη δελταϊκή πεδιάδα του Πηνειού ποταμού, Θεσσαλία	24
Εικόνα 12 Παραλιακές ράχες στη δελταϊκή πεδιάδα του ποταμού Μόρνου, Κορινθιακός Κόλπος	24
Εικόνα 13 Απλοποιημένος γεωμορφολογικός χάρτης του δέλτα του Εύηνου Ποταμού	25
Εικόνα 14 Χάρτες που φαίνεται η γεωγραφική θέση της περιοχής μελέτης.	26
Εικόνα 15 Μορφολογικά χαρακτηριστικά ενός δέλτα.....	28
Εικόνα 16 Εικόνα drone όπου απεικονίζονται οι επιμήκεις παραλιακές ράχες του Λούρου.	34
Εικόνα 17 Εικόνα drone όπου απεικονίζονται οι επιμήκεις παραλιακές ράχες του Λούρου (2)	34
Εικόνα 18 Εικόνα Google Earth όπου φαίνεται η περιοχή μελέτης	40
Εικόνα 19 Μεγέθυνση χάρτη 10. Άκρα Ευήνου	50
Εικόνα 20 Εικόνα drone όπου απεικονίζεται η περιοχή του Λούρου.....	58
Εικόνα 21 Χάρτης εδαφικής παραμόρφωσης (1 ^η προσπάθεια)	60
Εικόνα 22 Χάρτης εδαφικής παραμόρφωσης (2 ^η προσπάθεια)	61
Εικόνα 23 Διάγραμμα χρονικής παραμόρφωσης για το Λούρο	62
Εικόνα 24 Χάρτης μεταβολών ακτογραμμής 2015-2020	63

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΧΑΡΤΩΝ

Χάρτης 1 Χάρτης ευρύτερης περιοχής.....	29
Χάρτης 2 Χάρτης εμφάνισης περιοχών Natura 200 στην περιοχή μελέτης.....	30
Χάρτης 3 Αεροφωτογραφία του 1945 που απεικονίζει τη δελταϊκή πεδιάδα του Εύηνου ποταμού.	31
Χάρτης 4 Χάρτης χρήσεων γης της δελταϊκής πεδιάδας.....	36
Χάρτης 5 Χαρτογράφηση επιμήκων παραλιακών ράχων, μέσω του Google Earth Pro.....	43
Χάρτης 6 Αποτύπωση επιμήκων παραλιακών ράχων.....	44
Χάρτης 7 Χαρτογράφηση περιοχής μελέτης μέσω του Google Earth Pro	45
Χάρτης 8 Χάρτης προσανατολισμού περιοχής μελέτης	46
Χάρτης 9 Σχεδιασμός επιμήκων παραλιακών ράχων με τη χρήση του χάρτη προσανατολισμού	47
Χάρτης 10 Αεροφωτογραφία 1945 και σχεδιασμός ακτογραμμών 1945, 1985 και 2020.....	49
Χάρτης 11 Απεικόνιση εγκάρσιων τοπογραφικών τομών στην περιοχή μελέτης	51

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ/ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

GIS / ΓΣΠ	Geographic Information System / Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών
ArcGIS	Aeronautical Reconnaissance Coverage Geographic Information System
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
MSL	Mean Sea Level
CLC	Corine Land Cover
ΕΓΣΑ	Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς
QGIS	Quantum Geographic Information System
DEM / ΨΜΕ	Digital Elevation Model / Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους
KML	Keyhole Markup Language
ΕΕ	Ευρωπαϊκή Ένωση
ΝΑ / ΝΔ	Νοτιοανατολικά / Νοτιοδυτικά

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο - ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η χαρτογράφηση των επιμήκων παραλιακών ράχων που αναπτύσσονται στο δέλτα του Εύηνου ποταμού, δυτικά των εκβολών του και πιο συγκεκριμένα στη φραγματική γεωμορφή που χωρίζει τη λιμνοθάλασσα της Κλείσοβας από τον Πατραϊκό Κόλπο. Επιπλέον, στην εργασία θα επιχειρηθεί η διαχρονική παρατήρηση της ακτογραμμής και οι μεταβολές που έχει υποστεί με την πάροδο του χρόνου και θα γίνει αναφορά στη διάβρωση της περιοχής του Λούρου. Η εκτίμηση των διαχρονικών αλλαγών έχει ιδιαίτερη σημασία για την περιοχή, καθώς εκτιμάται ότι λόγω κλιματικής αλλαγής και διαφόρων διεργασιών που λαμβάνουν χώρα σε αυτήν, η πιθανότητα της πλήρους εξαφάνισης της φραγματικής γεωμορφής με την πάροδο του χρόνου είναι σχεδόν βέβαιη. Για την παρακολούθηση αυτής της επιμήκου φραγματικής γεωμορφής ήταν καθοριστική η αξιοποίηση των αποτελεσμάτων της πρόσφατης εφαρμογής της συμβολομετρίας (Παπαδόπουλος, 2021). Ιδιαίτερα σημαντική για τη διεξαγωγή της έρευνας ήταν η χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ), όπως το λογισμικό ArcGIS 10.4 καθώς και το πρόγραμμα περιήγησης Google Earth Pro

Στο πρώτο κεφάλαιο, την εισαγωγή, γίνεται επεξήγηση του όρου που μελετάται καθώς και των χαρακτηριστικών του και δίνονται παραδείγματα εμφάνισης επιμήκων παραλιακών ράχων σε άλλα μέρη της Ελλάδας, αλλά και στον υπόλοιπο κόσμο.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, γίνεται αναφορά στην περιοχή μελέτης και τα χαρακτηριστικά της.

Στο τρίτο και στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία των χαρτών και η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων αντίστοιχα.

Στο πέμπτο και στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της έρευνας, η συζήτηση που ακολούθησε και τα συμπεράσματα, στα οποία παρουσιάζεται μία αναλυτικότερη ερμηνεία των όσων μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία σχετικά με τη μελλοντική εξέλιξη της περιοχής.

1.1. Επιμήκεις παραλιακές ράχες – Beach ridges

Οι επιμήκεις παραλιακές ράχες (beach ridges) είναι παράκτιες γεωμορφές απόθεσης, οι οποίες αναπτύσσονται τόσο σε ακτές θαλασσών, όσο και λιμνών. Έχουν χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό και τη μελέτη της παλαιογεωγραφίας και της εξέλιξης των παράκτιων περιοχών στις οποίες εμφανίζονται, καθώς και για τη μελέτη των κλιματικών αλλαγών και των μεταβολών του επιπέδου της στάθμης της θάλασσας κατά το Ολόκαινο (Scheffers, 2011). Ιδιαίτερα, έχουν χαρακτηριστεί ως δείκτης θέσης των παλαιών ακτών, που βρίσκονται σε επίπεδο υψηλότερο από αυτό της σημερινής στάθμης της θάλασσας, καθώς και των σχετικών επιπέδων αυτής (Otvos, 2000). Αυτό συμβαίνει, διότι συνήθως οι παραλιακές ράχες εντοπίζονται πίσω από τη σύγχρονη ακτή και επομένως κάθε ράχη φανερώνει τη θέση της παλαιοακτής την περίοδο του σχηματισμού της (Παυλόπουλος, 2011).

Όσον αφορά την ερμηνεία του όρου που μελετάται (beach ridges), με την πάροδο του χρόνου πολλοί επιστήμονες του κλάδου, οι οποίοι έχουν ασχοληθεί με τη συγκεκριμένη γεωμορφή, διατύπωσαν διάφορες απόψεις σχετικά με τα χαρακτηριστικά που πρέπει να εμφανίζονται στις επιμήκεις παραλιακές ράχες, καθώς και με τον τρόπο σχηματισμού τους. Η επικρατέστερη είναι αυτή που διατύπωσε ο Ervin Otvos το 2000, σύμφωνα με τον οποίο, ως επιμήκεις παραλιακές ράχες ορίζονται “οι γεωμορφές, οι οποίες χαρακτηρίζονται από ημιπαράλληλες και πολλαπλές ράχες, οι οποίες έχουν σχηματιστεί και διατηρηθεί στην ακτή. Η κύρια διεργασία σχηματισμού τους είναι ο κυματισμός. Επιπλέον, σημαντικό ρόλο παίζει και η ένταση και η διεύθυνση πνοής του ανέμου”. Υποστηρίζει επίσης, ότι οι ακολουθίες των επιμήκων παραλιακών ράχων είναι συχνές συνιστώσες των τεταρτογενών παράκτιων πεδιάδων. Οι κορυφές τους έχουν υψόμετρο αρκετά πάνω από τη μέση στάθμη πλημμυρίδας και οι επιμήκεις αύλακες (swales) έχουν υψόμετρο σχεδόν όσο και η μέση στάθμη άμπωτης (Starog, 1975). Οι παραλιακές ράχες συνίστανται κυρίως από άμμο, χάλικες, κοχύλια και κροκάλες και οι διαστάσεις τους διαφέρουν ανά περιοχή, διότι εξαρτώνται κυρίως από τα χαρακτηριστικά των υλικών του αιγιαλού στον οποίο έχουν σχηματιστεί. Το ύψος τους μπορεί να κυμαίνεται από μερικά εκατοστά έως αρκετά μέτρα, το πλάτος τους από ένα μέτρο έως και μερικές δεκάδες μέτρα και το μήκος τους μπορεί να φτάσει μέχρι και αρκετά χιλιόμετρα (Καρύμπαλης, 2010).

Οι επιμήκεις παραλιακές ράχες, μπορεί να εμφανίζονται είτε μεμονωμένες, είτε αρκετές μαζί. Όταν εμφανίζονται πολλές μαζί, συνιστούν πεδιάδα ή πεδίο επιμήκων παραλιακών ράχων (beach ridges plain) και μεταξύ της κάθε ράχης υπάρχουν επιμήκεις αύλακες (swales), που πολλές φορές μπορεί να κατακρατούν νερό σχηματίζοντας έλη. Στην περίπτωση των πεδιάδων αυτών, η απόσταση μεταξύ των ράχων μπορεί να κυμαίνεται από μερικά μέτρα μέχρι και μισό χιλιόμετρο.

Κατά καιρούς έχουν διατυπωθεί διάφορες ερμηνείες για τις επιμήκεις παραλιακές ράχες. Μία από αυτές ήταν του Staror, το 1982, ο οποίος καθορίζει τις επιμήκεις παραλιακές ράχες ως γραμμικές και λοφώδεις (mound-shaped), σχεδόν παράλληλες με την ακτή. Ο συγκεκριμένος όρος είναι πολύ ευρύς και θα μπορούσε να εφαρμοστεί σε πολλές διαφορετικές μορφές ράχων, όπως είναι οι παράκτιες θίνες (foreshores) ή οι παράκτιες αμμώδεις και χαλικώδεις ζώνες (berms) (Hesp, 2005). Επιπλέον, ο Cuchlain A. M. King, το 1972, στο βιβλίο του με τίτλο “Beaches and coasts”, υποδεικνύει ότι οι επιμήκεις παραλιακές ράχες είναι είτε ισοδύναμες με τις παράκτιες θίνες (foreshores) είτε εξελίσσονται σε αυτές.

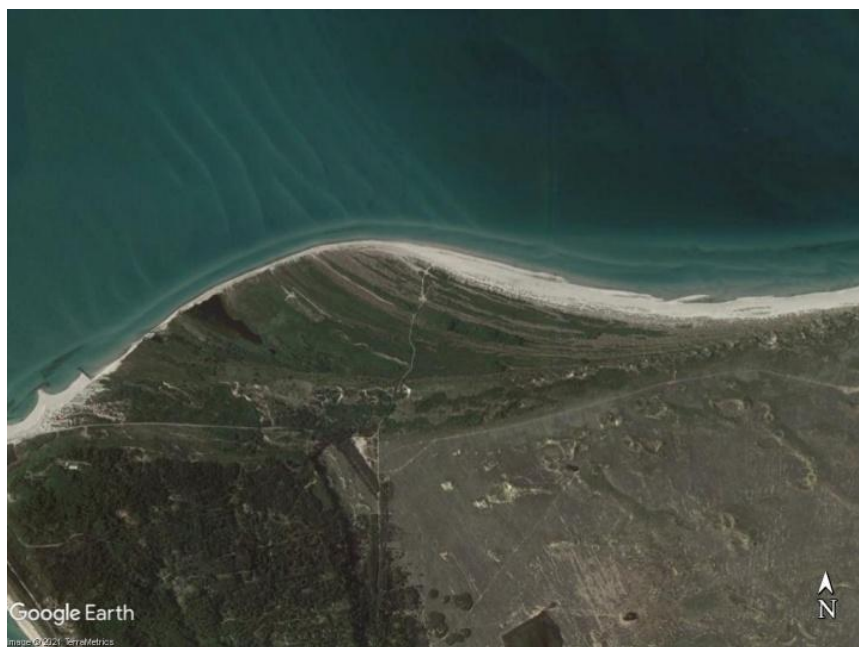
1.2. Berms

Στην περίπτωση που κάποιες ράχες θεωρούνται ενεργές, τότε δεν ορίζονται ως επιμήκεις παραλιακές ράχες (beach ridges), αλλά ως παράκτιες αμμώδεις και χαλικώδεις ζώνες (berms). Πρόκειται για επιμήκεις τοξοειδούς μορφής ζώνες, οι οποίες αναπτύσσονται κατά μήκος της ακτογραμμής και συνήθως αποτελούνται από συνδυασμό αδρομερών και λεπτόκοκκων υλικών, όπως κροκάλες, άμμους όλων των κοκκομετρικών διαβαθμίσεων και άλλα μικροθραύσματα της παράκτιας ζώνης. Ο σχηματισμός, η θέση και ο αριθμός τους βρίσκεται σε άμεση σχέση με τις μεταβολές της κυματικής ενέργειας. Κάθε φορά που μεταβάλλεται η ενέργεια των κυμάτων που θραύονται στον αιγιαλό, σχηματίζεται μια νέα ζώνη και πιθανόν καταστρέφεται η παλαιά η οποία είχε σχηματισθεί σε μία χρονική περίοδο ηπιότερων κυματικών συνθηκών (Καρύμπαλης, 2010). Πρόκειται για εφήμερες γεωμορφές. Οι επιμήκεις παραλιακές ράχες μπορεί να θεωρηθούν ότι αποτελούν berms, οι οποίες έχουν εγκαταλειφθεί. Δηλαδή, δεν επηρεάζονται, πλέον, από τη δράση των θαλάσσιων διεργασιών.

1.3. Εμφάνιση beach ridges στον κόσμο – Βιβλιογραφική ανασκόπηση

1.3.1. Δανία - Anholt

Στη Δανία, δυτικά του νησιού Anholt, το οποίο βρίσκεται στο κεντρικό μέρος της θάλασσας Kattegat (μεταξύ Δανίας και Σουηδίας), διακρίνεται μία πεδιάδα επιμήκων παραλιακών ράχων στο βόρειο τμήμα του νησιού, οι οποίες σχηματίστηκαν κατά τη διάρκεια μιας ισοστατικής ανύψωσης και σχετικής πτώσης της στάθμης της θάλασσας πριν από περίπου 7700 χρόνια. Η χρονολόγηση τους πραγματοποιήθηκε με έρευνες από δεδομένα GPR (Ground Penetrating radar) (Clemmensen & Nielsen, 2010).



Εικόνα 1 Παραλιακές ράχες στο βόρειο τμήμα του νησιού Anholt, Δανία (Πηγή: Google Earth Pro)

1.3.2. Αυστραλία – Cowley Beach και Wonga Beach

Εντυπωσιακές και μεγάλων διαστάσεων επιμήκεις παραλιακές ράχες εμφανίζονται στην Αυστραλία. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι ΒΑ ακτές της, όπου εμφανίζονται δύο γνωστές και αρκετά μεγάλης έκτασης πεδιάδες επιμήκων παραλιακών ράχων. Η μεγαλύτερη από τις δύο διακρίνεται στο Cowley Beach, που βρίσκεται στην ευρύτερη περιοχή Cassowary Coast στο Queensland και κοντά στα νησιά του Μεγάλου Κοραλλιογενή Υφάλου (Great Barrier

Reef – GBR) στον Ειρηνικό Ωκεανό (Nott et al., 2009). Η άλλη πεδιάδα βρίσκεται στο Wonga Beach, βορειότερα από την Cowley Beach, στην παράκτια περιοχή Shire of Douglas, που επίσης βρίσκεται στο Queensland (Forsyth et al., 2012). Χαρακτηριστική διαφορά με την προηγούμενη αποτελεί το ότι σε αυτή την πεδιάδα έχει επέμβει ο ανθρώπινος παράγοντας σε ένα μέρος της, με αποτέλεσμα οι επιμήκεις παραλιακές ράχες να μην είναι τόσο ευδιάκριτες.



Εικόνα 2 Παραλιακές ράχες, Cowley beach, Αυστραλία. (Jonathan Nott).



Εικόνα 3 Παραλιακές ράχες, Wonga Beach, Αυστραλία. (Πηγή: Google Earth Pro)

1.3.3. Νέα Ζηλανδία – Ακρωτήριο Turakirae

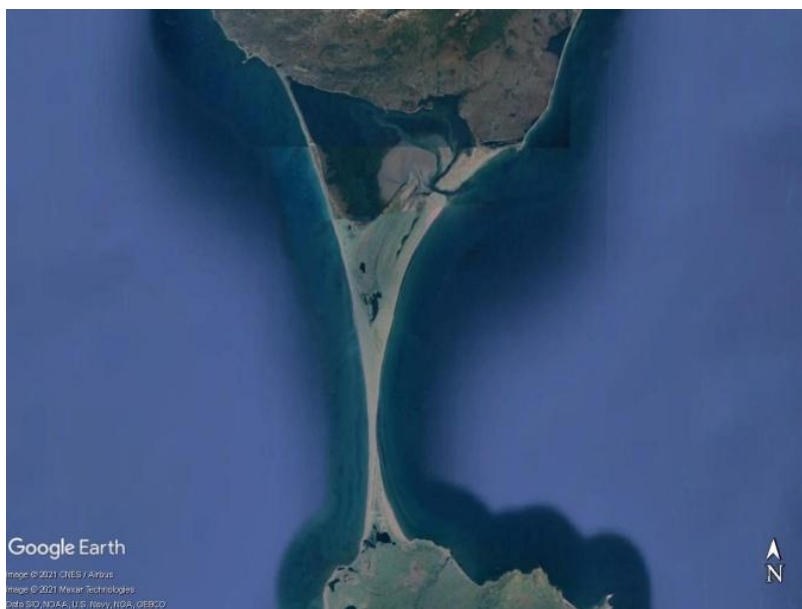
Ανατολικά της Αυστραλίας και συγκεκριμένα στο νότιο άκρο του βόρειου νησιού της Νέας Ζηλανδίας, βρίσκεται το Ακρωτήριο Turakirae (Turakirae Head), το οποίο αποτελεί ένα εξαιρετικά ενδιαφέρον παράδειγμα περιοχής τεκτονικής ανύψωσης. Η τεκτονική ανύψωση στην περιοχή πιστοποιείται από την εμφάνιση επιμήκων παραλιακών ράχων ανυψωμένων σημαντικά πάνω από τη σημερινή στάθμη της θάλασσας. Οι ράχες αυτές είναι παράλληλες με την σημερινή ακτογραμμή και η χρονολόγησή τους έδειξε ότι σχηματίστηκαν πριν από 5000 χρόνια (Wellman, 1969).



Εικόνα 4 Παραλιακές ράχες στο Ακρωτήριο Turkirae Head, Νέα Ζηλανδία. (Αριστερά: Wellman, 1969, Δεξιά: Google Earth Pro)

1.3.4. Ατλαντικός Ωκεανός – Saint Pierre & Miquelon

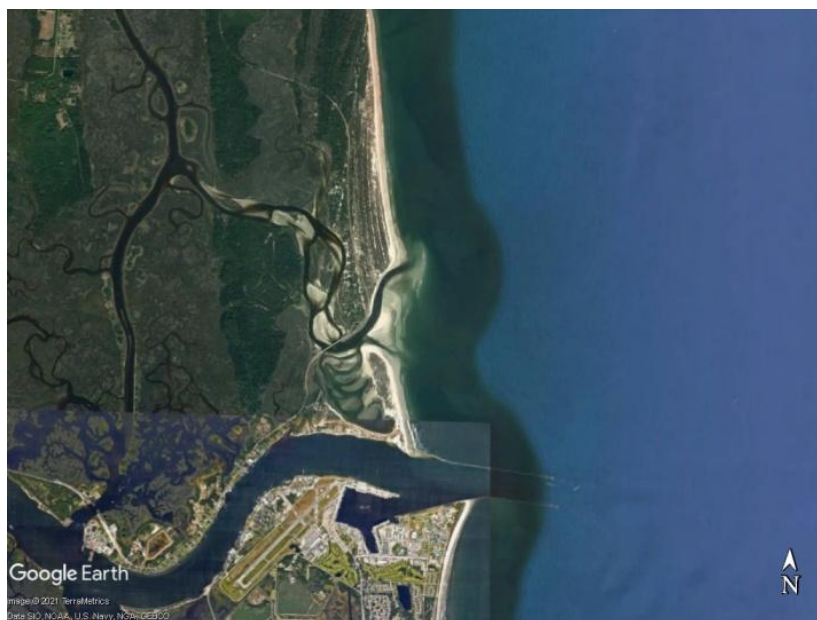
Ένα άλλο, ιδιαίτερα εντυπωσιακό παράδειγμα επιμήκων παραλιακών ράχων, αποτελεί αυτό στο αρχιπέλαγος Saint Pierre and Miquelon και συγκροτείται από τρία βραχώδη νησιά που ονομάζονται Miquelon, Langlade και Saint Pierre. Τα δύο από αυτά (Miquelon και Langlade) συνδέονται με μία επιμήκη φραγματική γεωμορφή που αποτελείται από χαλαρά ιζήματα, όπως άμμο και χάλικες και όλο μαζί φέρει την ονομασία Miquelon – Langlade Barrier. Η πεδιάδα επιμήκων παραλιακών ράχων, εμφανίζεται στο βόρειο-κεντρικό τμήμα του φράγματος. Οι ράχες έχουν ύψος που φτάνει τα λίγα μέτρα πάνω από τη μέση στάθμη της θάλασσας (Mean Sea Level - MSL) (Billie et al., 2014).



Εικόνα 5 Παραλιακές ράχες, Saint Pierre and Miquelon (Google Earth Pro)

1.3.5. Η.Π.Α – St. Mary’s

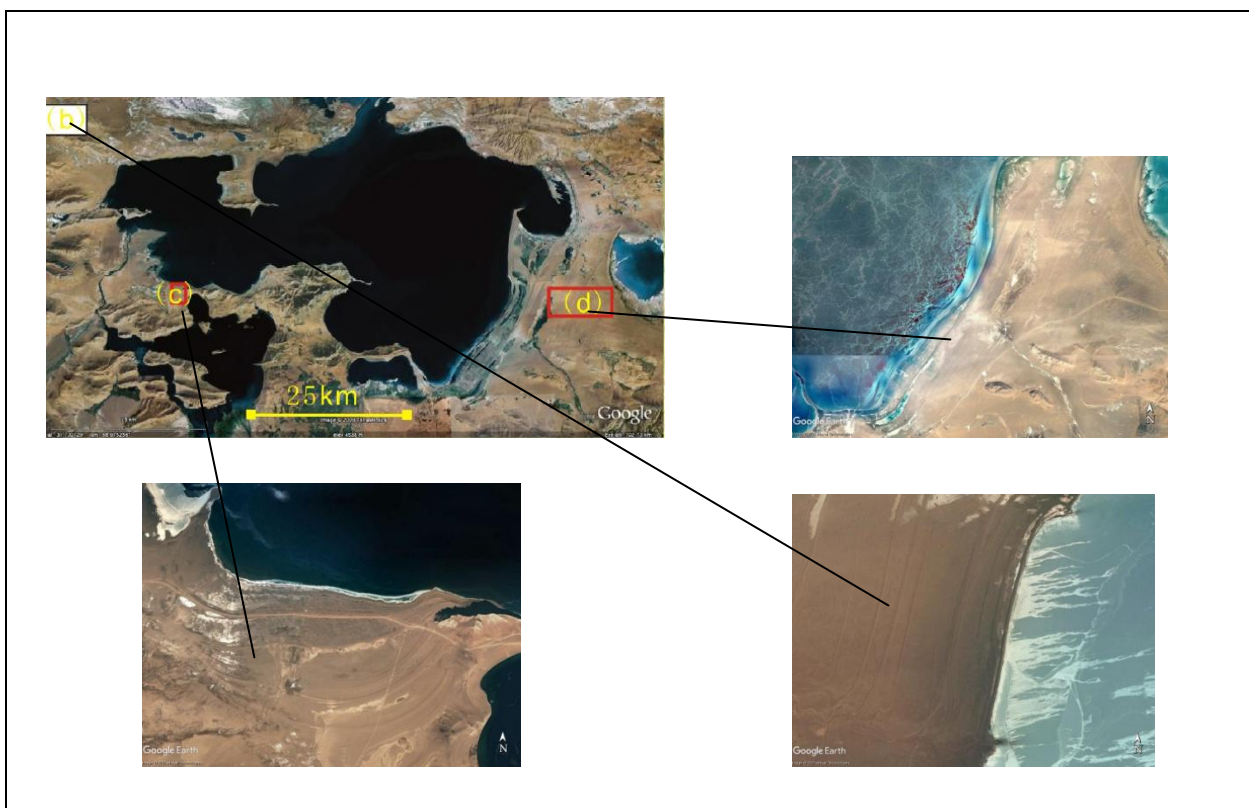
Στα σύνορα των Πολιτειών Φλόριντας και Τζόρτζιας (Georgia), στις νοτιοανατολικές ΗΠΑ, στις εκβολές του Ποταμού St Mary’s, έχει αναπτυχθεί πλήθος επιμήκων παραλιακών ράχων (Ordgke et al., 1984).



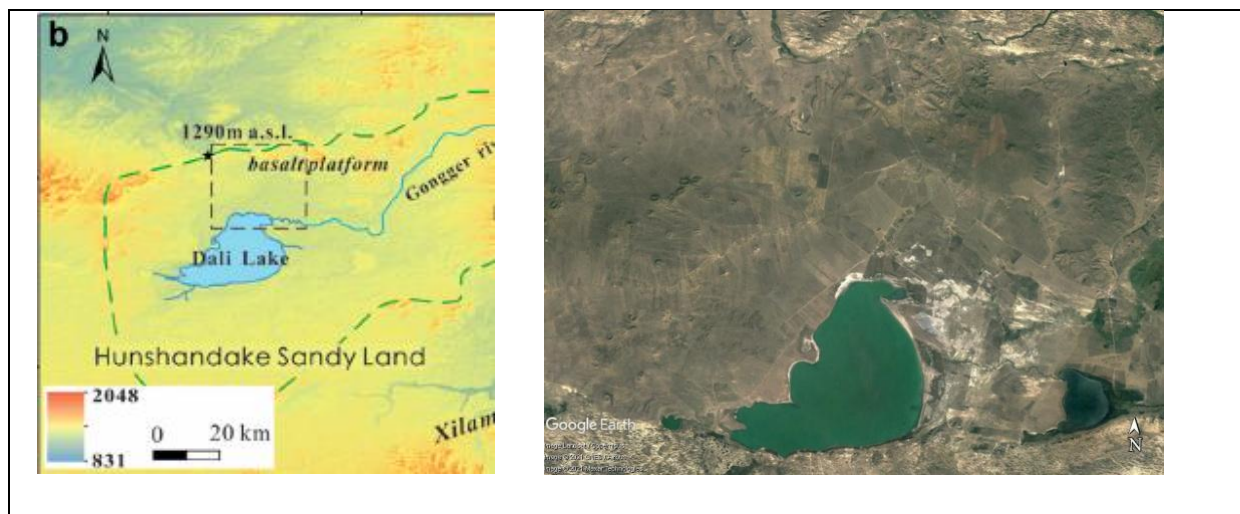
Εικόνα 6 Παραλιακές ράχες στα σύνορα Γεωργίας και Φλόριντας, στις εκβολές του ποταμού St. Mary’s (Google Earth Pro).

1.3.6. Κίνα – Θιβέτ & Εσωτερική Μογγολία (λίμνες Selin Co & Dali)

Οι παραλιακές ράχες δεν αφορούν μόνο παράκτιες θαλάσσιες περιοχές, αλλά συχνά αναπτύσσονται και στις ακτές λιμνών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν αυτές που αναπτύσσονται στις Αυτόνομες Περιφέρειες του Θιβέτ και της Εσωτερικής Μογγολίας στην Κίνα. Επιμήκεις παραλιακές ράχες έχουν σχηματισθεί και αναπτύσσονται παράλληλα με τη νοτιοδυτική (ΝΔ) και τη νοτιοανατολική (ΝΑ) ακτογραμμή της λίμνης Selin Co (Li et al., 2009), και λίγο βορειότερα από τη λίμνη Dali αντίστοιχα. (Jiang et al., 2020).



Εικόνα 7 Παραλιακές ράχες, λίμνη Selin Co (Li et al., 2009)



Εικόνα 8 Παραλιακές ράχες, λίμνη Dali Lake (Αριστερά: Mengyao jiang, Δεξιά: Google Earth Pro)

1.3.7. Δημοκρατία της Γκάνας – Volta river

Στην Αφρική υπάρχουν, επίσης, πολλές περιοχές εμφάνισης επιμήκων παραλιακών ράχων. Μία από αυτές, είναι στη Δημοκρατία της Γκάνας στη Δυτική Αφρική, ανατολικά των εκβολών του Ποταμού Βόλτα (Volta River), κοντά στην πόλη Keta. Η τροφοδοσία της ακτής με ίζημα από τον ποταμό έχει οδηγήσει στο σχηματισμό ενός δέλτα στο μέτωπο του οποίου αναπτύσσονται οι εν λόγω παραλιακές ράχες (Anthony et al., 2016).



Εικόνα 9 Παραλιακές ράχες στη δελταϊκή πεδιάδα του ποταμού Volta River (Πηγή: Google Earth Pro)

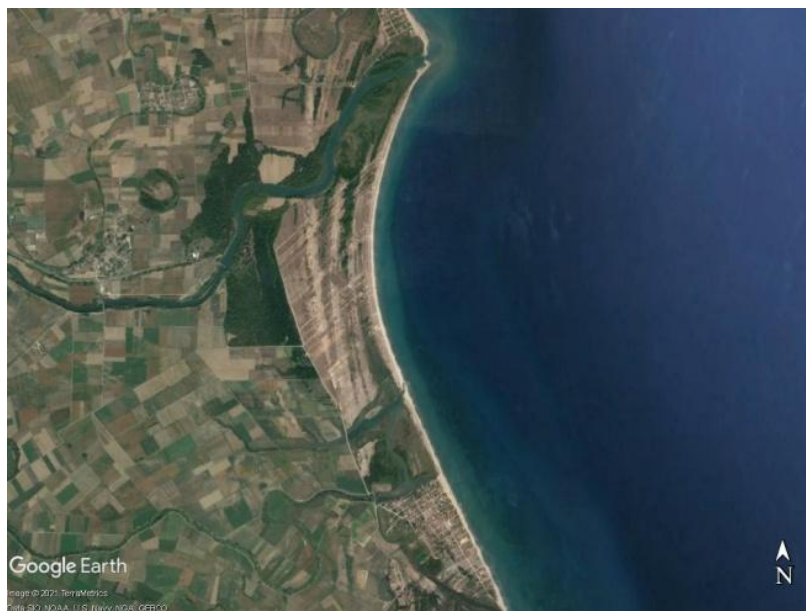
1.3.8. Ελλάδα – Αχέροντας, Πηνειός και Μόρνος

Πολύ γνωστές και εντυπωσιακές θεωρούνται οι επιμήκεις παραλιακές ράχες που εμφανίζονται στις εκβολές του Αχέροντα Ποταμού στην Ήπειρο και συγκεκριμένα κοντά στο χωριό Αμμουδιά του Νομού Πρέβεζας (Εικόνα 10). Επίσης, στη Θεσσαλία, στο δέλτα του Πηνειού Ποταμού, διακρίνονται επιμήκεις παραλιακές ράχες, οι οποίες όμως λόγω των ανθρωπογενών παρεμβάσεων δεν είναι τόσο εύκολα διακριτές όσο οι προηγούμενες (Εικόνα 11). Επιπλέον, μια περιοχή όπου εμφανίζεται η γεωμορφή, με μικρότερη έκταση από τις προαναφερόμενες, είναι στις εκβολές του Μόρνου ποταμού, στη Στερεά Ελλάδα (Εικόνα 12).

Γίνεται φανερό ότι όλες οι προαναφερθείσες περιπτώσεις αφορούν επιμήκεις παραλιακές ράχες που αναπτύσσονται σε δελταϊκά περιβάλλοντα σε εκβολές ποταμών. Απαραίτητη προϋπόθεση για την ανάπτυξη των γεωμορφών αυτών είναι η τροφοδοσία της ακτής με ίζημα το οποίο παρασύρεται από τον κυματισμό και τα επιμήκη παράκτια ρεύματα, ώστε να διαμορφώσει ράχες. Στις δελταϊκές πεδιάδες, η παρουσία ιζήματος οφείλεται στην τροφοδοσία από το ποτάμι. Αρκετά συχνά οι ράχες που παρατηρούνται σήμερα στις δελταϊκές πεδιάδες σχηματίστηκαν από ίζημα που είχε φθάσει στο μέτωπο του δέλτα μέσω παλαιών εκβολών που σήμερα είναι ανενεργές.



Εικόνα 10 Παραλιακές ράχες στη δελταϊκή πεδιάδα του ποταμού Αχέροντα, Ήπειρος (Πηγή: Google Earth Pro)



Εικόνα 11 Παραλιακές ράχες στη δελταϊκή πεδιάδα του Πηνειού ποταμού, Θεσσαλία (Πηγή: Google Earth Pro)

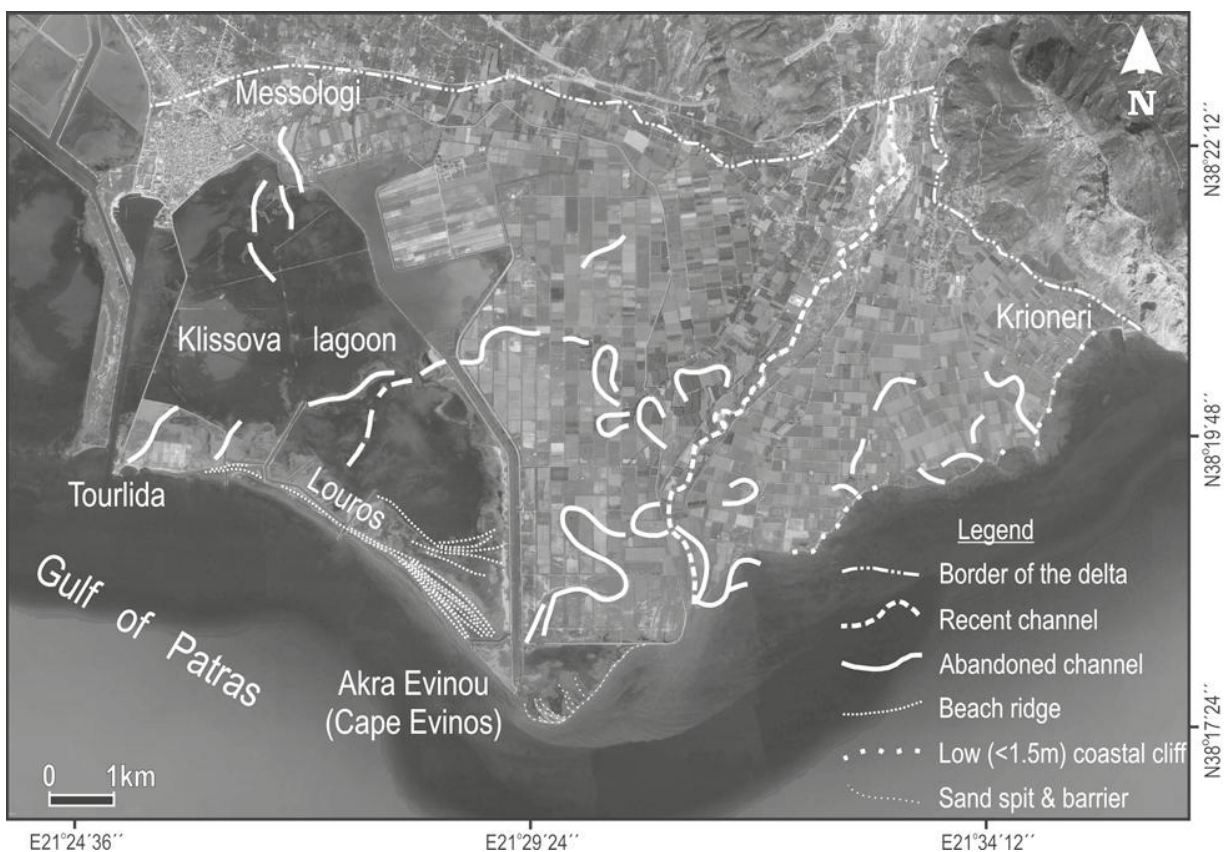


Εικόνα 12 Παραλιακές ράχες στη δελταϊκή πεδιάδα του ποταμού Μόρνου, Κορινθιακός Κόλπος (Πηγή: Google Earth Pro)

1.3.9. Ελλάδα - Εύηνος Ποταμός

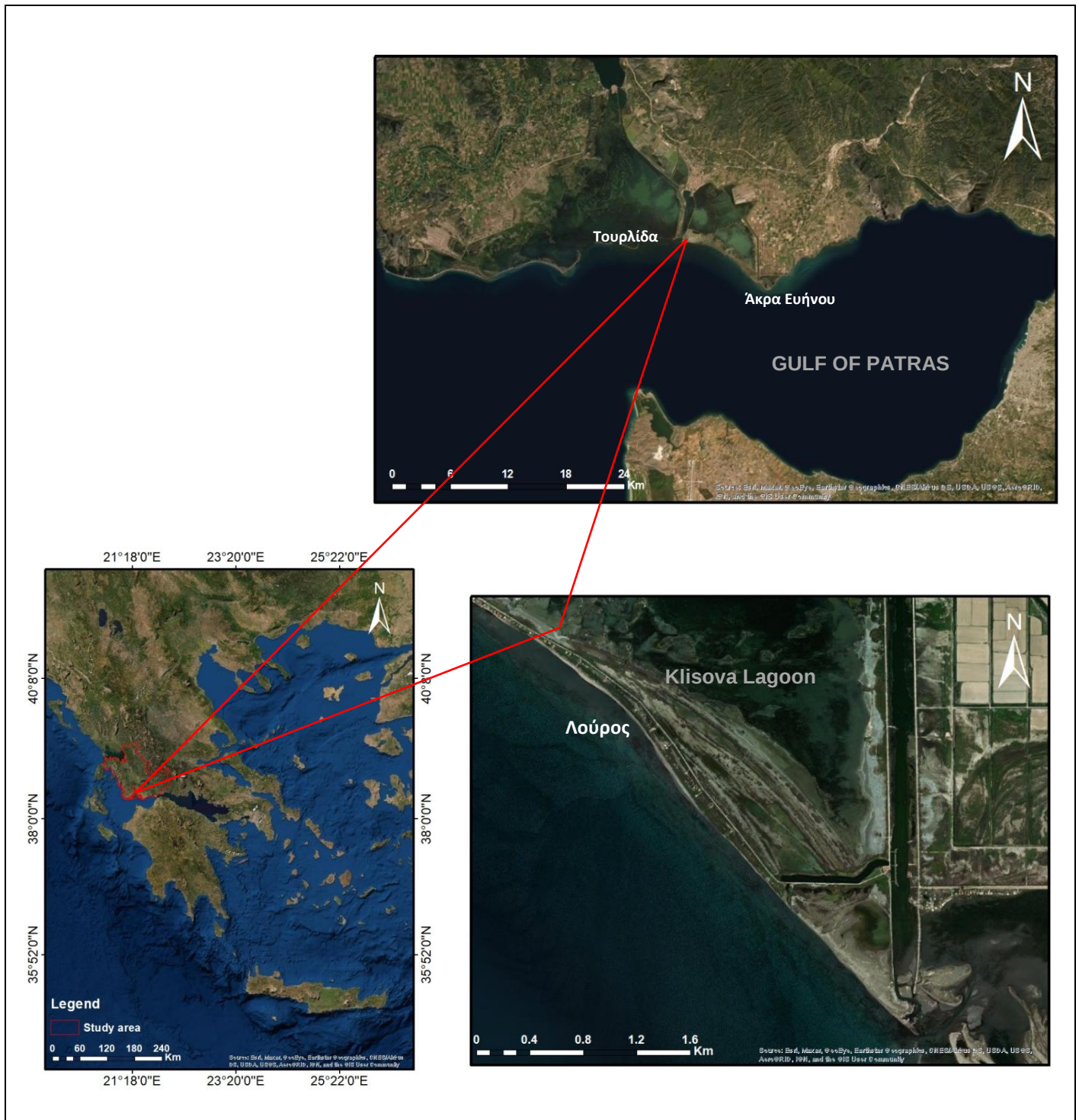
Στις εκβολές του Εύηνου ποταμού, στη δυτική Ελλάδα, δημιουργείται δέλτα το οποίο παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον, καθώς επίσης σημαντική είναι και η εμφάνιση των επιμήκων παραλιακών ράχων στην περιοχή του Λούρου που θα μελετηθούν στην παρούσα εργασία. Λόγω του μεγάλου ενδιαφέροντος της περιοχής, έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές μελέτες σε αυτήν. Δύο σημαντικά παραδείγματα είναι η έρευνα που αφορά τις χωρικές και χρονικές μεταβολές της ακτογραμμής του Εύηνου ποταμού (Karymbalis, 2022), αλλά και η μελέτη που αφορά την εκτίμηση της εδαφικής παραμόρφωσης της δελταϊκής πεδιάδας του Εύηνου ποταμού (Παπαδόπουλος, 2021), της οποίας τα αποτελέσματα θα χρησιμοποιηθούν στην παρούσα έρευνα.

Στην εικόνα 13 παρουσιάζεται, σε απλοποιημένη μορφή, η γεωμορφολογία του δέλτα του Εύηνου Ποταμού.



Εικόνα 13 Απλοποιημένος γεωμορφολογικός χάρτης του δέλτα του Εύηνου Ποταμού με βάση τους Maroukian & Karymbalis (2004), Google Earth εικόνες (2020) και έρευνα πεδίου (Karymbalis, 2020)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο - ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ



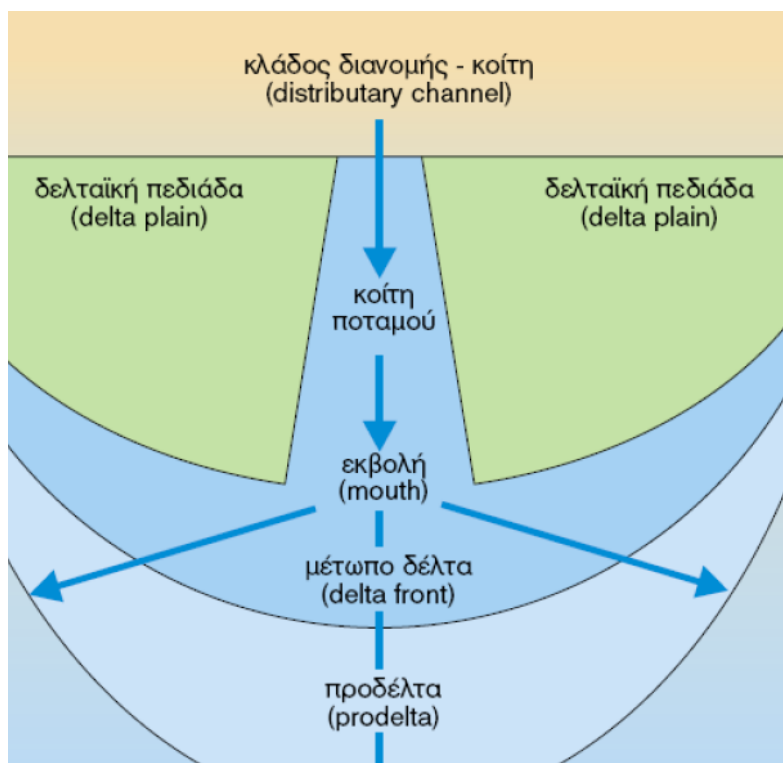
Η περιοχή μελέτης είναι μια επιμήκης φραγματική γεωμορφή που ανήκει στη δελταϊκή πεδιάδα του Εύηνου ποταμού και τοποθετείται στα δυτικά των εκβολών του. Βρίσκεται στη δυτική Ελλάδα, στο νομό Αιτωλοακαρνανίας, εκτείνεται από την Τουρλίδα μέχρι την Άκρα Ευήνου και χωρίζει τη λιμνοθάλασσα της Κλείσοβας από τον Πατραϊκό Κόλπο. Το ανατολικό της τμήμα, ο Λούρος, έχει διαμορφωθεί από μια σειρά επιμήκων παραλιακών ράχων (Εικόνα 14). Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας θα αναγνωριστούν, θα χαρτογραφηθούν και θα μελετηθούν, με την αξιοποίηση τεχνικών γεωπληροφορικής, οι ράχες οι οποίες εμφανίζονται κατά μήκος της ακτογραμμής.

2.1. Δελταϊκή πεδιάδα του Εύηνου ποταμού

Δεδομένου ότι η περιοχή μελέτης αποτελεί τμήμα της δελταϊκής πεδιάδας του Εύηνου ποταμού, κρίνεται αναγκαία η αναφορά τόσο στον Εύηνο ποταμό όσο και στο δέλτα του.

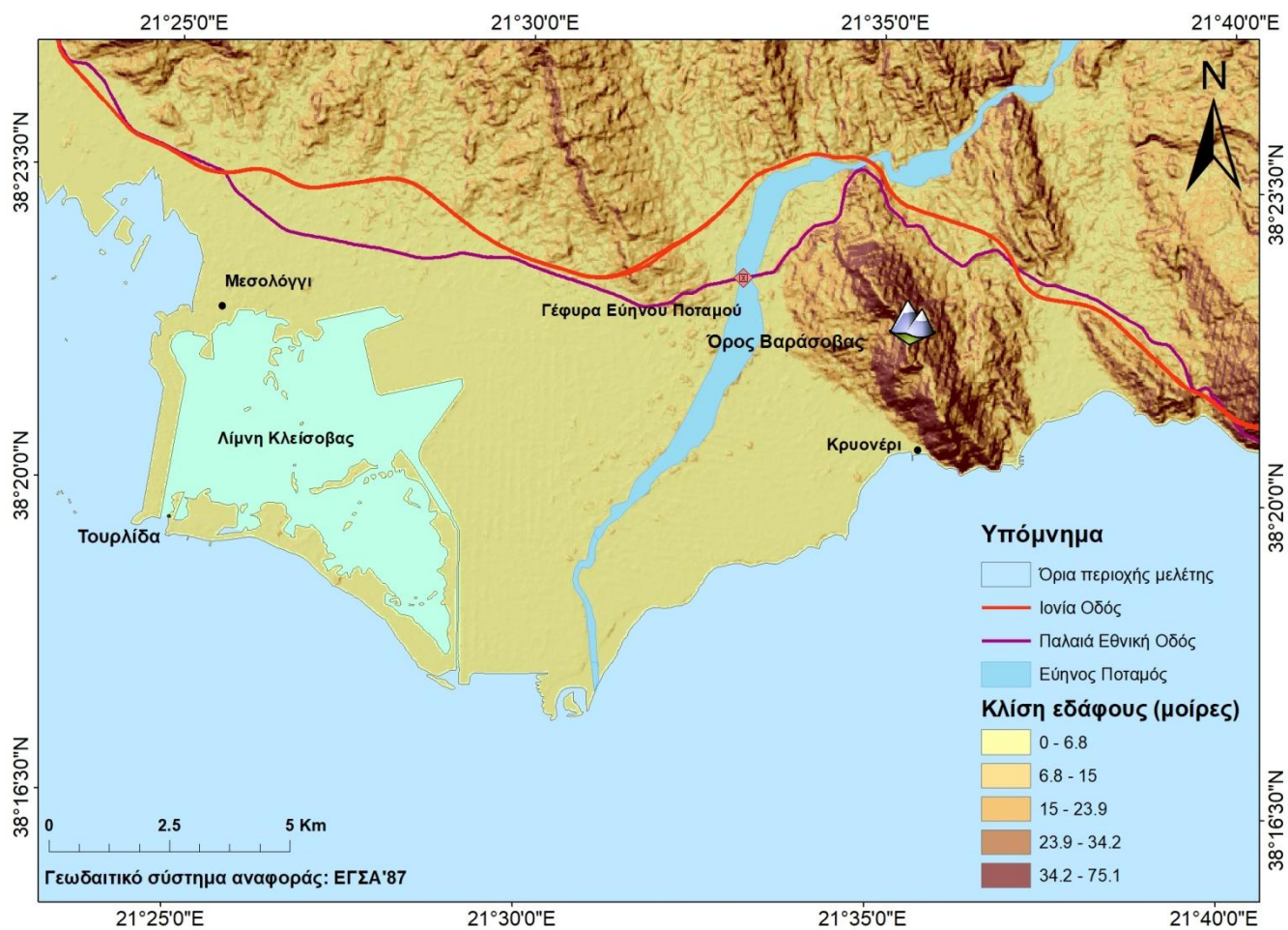
Ο Εύηνος ποταμός αποστραγγίζει μία περιοχή περίπου $1,093 \text{ km}^2$ και εκβάλλει στις βόρειες ακτές του Πατραϊκού κόλπου, όπου η απόθεση των ιζημάτων του έχει σχηματίσει ένα σχετικά εκτεταμένο δέλτα (Καρύμπαλης, 1996).

Ο όρος δέλτα περιλαμβάνει χαρακτηριστικές μορφές απόθεσης που δημιουργούνται σε περιοχές ποτάμιων εκβολών, όταν ο ρυθμός προσφοράς ιζήματος από το ποτάμι είναι ταχύτερος από το ρυθμό απομάκρυνσής του από τις θαλάσσιες διεργασίες. Η δελταϊκή πεδιάδα είναι ένα από τα κύρια μορφολογικά χαρακτηριστικά του δέλτα και συγκεκριμένα είναι το τμήμα το οποίο βρίσκεται πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας (Καρύμπαλης, 2010).

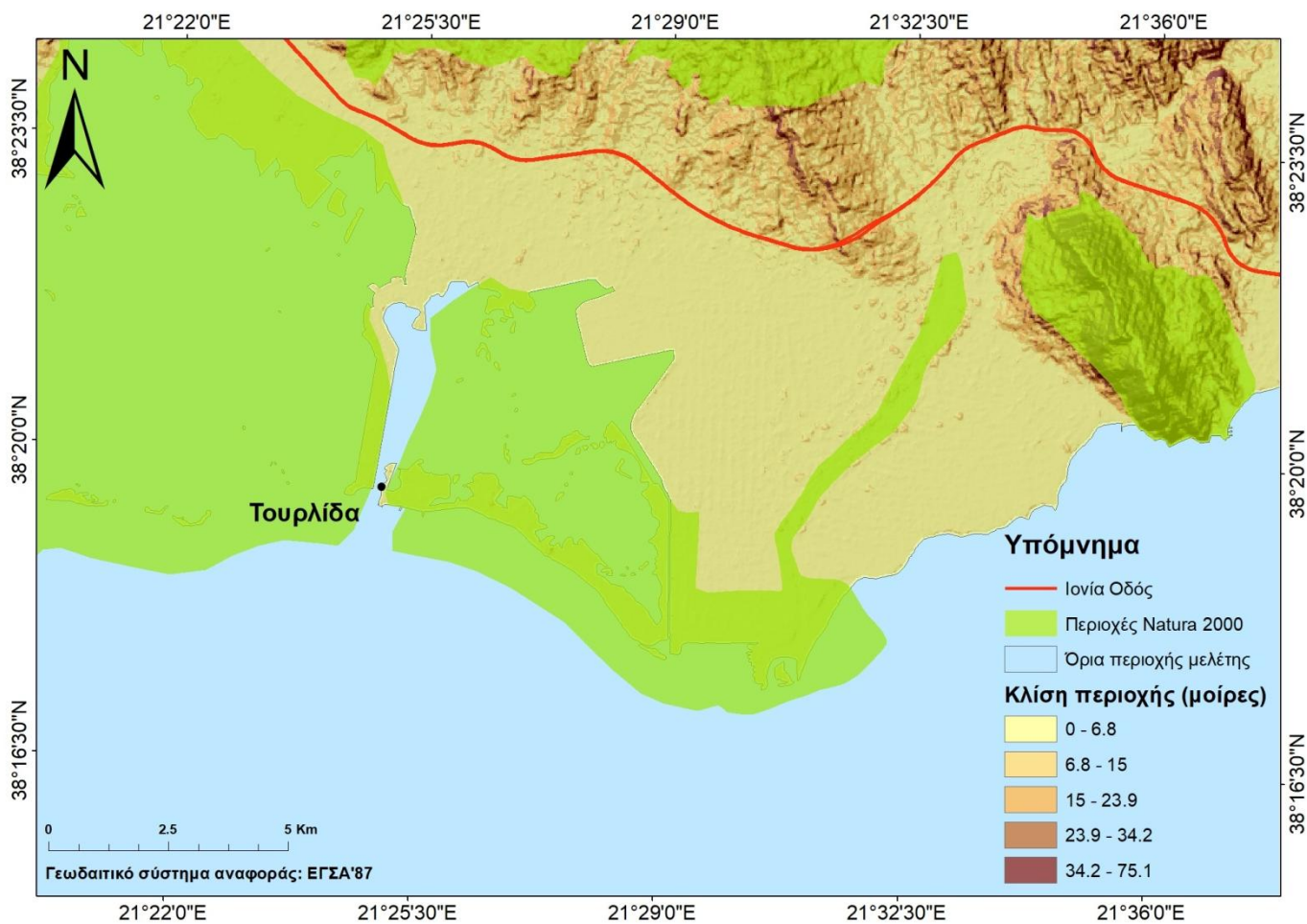


Εικόνα 15 Μορφολογικά χαρακτηριστικά ενός δέλτα (Πηγή: Καρύμπαλης, 2010)

Το δέλτα του Εύηνου ποταμού (Χάρτης 1), καταλαμβάνει συνολικά έκταση 91,84 km², συγκαταλέγεται μεταξύ των δώδεκα μεγαλύτερων στον Ελλαδικό χώρο, καθώς επίσης και στις προστατευόμενες περιοχές του Διευρωπαϊκού Δικτύου Natura 2000 (Χάρτης 2), καθώς και των δέλτα που προστατεύονται από τη σύμβαση για τους Υγροβιότοπους Διεθνούς Σημασίας (σύμβαση Ραμσάρ- RAMSAR Convention). Βόρεια, οριοθετείται από την Ιονία Οδό και την παλαιά Εθνική Οδό (Αντιρίου – Ιωαννίνων) κατά μήκος της οποίας οι δελταϊκές αποθέσεις έρχονται σε επαφή με τον φλύσχη της ενότητας Γαβρόβου. Ο ποταμός εγκαταλείπει την αλλουβιακή πεδιάδα και εισέρχεται στην άνω δελταϊκή πεδιάδα στο ύψος της γέφυρας Εύηνου. Ανατολικά, εκτείνεται μέχρι τον επιβλητικό ορεινό όγκο “Βαράσοβας”, στις παρυφές του οποίου έχουν αναπτυχθεί Πλειστοκαινικοί κώνοι κορημάτων, κατά μήκος ρηγμάτων, κατακόρυφες κατοπτρικές επιφάνειες των οποίων είναι εμφανείς στο χωριό Κρυονέρι, που αποτελεί το ανατολικό άκρο του δέλτα. Δυτικά, η δελταϊκή πεδιάδα φθάνει έως το Μεσολόγγι, ενώ ο οικισμός Τουρλίδα αποτελεί το νοτιοδυτικό της άκρο (Καρύμπαλης, 1996).

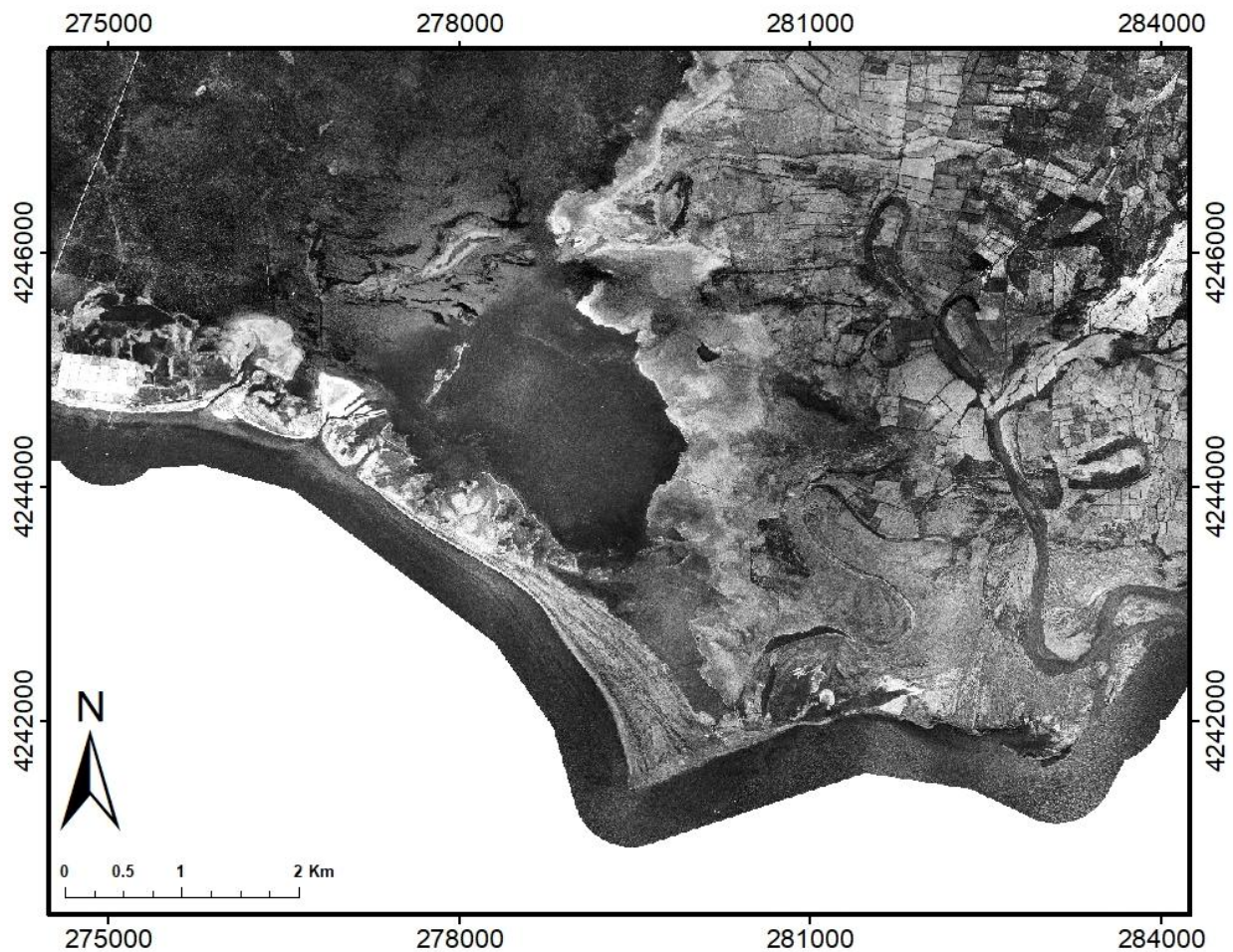


Χάρτης 1 Χάρτης ευρύτερης περιοχής. Κλίμακα: 1:50.000



Χάρτης 2 Χάρτης εμφάνισης περιοχών Natura 200 στην περιοχή μελέτης. Κλίμακα: 1:50.000

Η επιφάνεια της δελταϊκής πεδιάδας του ποταμού καταλαμβάνεται από λεπτόκοκκες αμμώδεις και αργιλικές αλλούβιες αποθέσεις, που αντιστοιχούν σε υπερόχθια υλικά που απέθετε το ποτάμι σε περιόδους πλημμυρικών παροχών. Διασχίζεται από τη σύγχρονη κοίτη του ποταμού, ενώ τόσο ανατολικά όσο και δυτικά της σύγχρονης κοίτης διακρίνονται υπολείμματα εγκαταλελειμμένων, συχνά μαιανδρικών, κοιτών, οι οποίες είναι εμφανείς στην αεροφωτογραφία του 1945, με μεγαλύτερο, όμως, αριθμό να βρίσκεται δυτικά του ποταμού (Χάρτης 3).



Χάρτης 3 Αεροφωτογραφία του 1945 που απεικονίζει τη δελταϊκή πεδιάδα του Εύηνου ποταμού. Κλίμακα: 1.40.000

Χαρακτηριστική είναι, επίσης, η ανάπτυξη μόνιμων και παροδικών ελών στην χαμηλή παράκτια ζώνη της δελταϊκής πεδιάδας. Οι μορφές αυτές δεν καταλαμβάνουν σταθερή

έκταση, αλλά μεταβάλλονται ανάλογα με την εποχή και τις κλιματολογικές συνθήκες. Οι διαστάσεις τους περιορίζονται αρκετά κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών, λόγω της έντονης εξάτμισης που προκαλεί η υψηλή θερμοκρασία, οπότε πολλά από αυτά μετατρέπονται σε εκτεταμένες εκτάσεις αλμυρών εδαφών (Καρύμπαλης, 1996).

Η επιφάνειά τους καταλαμβάνεται από βλάστηση ανθεκτική στο αλμυρό νερό και εμφανίζεται σε περιοχές με χαμηλή κυματική ενέργεια, η οποία ευνοεί τη συσσώρευση και την απόθεση λεπτόκοκκου ιζήματος στον πυθμένα τους (Παπαδόπουλος, 2021), κυρίως ιλύ και άργιλο. Επίσης, σε ορισμένα αλμυρά έλη έχει διατυπωθεί η ύπαρξη μαύρου οργανικού υλικού (Καρύμπαλης, 1996). Τα αλμυρά έλη, λοιπόν, είναι μια ακόμη γεωμορφή απόθεσης που συναντάται στις χαμηλές δελταϊκές πεδιάδες κατά μήκος της ακτογραμμής και οι παράγοντες για τη διαμόρφωσή τους είναι η προσφορά ιζήματος, το καθεστώς της παλίρροιας, ο κυματισμός και οι σχετικές κινήσεις της θαλάσσιας στάθμης (Allen & Pye, 1992). Χαρακτηριστική είναι η παρουσία εκτεταμένου αλμυρού έλους στο δυτικό κομμάτι του δέλτα, στις ακτές της λιμνοθάλασσας, όπου η κυματική ενέργεια είναι αρκετά ήπια (Παπαδόπουλος, 2021).

2.2. Λιμνοθάλασσα Κλείσοβας

Η λιμνοθάλασσα της Κλείσοβας αποτελεί το ΝΑ άκρο της λιμνοθάλασσας του Μεσολογγίου, με γεωγραφικό πλάτος μεταξύ $38^{\circ}18'$ και $38^{\circ}22'$ και γεωγραφικό μήκος μεταξύ $20^{\circ}26'$ και $21^{\circ}29'$. Ουσιαστικά, συνιστά τμήμα του δυτικού δέλτα του Εύηνου ποταμού. Έχει, μάλιστα, τεράστια οικολογική και οικονομική σημασία για την ευρύτερη περιοχή. Η έκτασή της υπολογίζεται σε περίπου 2500 εκτάρια (he) και το βάθος των νερών της δεν ξεπερνά το 1m. Λόγω του μικρού της βάθους επηρεάζεται αρκετά από τις παλίρροιες του Πατραϊκού Κόλπου. Είναι ένας χώρος θαλασσινού νερού κυρίως, προφυλαγμένου από την ανοιχτή θάλασσα με την οποία η επικοινωνία, αν και περιορισμένη, πραγματοποιείται στο ανατολικό τμήμα, μέσω του διαύλου Κλείσοβας (Καρύμπαλης, 1996).

Σημαντικό χαρακτηριστικό της λιμνοθάλασσας είναι η φραγματική γεωμορφή που τη διαχωρίζει από τον Πατραϊκό κόλπο, στα ανατολικά της οποίας εμφανίζονται και οι επιμήκεις παραλιακές ράχες που θα μελετηθούν. Η περιοχή του Λούρου, δεδομένου ότι έχει πολύ μικρό υψόμετρο και αποτελείται από χαλαρές αμμώδεις κυρίως αποθέσεις, την καθιστά ευάλωτη στους παράκτιους κινδύνους που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή, όπως είναι η αναμενόμενη άνοδος της μέσης στάθμης θάλασσας. Υπάρχει κίνδυνος τα επόμενα χρόνια η φραγματική γεωμορφή, η οποία αποτελείται από παραλιακές ράχες, να διαβρωθεί και να κατακλυσθεί από το θαλάσσιο νερό, με αποτέλεσμα να επιτραπεί η πλήρης επικοινωνία μεταξύ της λιμνοθάλασσας και του Πατραϊκού Κόλπου. Η περιοχή εμφανίζει αρκετά μεγάλη τρωτότητα, καθώς κατά μήκος της επιμήκους φραγματικής μορφής έχουν κατασκευαστεί αρκετά κτίρια, κυρίως κατοικίες, ενώ και οι κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις θα είναι σημαντικές για την τοπική κοινωνία, καθώς φιλοξενεί αρκετές μονάδες ιχθυοκαλλιέργειών.

2.3. Παραλιακές ράχες & έλη στο Λούρο

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, οι επιμήκεις παραλιακές ράχες που μελετώνται βρίσκονται στη φραγματική γεωμορφή μεταξύ Τουρλίδας και Άκρα Ευήνου, δηλαδή στην περιοχή του Λούρου, ΝΑ της λιμνοθάλασσας της Κλείσοβας. Εκεί εμφανίζονται αρκετές ράχες παράλληλα σχεδόν μεταξύ τους, οπότε η περιοχή αποτελεί κατά κάποιον τρόπο πεδιάδα επιμήκων παραλιακών ράχων (beach ridges plain-ridge and swale topography). Οι επιμήκεις παραλιακές ράχες που παρατηρούνται στην περιοχή μελέτης, λοιπόν, είναι αποτέλεσμα της δράσης του κυματισμού, ιδιαίτερα σε περιόδους καταιγίδων και της παράκτιας κυκλοφορίας, όπου είναι και η κύρια διεργασία σχηματισμού τους (Εικόνες 16 & 17).

Περαιτέρω ανάλυση των χαρακτηριστικών θα γίνει σε επόμενα κεφάλαια, στα οποία έχουν δημιουργηθεί χάρτες με τη χρήση του λογισμικού ArcGis 10.4 και του Google Earth Pro, καθώς επίσης και εγκάρσιες τοπογραφικές τομές, για την αναλυτικότερη αποτύπωσή τους και τη μελέτη της περιοχής.



Εικόνα 16 Εικόνα drone όπου απεικονίζονται οι επιμήκεις παραλιακές ράχες του Λούρου.



Εικόνα 17 Εικόνα drone όπου απεικονίζονται οι επιμήκεις παραλιακές ράχες του Λούρου (2)

Από τις εικόνες 16 και 17, παρατηρείται ότι οι παραλιακές ράχες έχουν πολύ χαμηλό υψόμετρο, με αποτέλεσμα να είναι εμφανείς μόνο οι κορυφές τους, καθώς η υπόλοιπη έκταση έχει καλυφθεί από νερό. Στην τελευταία σειρά των ράχων, μάλιστα, στο εσωτερικό μέρος της πεδιάδας, έχουν βυθιστεί πλήρως, εξαιτίας της καθίζησης της περιοχής.

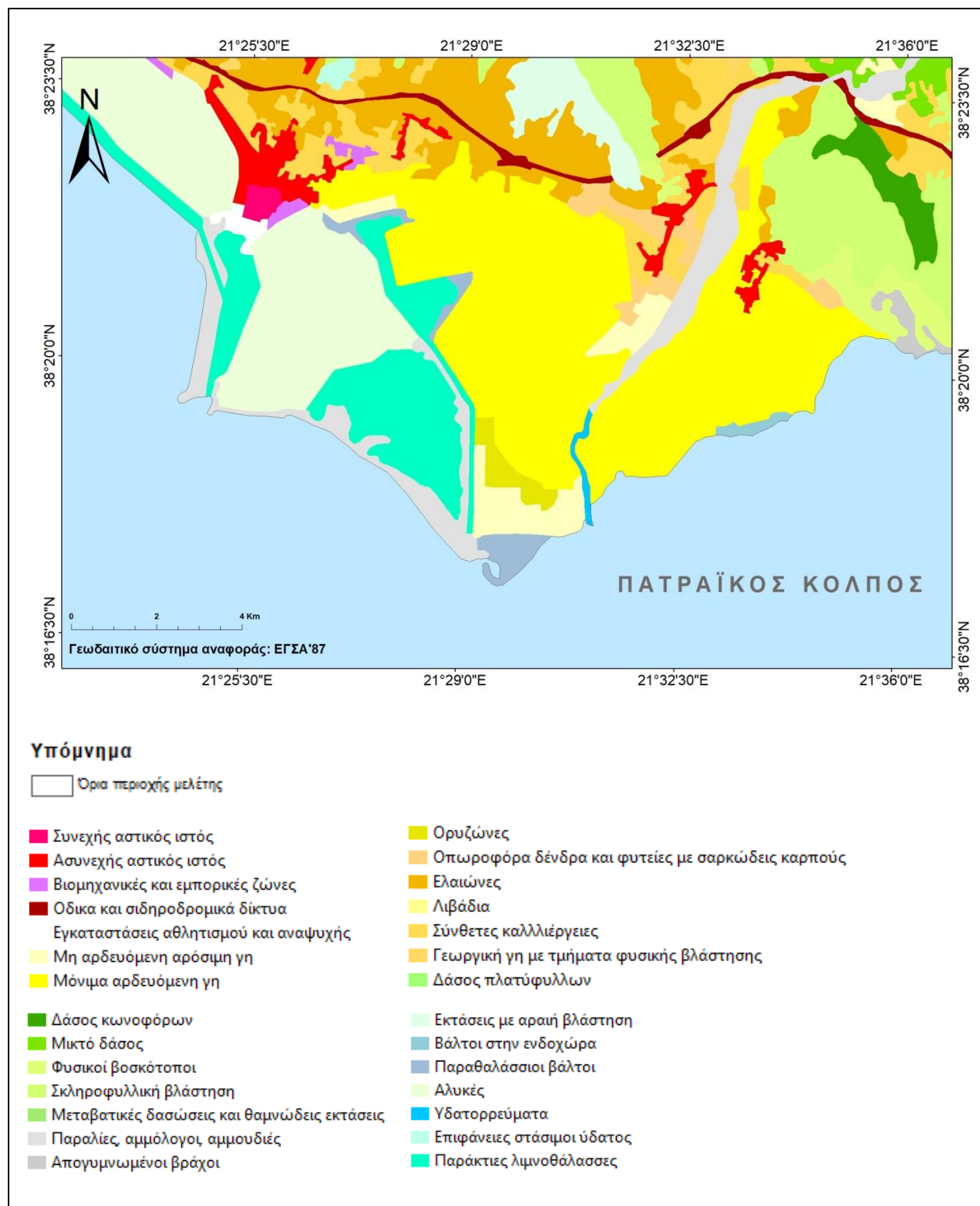
2.4. Χρήσεις γης

Μεγάλο ενδιαφέρον στη δελταϊκή πεδιάδα παρουσιάζει η κάλυψη γης. Σύμφωνα με το χάρτη χρήσεων γης (Χάρτης 4), η μεγαλύτερη έκταση του δέλτα, αντιστοιχεί στην μόνιμα αρδευόμενη γη, δηλαδή τις καλλιέργειες. Όσον αφορά την περιοχή μελέτης, η λιμνοθάλασσα της Κλείσοβας είναι καλυμμένη από το θαλάσσιο νερό του Πατραϊκού κόλπου, χωρίς να υπάρχει μεγάλη παροχή γλυκού νερού, καθώς λειτουργούν μεγάλα ιχθυοτροφεία και αλυκές στην περιοχή της Τουρλίδας (Καρύμπαλης, 1996).

Ιδιαίτερα σημαντική μορφή της περιοχής είναι η πόλη του Μεσολογγίου η οποία επηρεάζει αρνητικά το οικοσύστημα, κυρίως το βόρειο τμήμα της λιμνοθάλασσας, διότι καταλήγουν εκεί πολλά από τα αστικά λύματα. Ειδικότερα, τα απορρίμματα της πόλης συσσωρεύονται στο δίαυλο επικοινωνίας δυτικά της λιμνοθάλασσας, όπου σε συνδυασμό με την αδυναμία ανανέωσης των νερών της λόγω αυτού, προκαλούν προβλήματα στο περιβάλλον, υποβαθμίζοντας έτσι την περιοχή (Maroukian & Karymbalis, 2004).

Μία ανθρωπογενής επέμβαση που είναι σημαντική για την εξέλιξη του δέλτα και αξίζει να αναφερθεί είναι το φράγμα στην περιοχή του οικισμού του Αγίου Δημητρίου. Το φράγμα κατασκευάστηκε για να δώσει λύση στο πρόβλημα ύδρευσης της Αθήνας το 1991, ωστόσο, δημιούργησε προβλήματα στην δελταϊκή πεδιάδα, καθώς μειώθηκε σημαντικά η παροχή γλυκού νερού με αποτέλεσμα να εισρέει αλμυρό νερό και να επηρεάζει αρνητικά τις καλλιέργειες (Καρύμπαλης, 1996). Πέραν της μειωμένης παροχής, μειώθηκε σημαντικά και η προσφορά του δέλτα σε ίζημα. Ανάλογες αρνητικές επιπτώσεις δέχεται και η ήδη αλμυρή λιμνοθάλασσα Κλείσοβα (Maroukian & Karymbalis, 2004).

Για τη δημιουργία του χάρτη χρήσεων γης, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα από την ιστοσελίδα <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018>



Χάρτης 4 Χάρτης χρήσεων γης της δελταϊκής πεδιάδας. Κλίμακα: 1:40.000 (Πηγή: Copernicus, CLC 2018)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο - ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Για την αποτελεσματικότερη εξαγωγή αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων, είναι σημαντικός ο συνδυασμός διαφορετικών δεδομένων. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία είναι χωρικά και δορυφορικά και έχουν όλα ως γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς το ΕΓΣΑ'87, το οποίο αποτελεί το επίσημο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς στην Ελλάδα και χρησιμοποιεί το ελλειψοειδές GRS80.

Η επεξεργασία των δεδομένων και η οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε κυρίως μέσω του εμπορικού λογισμικού ArcGIS 10.4 και συγκεκριμένα με τη χρήση του ArcMap. Επίσης, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό qGis 3.12.1 για παρόμοια χρήση, καθώς επίσης και το πρόγραμμα περιήγησης Google Earth Pro.

3.1. Χωρικά δεδομένα

Για την εκπόνηση της εργασίας, αξιοποιήθηκαν ψηφιδωτά (raster) και διανυσματικά (vector) δεδομένα για τη δημιουργία χαρτών, τα οποία ανακτήθηκαν δωρεάν από ποικίλους διαδικτυακούς τόπους, οι οποίοι θα αναφερθούν αναλυτικά.

Πιο συγκεκριμένα, το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (Digital Elevation Model - DEM) της περιοχής μελέτης και κατ' επέκταση οι χάρτες κλίσεων γης (slope) και ανάγλυφου (hillshade), επεξεργάστηκαν με δεδομένα τα οποία ανακτήθηκαν δωρεάν από την ιστοσελίδα <https://search.earthdata.nasa.gov>, με μέγεθος ψηφίδας 30x30 μέτρα, ενώ ο χάρτης προσανατολισμού (aspect), ο οποίος απαιτούσε λεπτομερέστερη και ακριβέστερη αποτύπωση των ράχων, επεξεργάστηκε με ψηφιδωτά δεδομένα του Ελληνικού Κτηματολογίου, με μέγεθος ψηφίδας 5x5 μέτρα.

Όσον αφορά τα διανυσματικά δεδομένα, ανάλογα με τον τύπο τους χρησιμοποιήθηκε και διαφορετική πηγή. Ειδικότερα, τα γραμμικά δεδομένα (Ιονία Οδός & παλαιά Εθνική Οδός), καθώς και τα σημεία (Τουρλίδα, Μεσολόγγι, Κρυονέρι, όρος Βαράσοβας & Γέφυρα Εύηνου ποταμού), ψηφιοποιήθηκαν στην ενότητα "My Maps" της υπηρεσίας Google Maps και ανακτήθηκαν με τη μορφή KML. Ακολούθως, προ-επεξεργάστηκαν στο λογισμικό qGis 3.12.1

όπου μετατράπηκαν σε αρχεία shapefile (shp) με σύστημα γεωαναφοράς το ΕΓΣΑ'87 και τέλος εισάχθηκαν στο λογισμικό ArcGis για την τελική επεξεργασία στους χάρτες περιοχής μελέτης. Όσον αφορά τα πολύγωνα που χρησιμοποιήθηκαν, τα δεδομένα κάλυψης γης του 2018 ανακτήθηκαν από το Copernicus¹ (<https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018>) και οι περιοχές Natura 2000, καθώς και οι νομοί της Ελλάδας, ανακτήθηκαν από τον κατάλογο ανοιχτών δεδομένων <http://geodata.gov.gr>.

3.2. Δορυφορικά δεδομένα

Η αεροφωτογραφία του 1945, απαρτίζεται από 25 διαφορετικές εικόνες, που έχουν ήδη γεωαναφερθεί (Καρύμπαλης, 1996) και ανακτήθηκαν από το Ελληνικό Κτηματολόγιο.

¹ Το Copernicus είναι το πρόγραμμα παρακολούθησης της Γης της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) που συντονίζεται και διαχειρίζεται η Ευρωπαϊκή Επιτροπή σε συνεργασία με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Διαστήματος, τα κράτη μέλη της ΕΕ και τους οργανισμούς της ΕΕ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο - ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η παρούσα εργασία αποσκοπεί στη χαρτογράφηση των επιμήκων παραλιακών ράχων, στη διαχρονική παρακολούθηση της ακτογραμμής και στη μελέτη του Λούρου ως προς το βάθος, τη διάβρωση και την εκτίμηση της μελλοντικής εξέλιξής του. Για την επίτευξη του σκοπού αυτού, ακολουθήθηκε μια σειρά βημάτων, τα οποία θα περιγράψουν αναλυτικά στη συνέχεια του κεφαλαίου.

4.1. Χαρτογράφηση επιμήκων παραλιακών ράχων

Για την πιο λεπτομερή αποτύπωση των επιμήκων παραλιακών ράχων στη φραγματική γεωμορφή επιχειρήθηκαν δύο τρόποι χαρτογράφησης. Ο πρώτος τρόπος, υλοποιήθηκε μέσω του δωρεάν διαδικτυακού προγράμματος γραφικής απεικόνισης της Γης, Google Earth Pro και ο δεύτερος μέσω της δημιουργίας του χάρτη προσανατολισμού της περιοχής, χρησιμοποιώντας το εμπορικό λογισμικό ArcGis 10.4.1.

4.1.1. 1^{ος} τρόπος – Google Earth Pro

Στην πρώτη προσπάθεια χαρτογράφησης, για την αποτύπωση των ράχων χρησιμοποιήθηκε ως εικόνα αναφοράς η πιο πρόσφατη που διατίθεται στο πρόγραμμα γραφικής απεικόνισης Google Earth Pro, δηλαδή του Φεβρουαρίου του 2020 (Εικόνα 18). Έχοντάς την ως υπόβαθρο, λοιπόν, καθώς και με τη χρήση των βοηθητικών εργαλείων του προγράμματος, ψηφιοποιήθηκαν οι επιμήκεις παραλιακές ράχες, οι επιμήκεις αύλακες και τα έλη της πεδιάδας, δημιουργώντας πολύγωνα διαφορετικού χρώματος για κάθε μορφή ξεχωριστά. Στη συνέχεια, τα πολύγωνα εξάχθηκαν από το πρόγραμμα με τη μορφή KML και εισάχθηκαν στο λογισμικό qGis 3.12.1 όπου εκεί τα αρχεία μετατράπηκαν σε shapefile (shp) με σύστημα γεωαναφοράς το ΕΓΣΑ 87 και τέλος εισάχθηκαν σε περιβάλλον ArcGis για την τελική επεξεργασία και εξαγωγή του χάρτη απεικόνισής τους.



Εικόνα 18 Εικόνα Google Earth όπου φαίνεται η περιοχή μελέτης (Πηγή: Google Earth Pro)

4.1.2. 2^{ος} τρόπος – Χάρτης προσανατολισμού (Aspect)

Στη δεύτερη προσπάθεια χαρτογράφησης, οι ράχες αποτυπώθηκαν με υπόβαθρο το χάρτη προσανατολισμού. Ο χάρτης αυτός δημιουργήθηκε από ένα ψηφιδωτό επίπεδο με βάση το DEM, το οποίο κατασκευάστηκε με το εργαλείο aspect και απεικονίζει με αρκετά μεγάλη λεπτομέρεια τον προσανατολισμό σε όλη την έκταση της περιοχής, διότι το μέγεθος ψηφίδας είναι 5x5 μέτρα. Επιπλέον, είναι πολύ πιθανό ότι οι ράχες και οι επιμήκεις αύλακες που μελετώνται, έχουν τον ίδιο προσανατολισμό μεταξύ τους. Έτσι, είναι εύκολα διακριτές στο χάρτη, με την κατάλληλη παλέτα, με αποτέλεσμα την επιτυχή ψηφιοποίηση τους.

4.2. Μελέτη ακτογραμμής

Για τη μελέτη των μεταβολών της ακτογραμμής με την πάροδο του χρόνου, επιχειρήθηκε διαχρονική παρατήρηση. Ειδικότερα, χαρτογραφήθηκε η ακτογραμμή του 1945 στο λογισμικό ArcGIS 10.4, με τη βοήθεια της αεροφωτογραφίας που χρησιμοποιήθηκε ως υπόβαθρο, καθώς και οι ακτογραμμές του 1985 και του 2020, οι οποίες ανακτήθηκαν μέσω της πλατφόρμας

Google Earth Pro. Στη συνέχεια, οι ακτογραμμές των δύο χρονικών περιόδων (1985 και 2020), εξάχθηκαν με τη μορφή KML και εισάχθηκαν στο λογισμικό qGis 3.12.1, όπου μετατράπηκαν σε αρχεία shapefile (shp) με σύστημα γεωαναφοράς το ΕΓΣΑ'87. Τέλος, εισάχθηκαν σε περιβάλλον ArcGIS, όπου έγινε η σύγκρισή των τριών χρονολογιών και βρέθηκε ο ρυθμός υποχώρησης της ακτογραμμής. Αποτέλεσμα της διαχρονικής μελέτης είναι η παρατήρηση της διάβρωσης που έχει υποστεί η ακτογραμμή με την πάροδο των χρόνων.

4.3. Μελέτη περιοχής – Εγκάρσιες τοπογραφικές τομές

Για τον προσδιορισμό της πιθανής εξαφάνισης της περιοχής μελέτης λόγω της ανόδου της στάθμης της θάλασσας, κρίθηκε απαραίτητη η μελέτη της περιοχής και ως προς το βάθος της. Αυτό επιτεύχθηκε με τη δημιουργία εγκάρσιων τοπογραφικών τομών στην περιοχή του Λούρου, μέσω της πλατφόρμας Google Earth Pro. Ειδικότερα, με τη βοήθεια των εργαλείων της πλατφόρμας σχεδιάστηκαν τομές σε όλη την περιοχή ενδιαφέροντος, η οποία στο μήκος της πλησιάζει τα 2 χιλιόμετρα και στο πλάτος της το 1 χιλιόμετρο. Οι τομές είχαν μεταξύ τους απόσταση 50 έως 100 μέτρα και μήκος 700 έως 900 μέτρα, τόσο ώστε να την καλύψει όλη, ανάλογα με το σημείο. Στη συνέχεια, μέσω ειδικών ρυθμίσεων του προγράμματος, σχεδιάστηκαν οι τοπογραφικές τομές, για το κάθε σημείο ξεχωριστά. Τέλος, εξάχθηκαν από το πρόγραμμα με τη μορφή εικόνας (png).

4.4. Συμβολομετρία – Εδαφική παραμόρφωση

Η μελέτη της εδαφικής παραμόρφωσης του δέλτα του Εύηνου ποταμού με τη χρήση μεθόδων συμβολομετρίας, η αναζήτηση του ρόλου της συμπύκνωσης των δελταϊκών αποθέσεων στην καθίζηση και η διαχρονική παρατήρηση των μεταβολών της ακτογραμμής της περιοχής μελέτης (Παπαδόπουλος, 2021), ήταν απαραίτητες τεχνικές για την πιο λεπτομερή και αποτελεσματική μελέτη της περιοχής του Λούρου.

4.5. Εκτίμηση μελλοντικής εξέλιξης της περιοχής των παραλιακών ράχων

Με σκοπό την εκτίμηση της μελλοντικής εξέλιξης του Λούρου εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής και διαφόρων διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στην περιοχή, συνυπολογίστηκαν δύο παράγοντες. Ο πρώτος αφορά τον ευστατισμό, δηλαδή τη μελλοντική άνοδο της στάθμης της θάλασσας λόγω αλλαγής κλιματολογικών συνθηκών στον πλανήτη (κλιματική αλλαγή), όπου σύμφωνα με το τελευταίο report της IPCC αναφέρονται δύο πιθανά σενάρια έως και το 2100, το αισιόδοξο και το απαισιόδοξο. Ο δεύτερος παράγοντας αφορά την άνοδο της στάθμης της θάλασσας λόγω καθίζησης εξαιτίας της συμπύκνωσης των ιζημάτων, η οποία υπολογίστηκε στην έρευνα της συμβολομετρίας σε χιλιοστά ανά έτος (Παπαδόπουλος, 2021). Για να βρεθεί, λοιπόν, η άνοδος της στάθμης λόγω καθίζησης έως το έτος 2100, πολλαπλασιάστηκε ο ρυθμός καθίζησης (mm/yr) με τα έτη που απομένουν μέχρι το 2100.

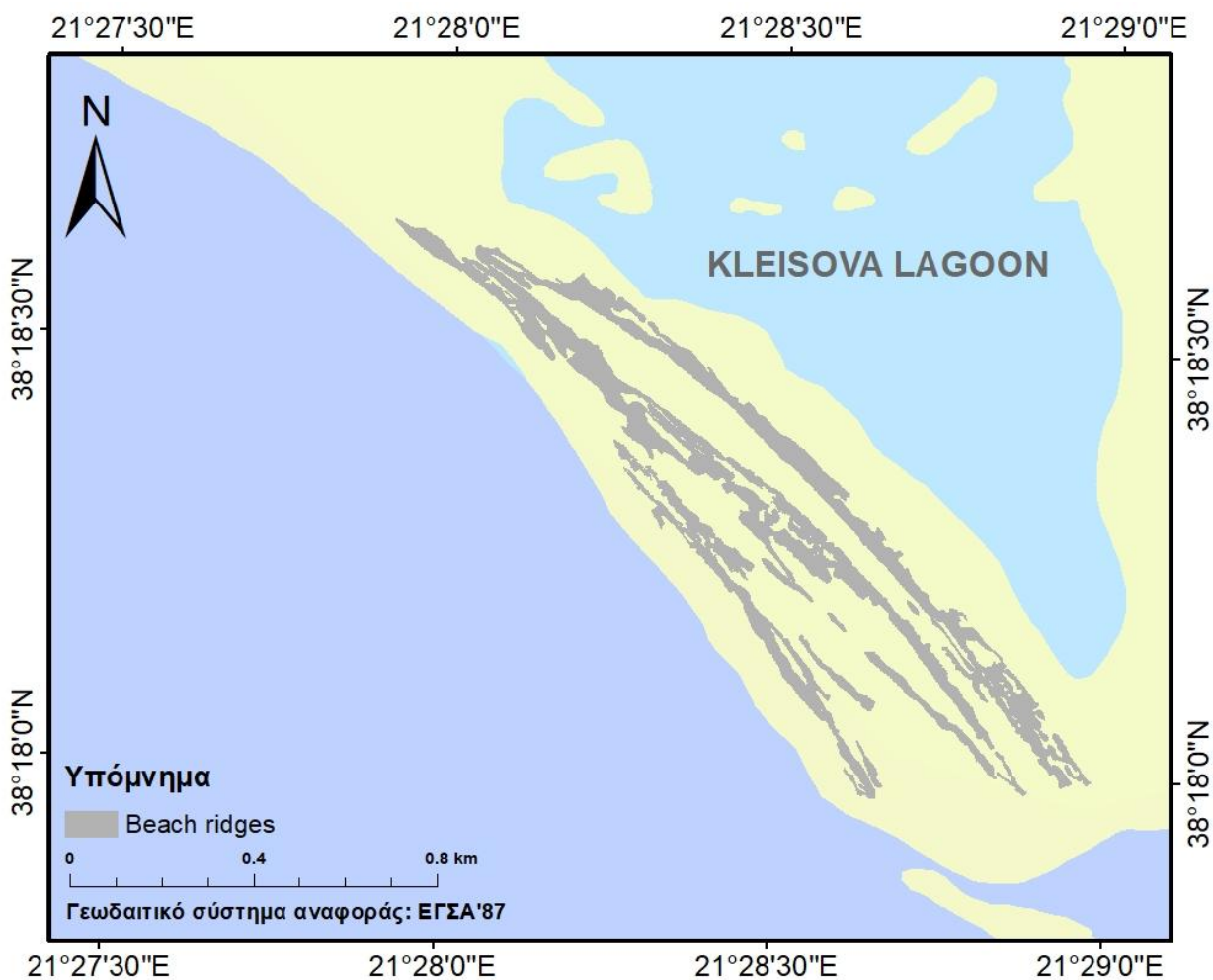
Τέλος, τα δύο αποτελέσματα που προέκυψαν προστέθηκαν, έτσι ώστε η τιμή να συγκριθεί με το υψόμετρο της περιοχής. Αν η τιμή είναι μεγαλύτερη από το υψόμετρο, τότε μέχρι το 2100 αναμένεται η βύθιση της περιοχής μελέτης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1. Χαρτογράφηση επιμήκων παραλιακών ράχων

Κατά την εκπόνηση της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικές μεθοδολογίες για τη χαρτογράφηση των επιμήκων παραλιακών ράχων. Η πρώτη επιχειρήθηκε μέσω του προγράμματος Google Earth Pro και η δεύτερη μέσω του λογισμικού ArcGIS 10.4.

5.1.1. Google Earth Pro



Χάρτης 5 Χαρτογράφηση επιμήκων παραλιακών ράχων, μέσω του Google Earth Pro. Κλίμακα 1:10.000

Στο χάρτη 5, παρουσιάζεται η πρώτη προσπάθεια χαρτογράφησης της περιοχής μελέτης, όπου οι γκρι μορφές αποτυπώνουν τις επιμήκεις παραλιακές ράχες της περιοχής, όπως ακριβώς απεικονίζονται στο πρόγραμμα περιήγησης Google Earth Pro. Παρατηρείται εμφανώς ότι το

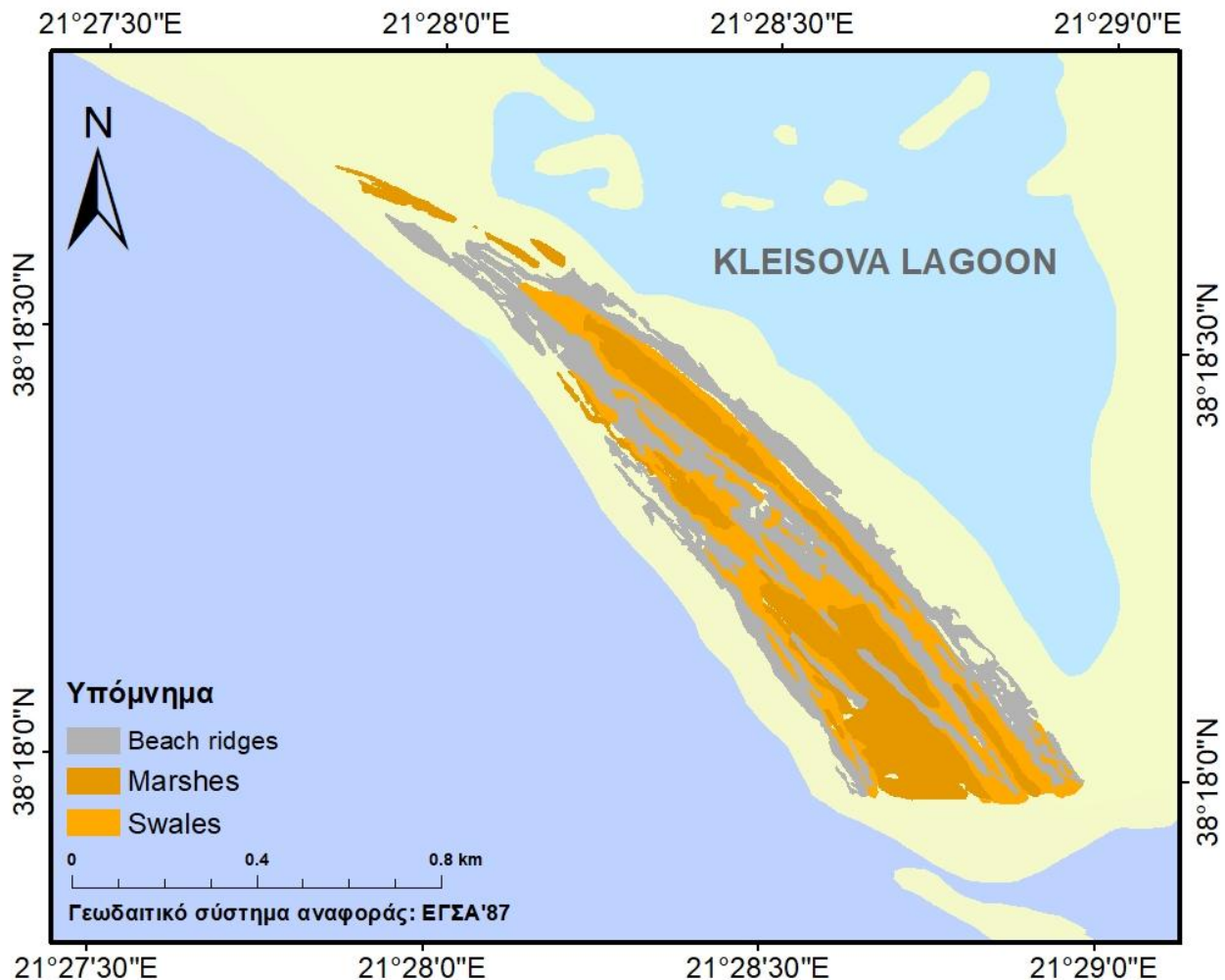
μέγεθος των ράχων διαφέρει ως προς το μήκος και το πλάτος τους. Αυτό που δεν είναι εύκολα διακριτό, όμως, είναι ο αριθμός αυτών και για το λόγο αυτό σχεδιάστηκαν πάνω στο χάρτη (Χάρτης 6).



Χάρτης 6 Αποτύπωση επιμήκων παραλιακών ράχων. Κλίμακα 1:10.000

Στο χάρτη 6, παρουσιάζεται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια η επιπλέον προσπάθεια αποτύπωσης των επιμήκων παραλιακών ράχων, με σχεδιαζόμενες γραμμές πάνω στις γκρι γεωμορφές, έτσι ώστε να γίνει πιο ξεκάθαρος ο αριθμός τους. Απεικονίζονται, λοιπόν, 13 ράχες διαφορετικού μεγέθους η μία από την άλλη, τοποθετημένες παράλληλα ή σχεδόν παράλληλα μεταξύ τους ή ως προς την ακτογραμμή, σε όλη την έκταση της περιοχής μελέτης.

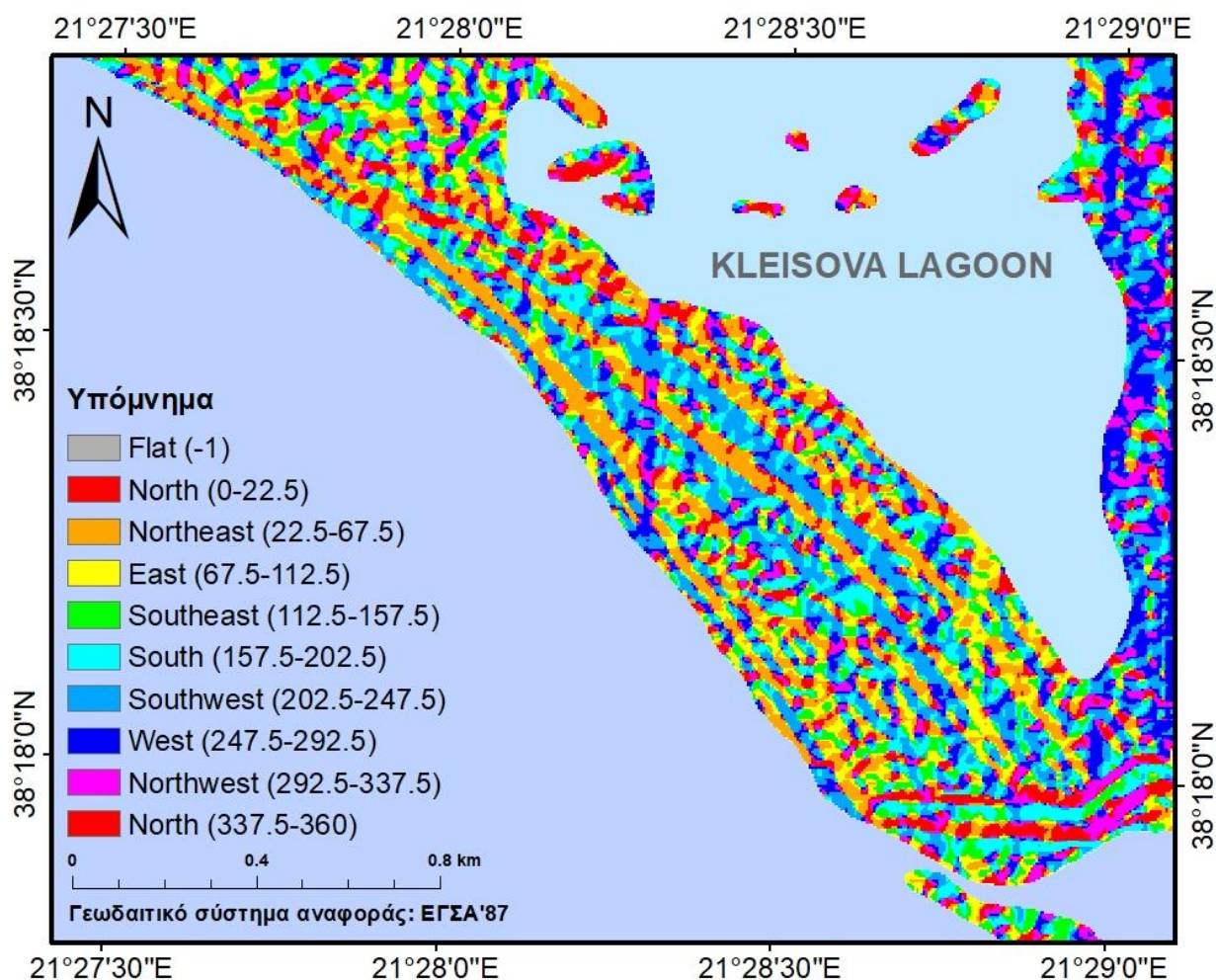
Σύμφωνα με την τοποθεσία των ράχων, παρατηρείται ότι ορισμένες από αυτές ακολουθούν την ίδια κατεύθυνση, το οποίο καθιστά πιθανό το ενδεχόμενο να αποτελούσαν μία ράχη στο παρελθόν, προτού διαβρωθούν εξαιτίας διαφόρων διεργασιών, όπως η καθίζηση της περιοχής.



Χάρτης 7 Χαρτογράφηση περιοχής μελέτης μέσω του Google Earth Pro. Κλίμακα 1:10.000

Στο χάρτη 7, απεικονίζεται η ολοκληρωμένη εικόνα της περιοχής μελέτης . Πιο συγκεκριμένα, εκτός από τις επιμήκεις παραλιακές ράχες (γκρι γεωμορφές), εμφανίζονται και οι επιμήκεις αύλακες, καθώς και τα έλη της περιοχής με πορτοκαλί και ανοιχτό καφέ χρώμα αντίστοιχα. Παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής του Λούρου αποτελείται από επιμήκεις αύλακες και έλη, καθώς πολλές από τις κορυφές των ράχων έχουν βυθιστεί εξαιτίας του νερού.

5.1.2. Χάρτης προσανατολισμού

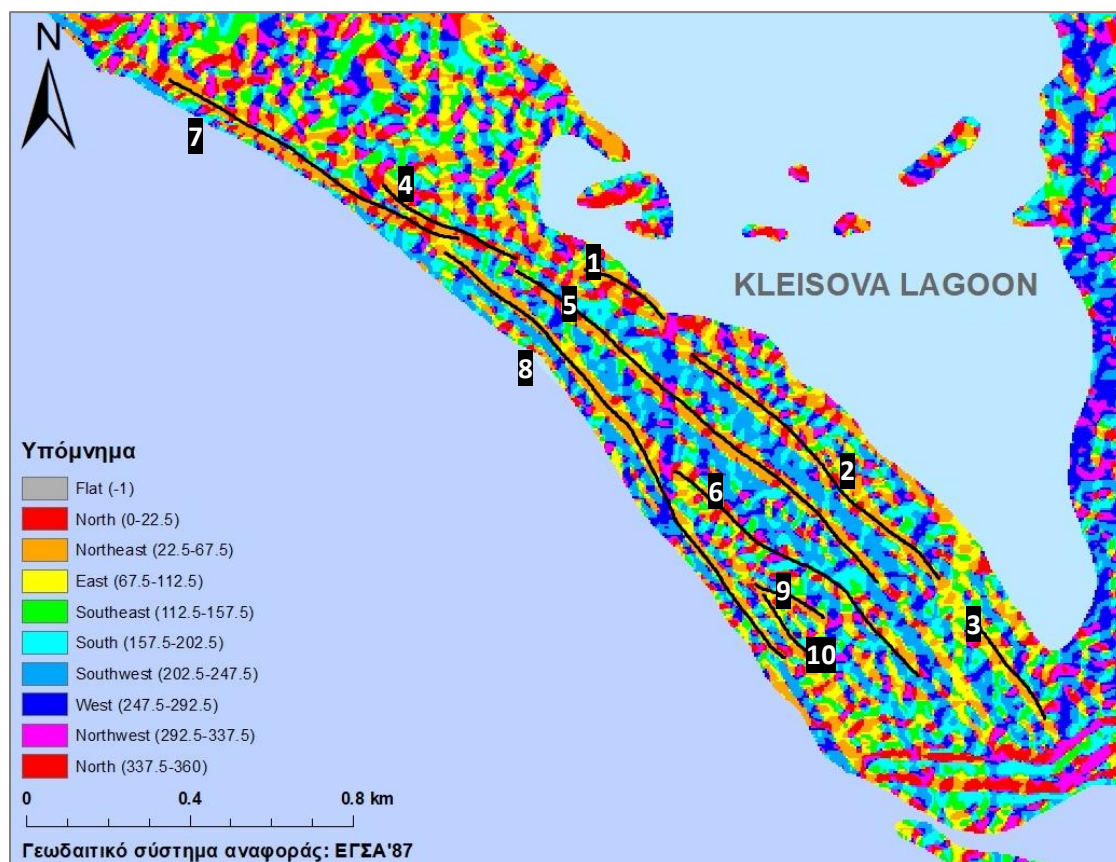


Χάρτης 8 Χάρτης προσανατολισμού περιοχής μελέτης. Κλίμακα: 1:10.000

Στο χάρτη 8, παρατηρείται η δεύτερη προσπάθεια χαρτογράφησης της περιοχής μελέτης, μέσω του χάρτη προσανατολισμού (aspect), στην οποία με πορτοκαλί χρώμα σχηματίζονται επιμήκεις μορφές παράλληλα της ακτογραμμής, με βορειοανατολικό προσανατολισμό, το σχήμα και η τοποθεσία των οποίων παραπέμπει σε επιμήκεις παραλιακές ράχες. Επιπλέον, παρατηρείται ότι οι περιοχές μεταξύ των πορτοκαλί γεωμορφών, δηλαδή οι επιμήκεις αύλακες και τα έλη, αποτυπώνονται κυρίως με γαλάζιο χρώμα, το οποίο υποδηλώνει νότιο προσανατολισμό.

Σε αυτό το σημείο, αξίζει να αναφερθεί ότι η ανάλυση του χάρτη είναι η καλύτερη διαθέσιμη που υπάρχει για την περιοχή. Παρόλα αυτά είναι αρκετά πιθανό να μην απεικονίζονται όλες οι ράχες της περιοχής, δεδομένου ότι το μέγεθος ψηφίδας του χάρτη είναι 5x5 μέτρα με αποτέλεσμα οι μικρότερου πλάτους ή και μήκους ράχες να μην είναι διακριτές. Αυτόματα, αυτό υποδηλώνει και ότι οι ράχες που απεικονίζονται στο χάρτη 8 έχουν μεγάλο εύρος.

Για την αποτελεσματικότερη αποτύπωση, αλλά και την καταμέτρηση των γεωμορφών από το συγκεκριμένο χάρτη, σχεδιάστηκαν οι ράχες, με υπόβαθρο το πορτοκαλί χρώμα. Τα αποτελέσματα απεικονίζονται στον παρακάτω χάρτη.

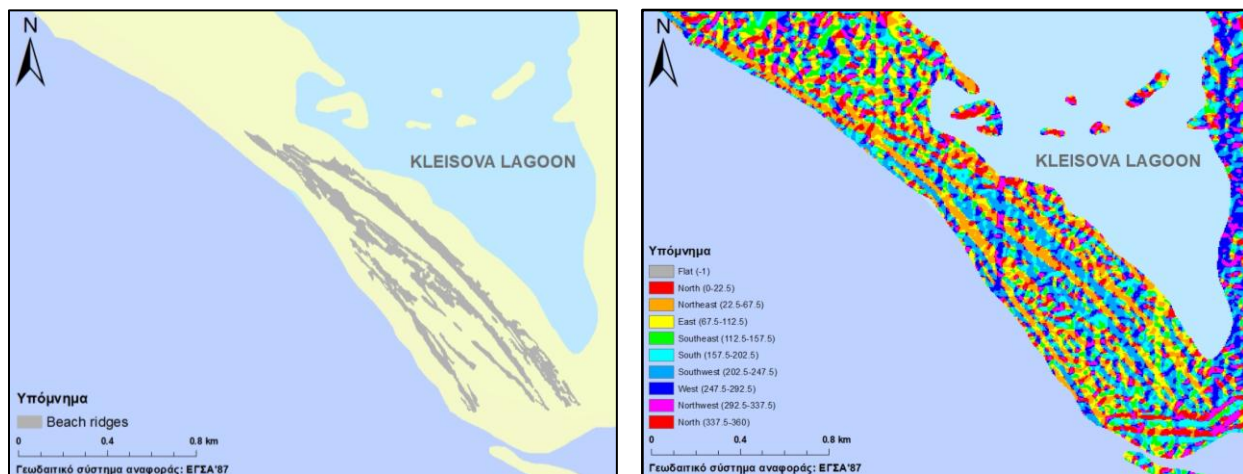


Χάρτης 9 Σχεδιασμός επιμήκων παραλιακών ράχων με τη χρήση του χάρτη προσανατολισμού. Κλίμακα: 1:10.000

Στο χάρτη 9 παρουσιάζεται η προσπάθεια αποτύπωσης των επιμήκων παραλιακών ράχων με σχεδιαζόμενες μαύρες γραμμές στην ακριβή τοποθεσία των επιμήκων μορφών που παρουσιάζονταν στο χάρτη 8. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται πιο διακριτός ο αριθμός των

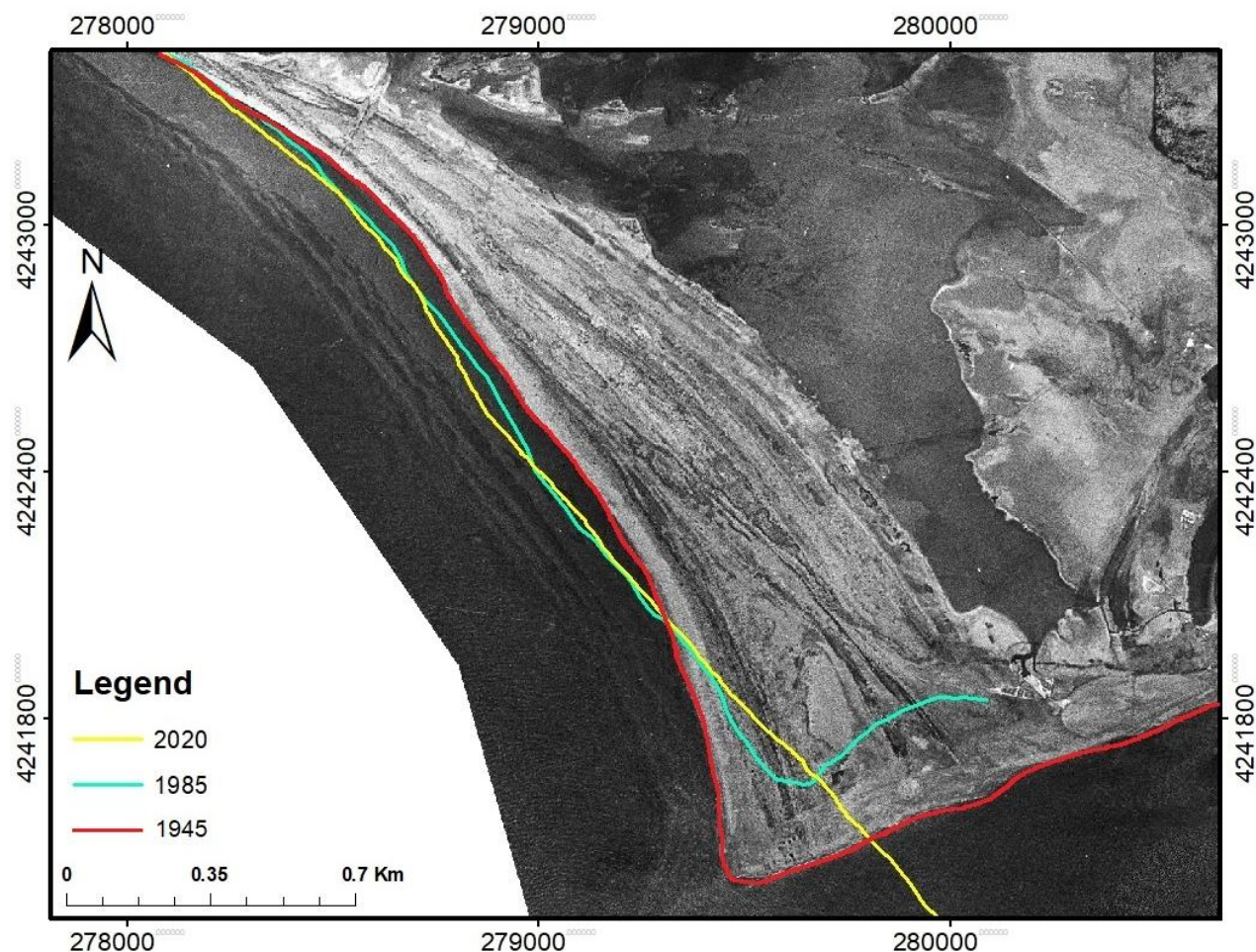
ράχων. Παρατηρούνται, λοιπόν, 10 ράχες, διαφορετικού μεγέθους μεταξύ τους, παράλληλες ή σχεδόν παράλληλες η μία με την άλλη, καθώς και ως προς την ακτογραμμή.

5.1.3. Σύγκριση των δύο μεθοδολογιών χαρτογράφησης



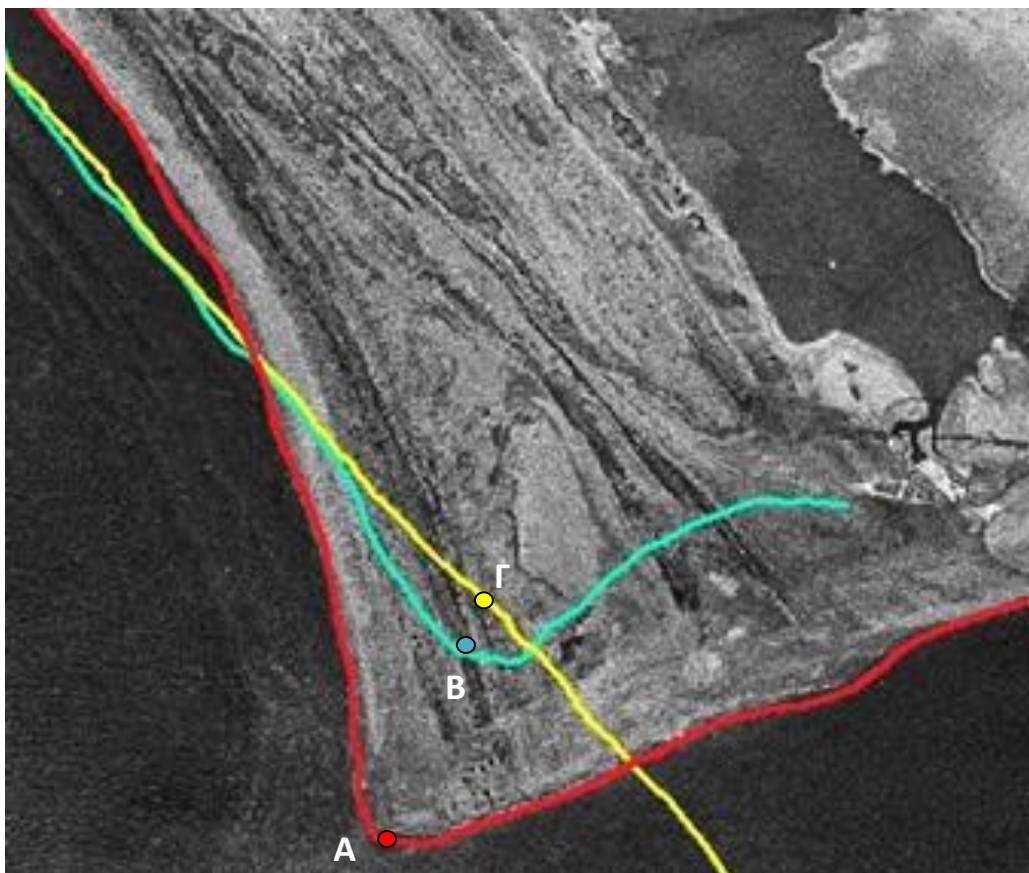
Η βασική διαφορά των 2 τρόπων χαρτογράφησης είναι στον αριθμό των ράχων που απεικονίζονται. Στην πρώτη προσπάθεια αποτύπωσής τους, μέσω Google Earth Pro, οι ράχες είναι 13, ενώ στη δεύτερη προσπάθεια, μέσω του χάρτη προσανατολισμού, οι ράχες είναι 10. Ο κύριος λόγος αυτής της διαφοράς είναι ότι ο δεύτερος χάρτης έχει δημιουργηθεί με ψηφιακά δεδομένα (raster), όπου η ανάλυση της ψηφίδας είναι 5x5 μέτρα και επομένως οτιδήποτε μικρότερο από 5 μέτρα δεν είναι εμφανές. Άρα απεικονίζονται μόνο οι ράχες που έχουν μήκος ή/και πλάτος ίσο ή μεγαλύτερο των 5 μέτρων. Παρόλα αυτά, παρατηρείται ότι η απεικόνιση και η τοποθεσία των ράχων δε διαφέρει κατά πολύ από τον ένα χάρτη στον άλλον, με αποτέλεσμα ο ένας χάρτης να επιβεβαιώνει τα στοιχεία του άλλου.

5.2. Μελέτη ακτογραμμής



Χάρτης 10 Αεροφωτογραφία 1945 και σχεδιασμός ακτογραμμών 1945, 1985 και 2020. Κλίμακα 1:11.000

Στο Χάρτη 10 παρουσιάζεται η περιοχή του Λούρου μέσω αεροφωτογραφίας του 1945, πάνω στην οποία απεικονίζονται οι ακτογραμμές του 1945, 1985 και 2020, με κόκκινο, γαλάζιο και κίτρινο χρώμα αντίστοιχα, με αποτέλεσμα τη διαχρονική μελέτη της ακτογραμμής. Παρατηρείται ότι η ακτογραμμή έχει διαφοροποιηθεί με την πάροδο των χρόνων σχεδόν σε όλο το μήκος της, είτε αυτό είναι λόγω προώθησης της ακτογραμμής, είτε λόγω διάβρωσής της. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον, όμως, παρουσιάζει η διάβρωση της ακτογραμμής στο ΝΑ άκρο της περιοχής, στην Άκρα Ευήνου. Στην Εικόνα 19, λοιπόν, φαίνεται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια η Άκρα Ευήνου, με σκοπό να μετρηθεί η απόκλιση (σε μέτρα) που έχουν οι ακτογραμμές μεταξύ τους και στη συνέχεια ο ρυθμός υποχώρησης της ακτογραμμής.



Εικόνα 19 Μεγέθυνση χάρτη 10. Άκρα Ευήνου

Έπειτα από μέτρηση που πραγματοποιήθηκε στο πρόγραμμα ArcGIS, όπου Α, Β και Γ τα σημεία αναφοράς των ακτογραμμών 1945, 1985 και 2020 αντίστοιχα, βρέθηκε ότι:

- Η απόκλιση του σημείου Α από το σημείο Β είναι 275 μέτρα και το χρονικό διάστημα μεταξύ αυτών των δύο είναι 40 χρόνια. Άρα, ρυθμός υποχώρησης της ακτογραμμής μεταξύ Α και Β είναι:

$$\frac{275 \text{ μέτρα}}{40 \text{ χρόνια}} = \mathbf{6,875 \text{ μέτρα/χρόνο}}$$

- Η απόκλιση του σημείου Β από το σημείο Γ είναι 65 μέτρα και το χρονικό διάστημα μεταξύ αυτών των δύο είναι 35 χρόνια. Άρα, ο ρυθμός υποχώρησης της ακτογραμμής μεταξύ Β και Γ είναι:

$$\frac{65 \text{ μέτρα}}{35 \text{ χρόνια}} = \mathbf{1,857 \text{ μέτρα/χρόνο}}$$

- Τέλος, η απόκλιση του σημείου Α από το σημείο Γ είναι 340 μέτρα (275+65) και το χρονικό διάστημα είναι 75 χρόνια (40+35). Επομένως, ο ρυθμός υποχώρησης της ακτογραμμής από το 1945 έως και το 2020 είναι:

$$\frac{340 \text{ μέτρα}}{75 \text{ χρόνια}} = \mathbf{4,53 \text{ μέτρα/χρόνο}}$$

Σύμφωνα με τα παραπάνω, συμπεραίνεται ότι η ακτογραμμή του Λούρου και συγκεκριμένα στο ΝΑ άκρο της, στην Άκρα Ευήνου, διαβρώνεται με γρήγορο ρυθμό κατά την πάροδο των χρόνων.

5.3. Τοπογραφικές τομές

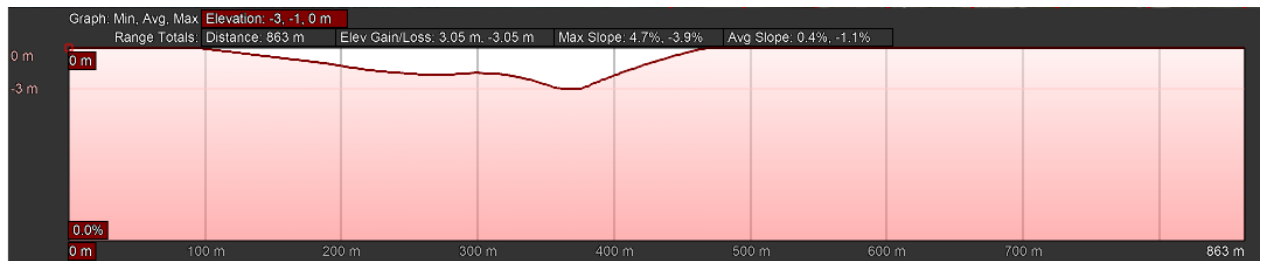
Με τη βοήθεια εγκάρσιων τοπογραφικών τομών (Χάρτης 11), επιτεύχθηκε η μελέτη της περιοχής ως προς το βάθος της.



Χάρτης 11 Απεικόνιση εγκάρσιων τοπογραφικών τομών στην περιοχή μελέτης.

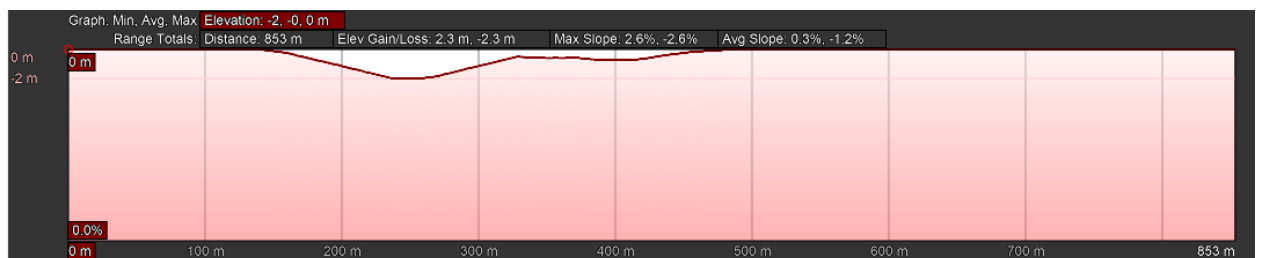
Στο Χάρτη 11, απεικονίζονται οι 23 εγκάρσιες τοπογραφικές τομές που σχεδιάστηκαν στην περιοχή ενδιαφέροντος, με στόχο τη μελέτη της τοπογραφίας της. Η επιφάνεια που καλύπτουν οι τομές, είναι σχεδόν 2 χιλιόμετρα στο μήκος της και 700 έως και 900 μέτρα στο πλάτος της. Οι τομές έχουν μεταξύ τους απόσταση 50 έως 100 μέτρα. Τα χαρακτηριστικά της κάθε τομής, παρουσιάζονται αναλυτικά παρακάτω.

1.



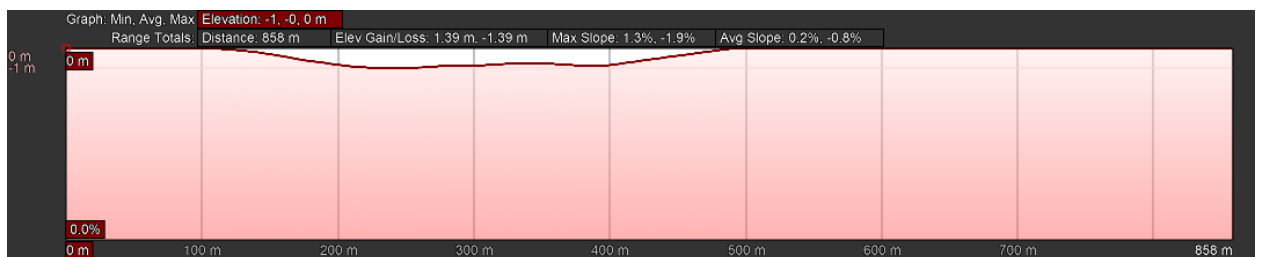
Οι τιμές βάθους κυμαίνονται από -3 έως 0 μέτρα.

2.



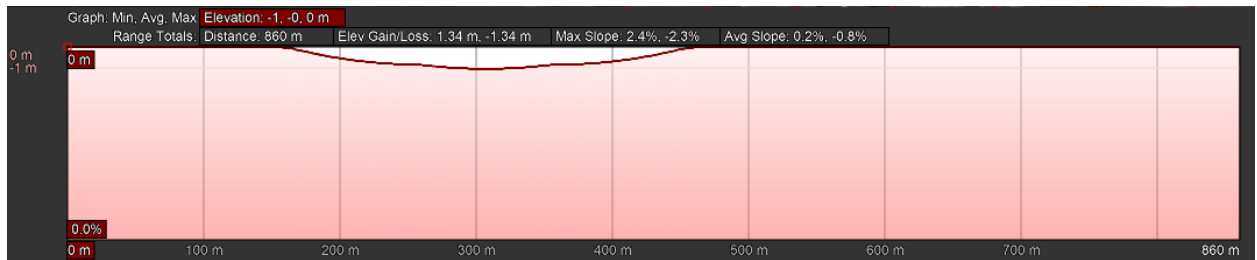
Οι τιμές βάθους κυμαίνονται από -2 έως 0 μέτρα.

3.



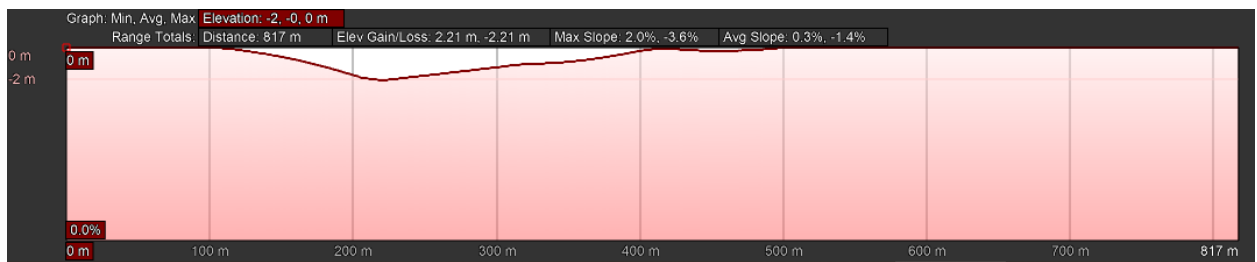
Οι τιμές βάθους κυμαίνονται από -1 έως 0 μέτρα.

4.



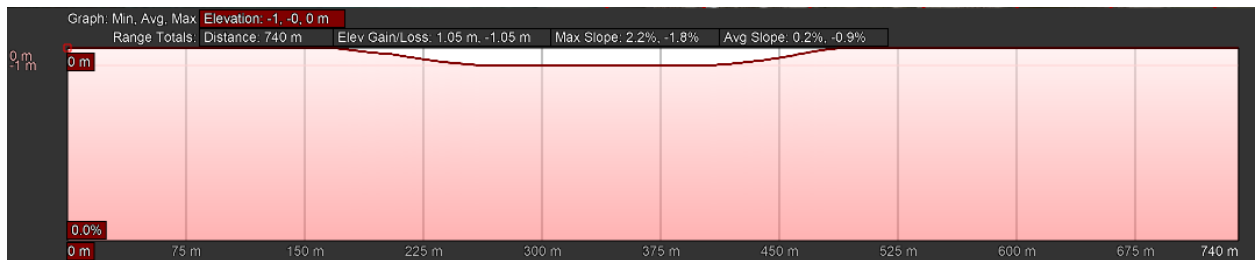
Οι τιμές βάθους κυμαίνονται από -1 έως 0 μέτρα.

5.



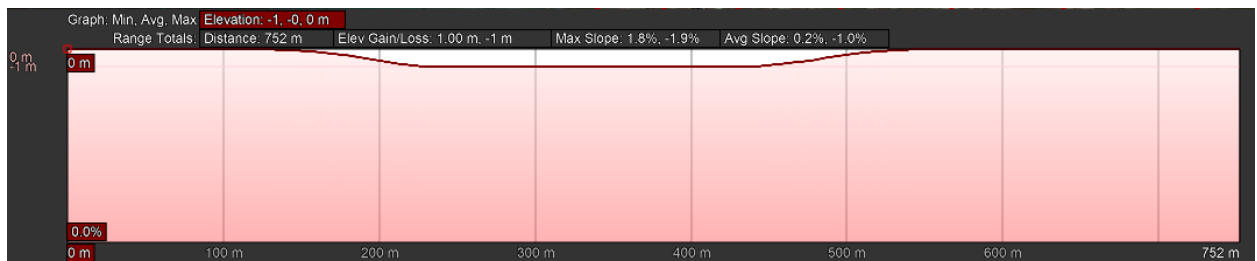
Οι τιμές βάθους κυμαίνονται από -2 έως 0 μέτρα.

6.



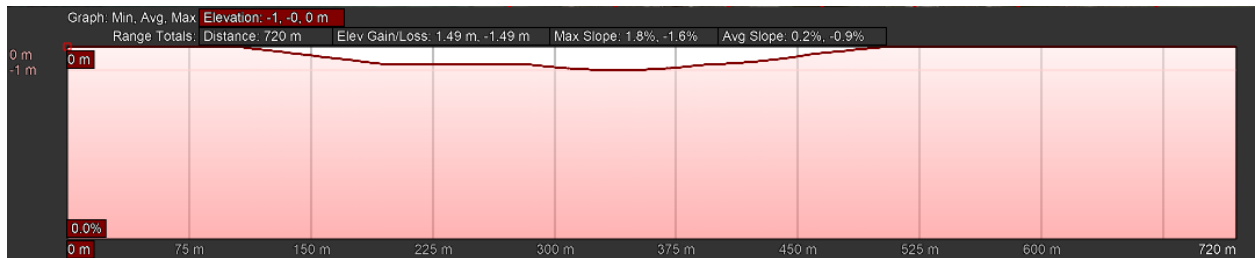
Οι τιμές βάθους κυμαίνονται από -1 έως 0 μέτρα.

7.



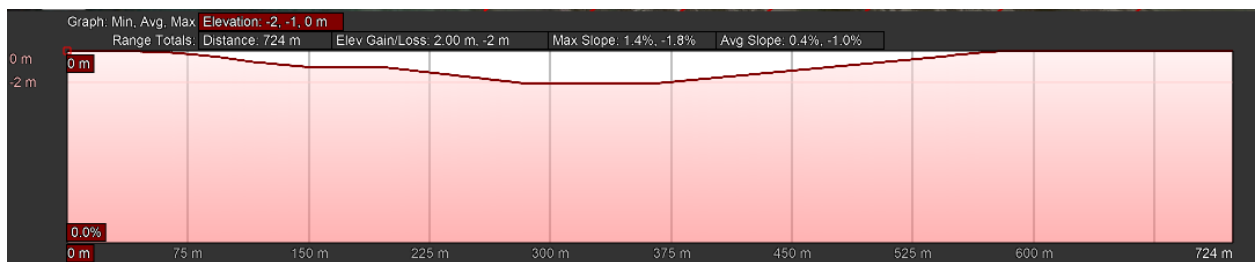
Οι τιμές βάθους κυμαίνονται από -1 έως 0 μέτρα.

8.



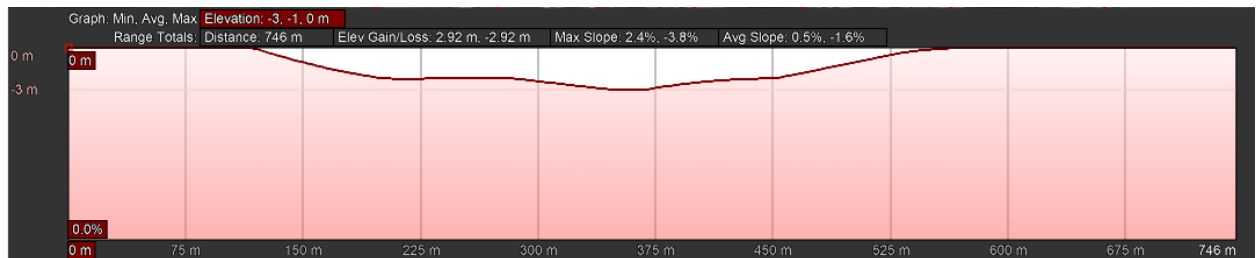
Οι τιμές βάθους κυμαίνονται από -1 έως 0 μέτρα.

9.



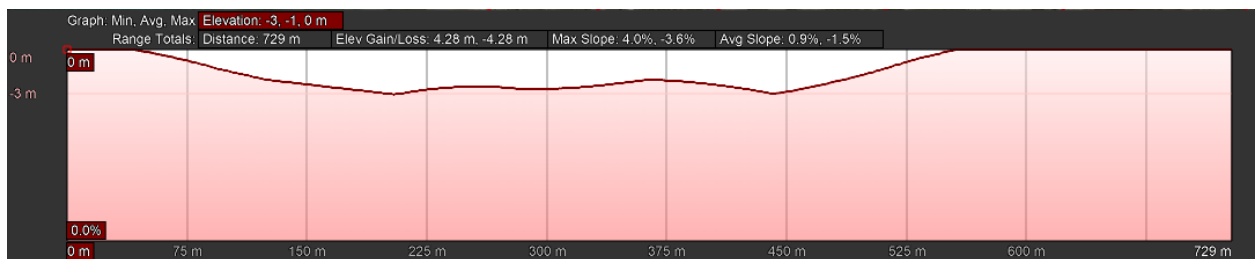
Οι τιμές βάθους κυμαίνονται από -2 έως 0 μέτρα

10.



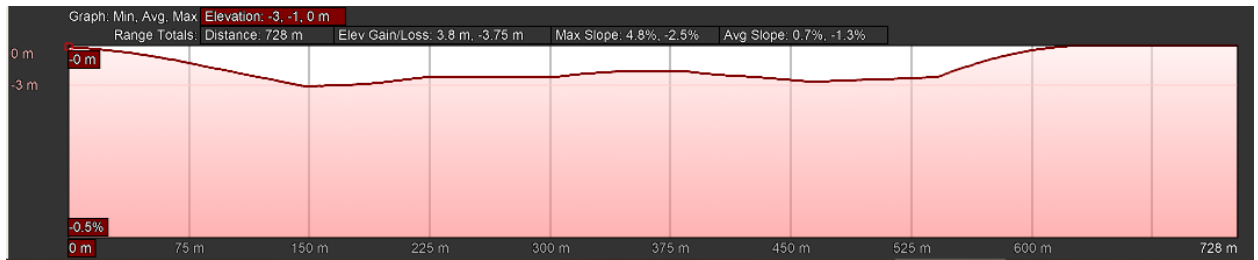
Οι τιμές βάθους κυμαίνονται από -3 έως 0 μέτρα.

11.



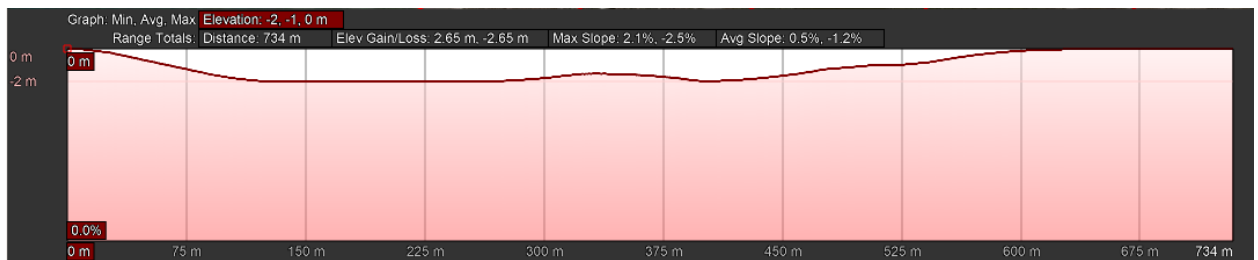
Οι τιμές βάθους κυμαίνονται από -3 έως 0 μέτρα.

12.



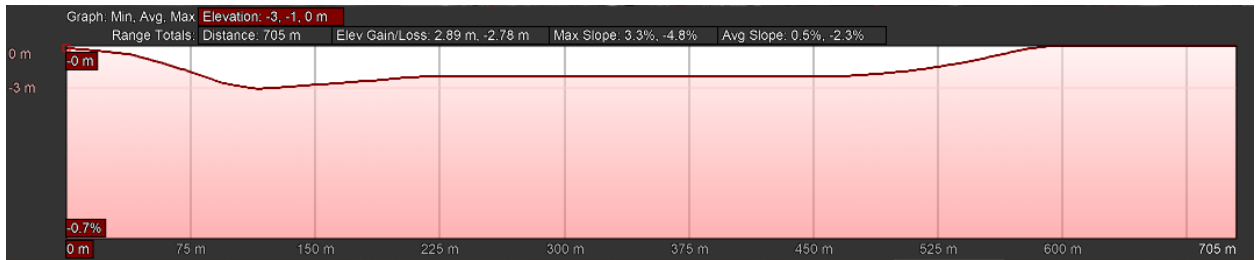
Οι τιμές βάθους κυμαίνονται από -3 έως 0 μέτρα.

13.



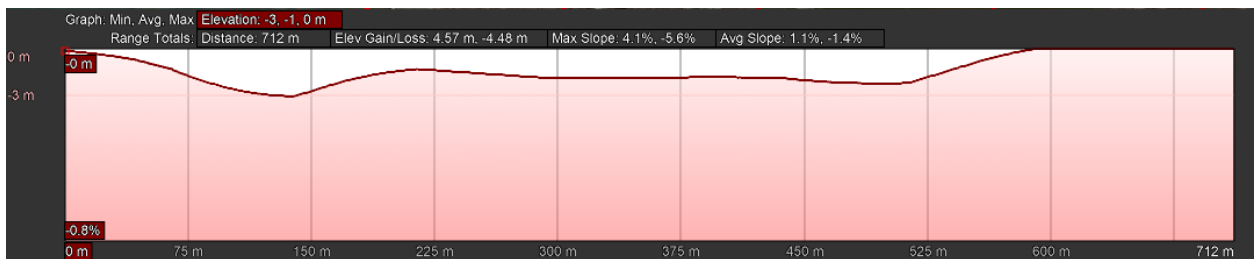
Οι τιμές βάθους κυμαίνονται από -2 έως 0 μέτρα.

14.



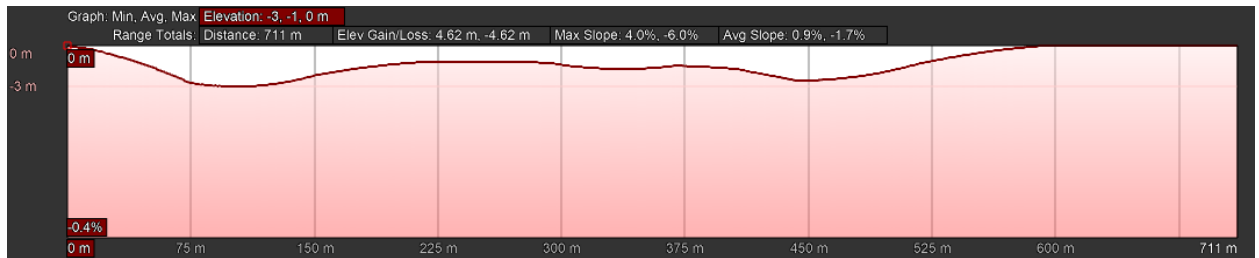
Οι τιμές βάθους κυμαίνονται από -3 έως 0 μέτρα.

15.



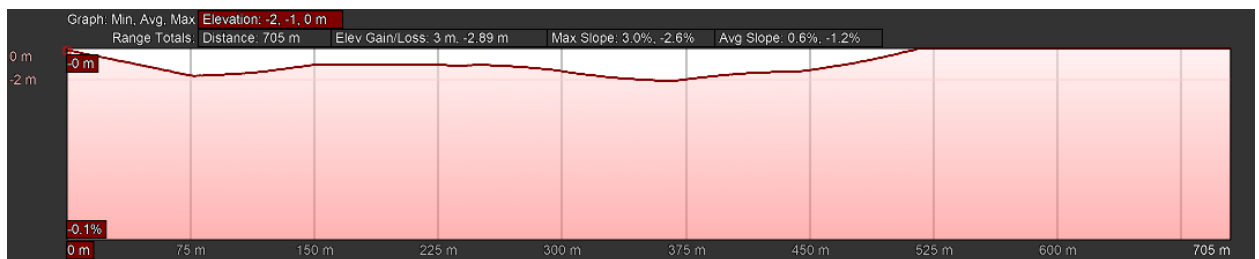
Οι τιμές βάθους κυμαίνονται από -3 έως 0 μέτρα.

16.



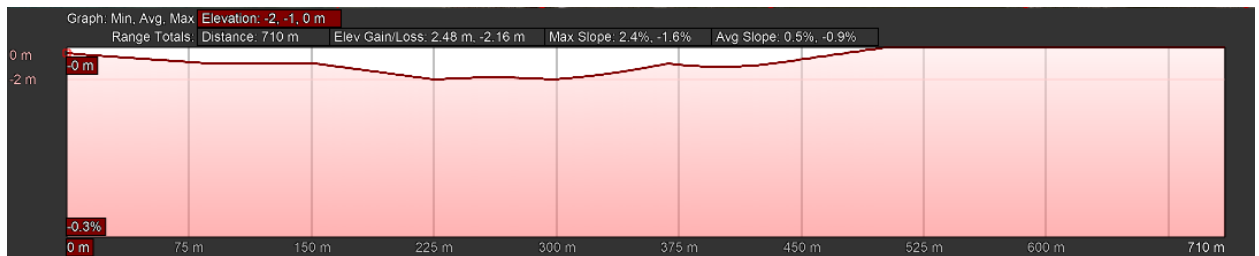
Οι τιμές βάθους κυμαίνονται από -3 έως 0 μέτρα.

17.



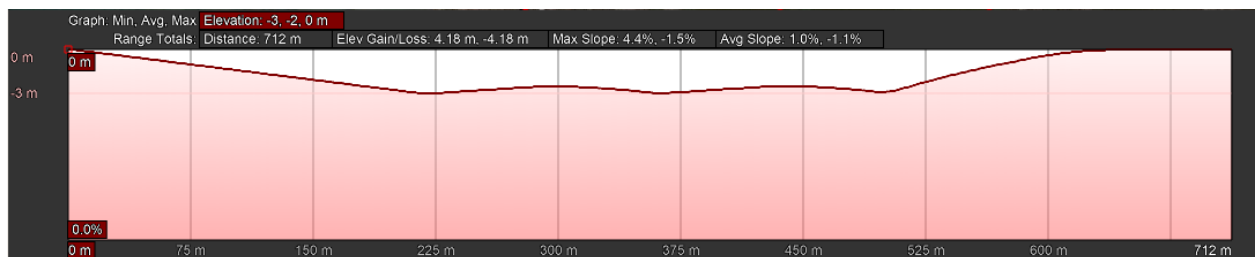
Οι τιμές βάθους κυμαίνονται από -2 έως 0 μέτρα.

18.



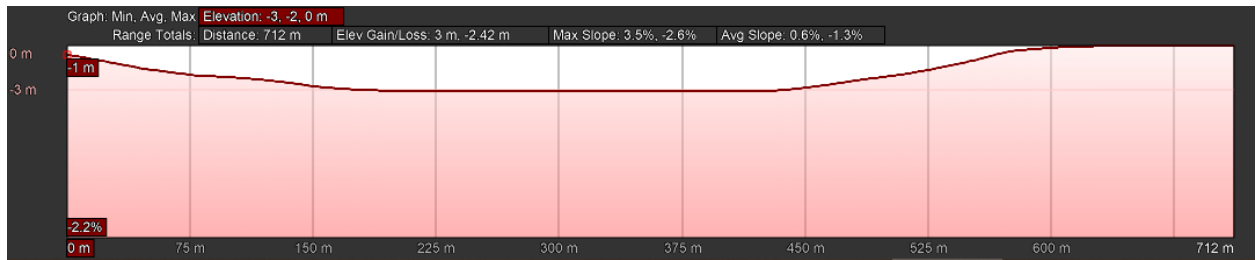
Οι τιμές βάθους κυμαίνονται από -2 έως 0 μέτρα.

19.



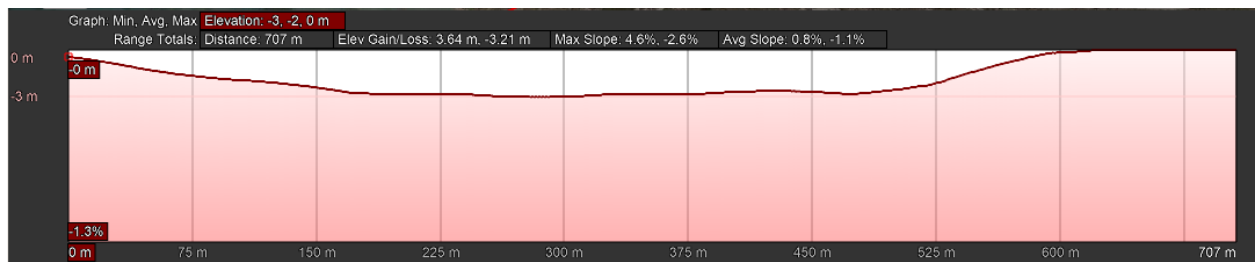
Οι τιμές βάθους κυμαίνονται από -3 έως 0 μέτρα.

20.



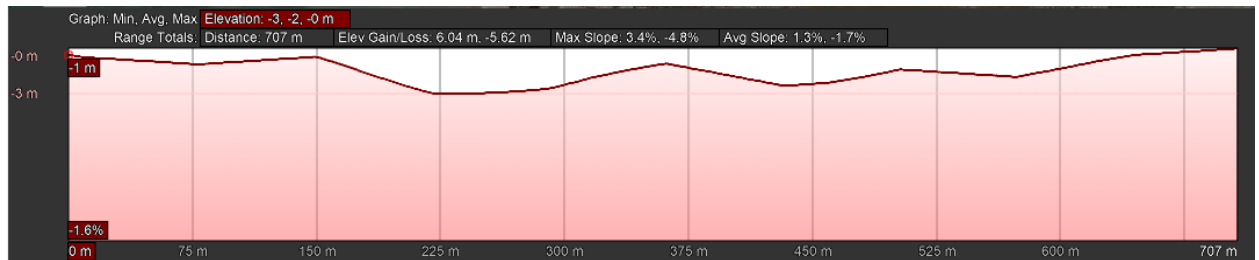
Οι τιμές βάθους κυμαίνονται από -3 έως -1 μέτρα.

21.



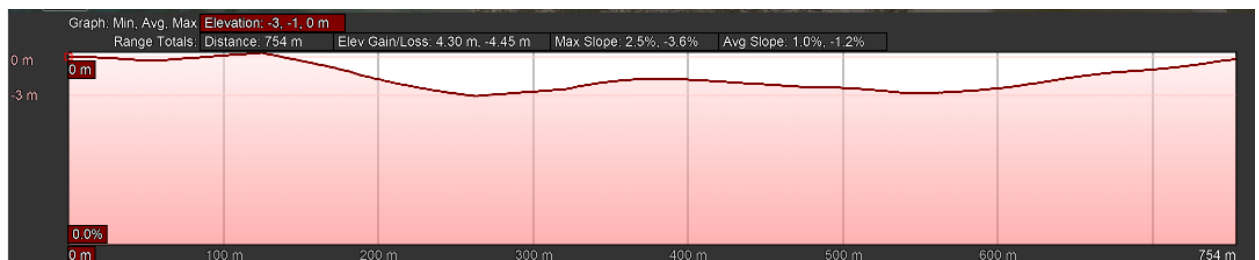
Οι τιμές βάθους κυμαίνονται από -3 έως 0 μέτρα.

22.



Οι τιμές βάθους κυμαίνονται από -3 έως -1 μέτρα.

23.



Οι τιμές βάθους κυμαίνονται από -3 έως 0 μέτρα.

Σύμφωνα με τα δεδομένα των παραπάνω τοπογραφικών τομών, παρατηρείται ότι η τοπογραφία του Λούρου είναι πολύ χαμηλή. Ειδικότερα, το υψόμετρο όχι μόνο δεν ξεπερνά το μηδενικό, αλλά είναι και μικρότερο από αυτό, φτάνοντας έως και -3 μέτρα σε ορισμένα σημεία. Το πολύ χαμηλό υψόμετρο της περιοχής επιβεβαιώνει την επικινδυνότητά της στους παράκτιους κινδύνους και είναι ένας από τους βασικούς παράγοντες που αυξάνουν την πιθανότητα βύθισης της γεωμορφής, με αποτέλεσμα την πλήρη επικοινωνία της λιμνοθάλασσας Κλείσοβας με τον Πατραϊκό Κόλπο. Στην εικόνα 20 απεικονίζεται με αρκετά μεγάλη λεπτομέρεια το υψόμετρο και η μορφολογία της περιοχής.



Εικόνα 20 Εικόνα drone όπου απεικονίζεται η περιοχή του Λούρου

Ο λόγος που η φραγματική γεωμορφή δεν έχει βυθιστεί ακόμα, είναι ότι νότια της λιμνοθάλασσας η περιοχή προστατεύεται από το χωμάτινο δρόμο που ενώνει την Τουρλίδα με την Άκρα Ευήνου, ο οποίος είναι πιο υπερυψωμένος, αφού τοποθετείται μαζί με την πρώτη επιμήκη παραλιακή ράχη της πεδιάδας. Η τοπογραφία του δρόμου, όμως, δεν είναι εμφανής στα διαγράμματα. Για το λόγο αυτό θα θεωρηθεί ότι το υψόμετρό του είναι 50cm, σύμφωνα με τα δεδομένα από την έρευνα του Παπαδόπουλου (2021).

5.4. Συμβολομετρία – Εδαφική παραμόρφωση (Παπαδόπουλος, 2021)

Για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας αξιοποιήθηκαν και τα αποτελέσματα της διπλωματικής εργασίας του Παπαδόπουλου , η οποία πραγματεύεται την εκτίμηση της εδαφικής παραμόρφωσης, με ακρίβεια χιλιοστού, της δελταϊκής πεδιάδας του Εύηνου ποταμού και τη χωρική-χρονική κατανομή της για την περίοδο 2015-2020, μέσω της τεχνικής Small Baseline Subset (SBAS) της συμβολομετρίας. Επιπλέον, στο πλαίσιο της εργασίας του επιχειρήθηκε και η διαχρονική παρακολούθηση των μεταβολών της ακτογραμμής, χρησιμοποιώντας το λογισμικό SNAP και οπτικά δεδομένα Sentinel-2.

Πιο συγκεκριμένα, για τον υπολογισμό της εδαφικής παραμόρφωσης στο δέλτα του Εύηνου ποταμού, χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 101 εικόνες ραντάρ Sentinel-1, τύπου SLC, με γεωμετρική προβολή (LOS) ανοδική και relative orbit number 175, καλύπτοντας το χρονικό διάστημα από τον Αύγουστο του 2015 μέχρι τον Οκτώβριο του 2020 (13/08/2015-21/10/2020). Τα δεδομένα αυτά επεξεργάστηκαν με τεχνική SBAS στο λογισμικό SARscape 5.3 στην πλατφόρμα ENVI.

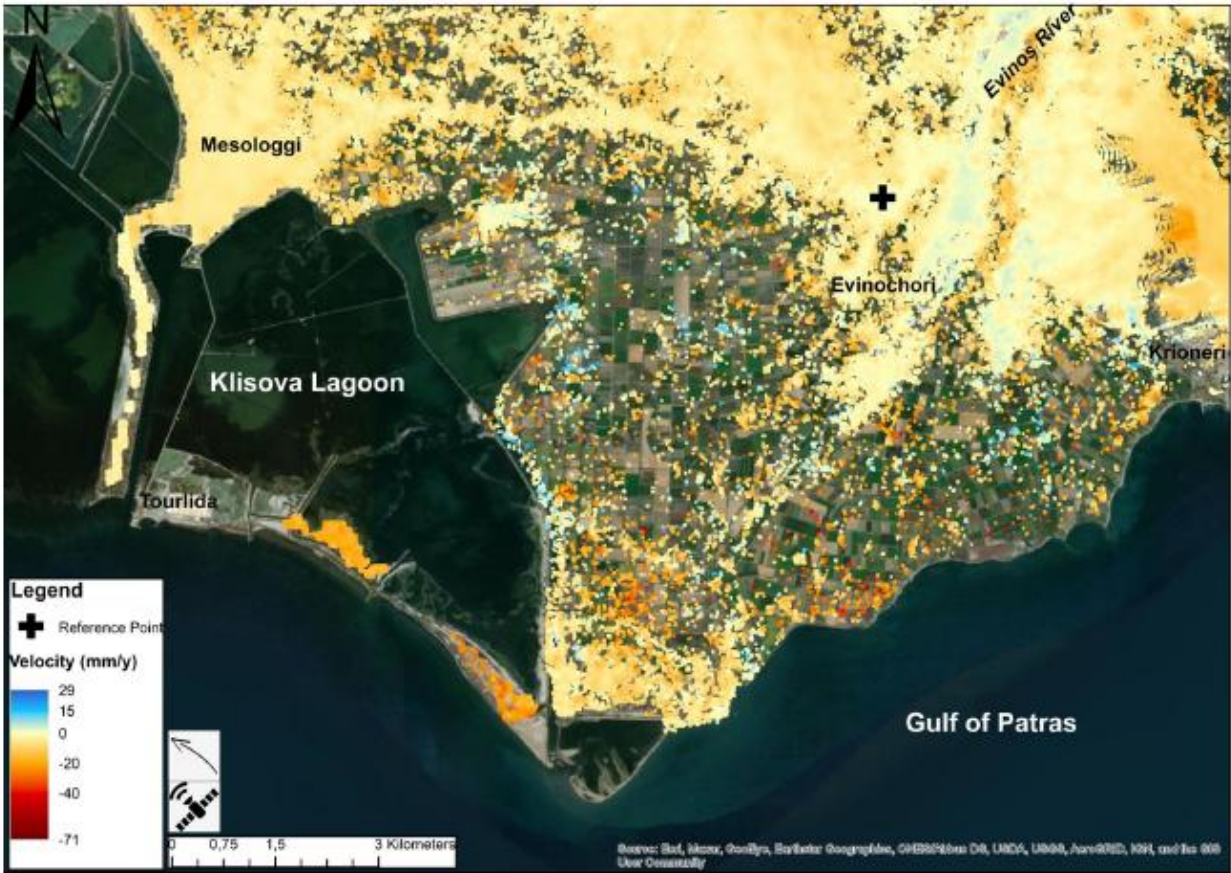
Με τις δορυφορικές τροχιές που χρησιμοποίησε, κατάφερε με τη μέθοδο της συμβολομετρίας να καταλήξει σε δύο χάρτες εκτίμησης εδαφικής παραμόρφωσης με διαφορετικά σημεία αναφοράς (reference points) ο καθένας.



Εικόνα 21 Χάρτης εδαφικής παραμόρφωσης (1^η προσπάθεια)

Στην εικόνα 21 παρουσιάζεται η πρώτη προσπάθεια στην οποία η περιοχή του Μεσολογγίου μπορεί να χαρακτηριστεί ως σταθερή ζώνη, καθώς οι τιμές του μέσου ετήσιου ρυθμού εδαφικής παραμόρφωσης (velocity) είναι κοντά στο 0. Αυτός είναι ένας από τους κύριους λόγους για τους οποίους έχει επιλεγεί το σημείο αναφοράς σε αυτήν την περιοχή.

Στην περιοχή ενδιαφέροντος και συγκεκριμένα στο νοτιοανατολικό τμήμα του Λούρου, δυτικά της Άκρα Ευήνου (κόκκινο τετράγωνο), έχουν καταγραφεί αρνητικές τιμές μέσου ετήσιου ρυθμού εδαφικής παραμόρφωσης (velocity), ενδεικτικές της καθίζησης, το οποίο υποδεικνύει την υποχώρηση της περιοχής.

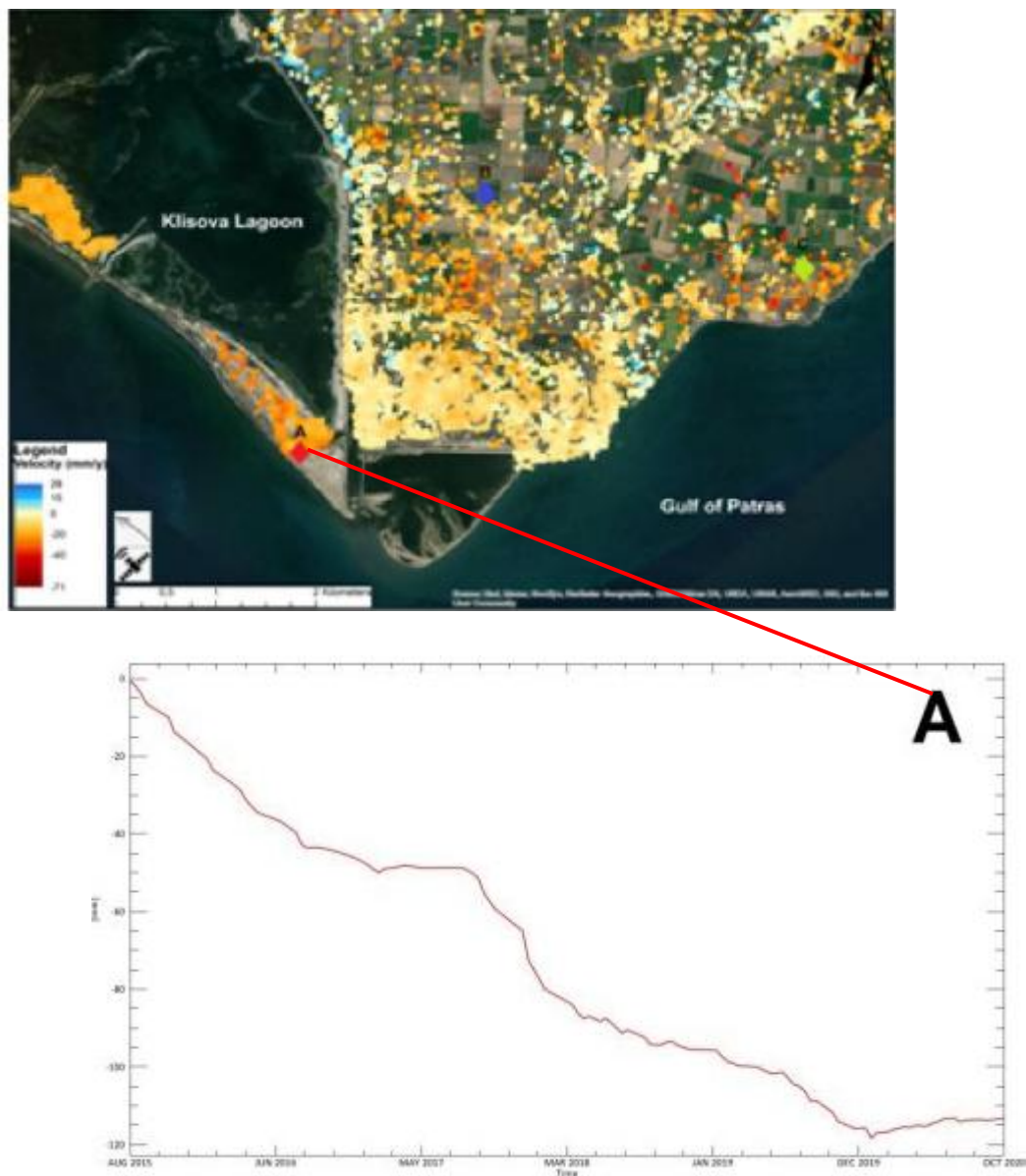


Εικόνα 22 Χάρτης εδαφικής παραμόρφωσης (2^η προσπάθεια)

Στην εικόνα 22 παρουσιάζεται η δεύτερη προσπάθεια εκτίμησης της εδαφικής παραμόρφωσης, όπου το σημείο αναφοράς έχει ως γεωλογικό υπόβαθρο το φλύσχη (Maroukian & Karymbalis, 2004).

Η περιοχή μελέτης παρουσιάζει αρνητικές τιμές σε όλο το μήκος της και συγκεκριμένα χαμηλότερες από -20mm/y . Σύμφωνα με αυτό το αποτέλεσμα, συμπεράνε ότι είναι προφανές λόγω της καθίζησης, στο εγγύς μέλλον η λιμνοθάλασσα θα συνδεθεί πλήρως με τον Πατραϊκό Κόλπο.

Στη συνέχεια, για την καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων, δημιουργήθηκαν τρία διαγράμματα χρονικής παραμόρφωσης επιλέγοντας διαφορετικά σημεία στο κάθε ένα, όπου το πρώτο από αυτά αναφέρεται στην περιοχή του Λούρου και παρουσιάζεται στην εικόνα 23.

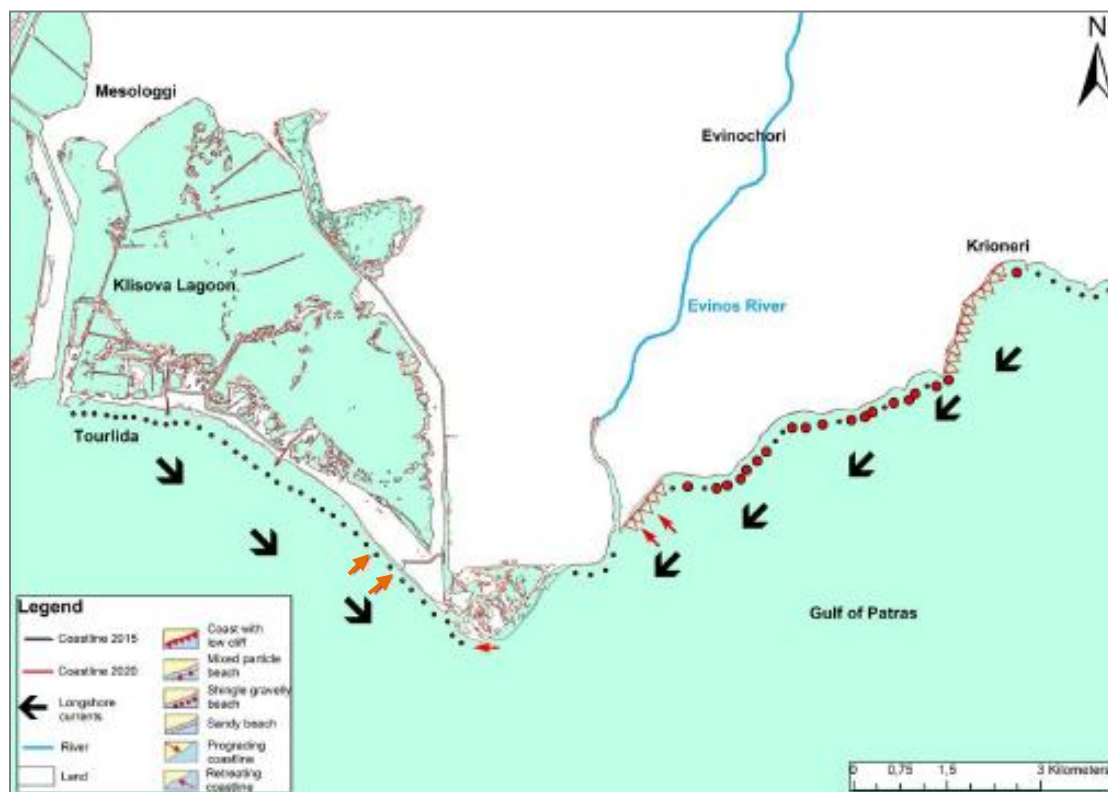


Εικόνα 23 Διάγραμμα χρονικής παραμόρφωσης για το Λούρο

Από το διάγραμμα της εικόνας 23, παρατηρήθηκε ότι η πτωτική πορεία είναι φανερή, φτάνοντας στο τέλος της περιόδου που εξετάζεται, και είναι τα -114mm. Μέχρι τον Ιούνιο του 2016, «βυθίζεται» σταθερά και έπειτα μέχρι το Δεκέμβριο του 2017 δείχνει μια σταθερότητα.

Έκτοτε και μέχρι το Δεκέμβριο του 2019, υπάρχει μια απότομη βύθιση φτάνοντας στην ελάχιστη τιμή των -120mm. Τέλος, υπάρχει μια σχετική ανύψωση, που καταλήγει στα -114 mm. Η μέση ετήσια ταχύτητα εδαφικής καθίζησης (velocity) του σημείου είναι -22,8 mm/y.

Επιπλέον, μελετήθηκε και η διαχρονική παρακολούθηση των μεταβολών της ακτογραμμής της περιοχής, για την οποία χρησιμοποιήθηκαν 6 οπτικές εικόνες του δορυφόρου Sentinel – 2A. Οι εικόνες του 2015 και του 2016 είναι level 1C, στις οποίες πραγματοποιήθηκε ατμοσφαιρική διόρθωση και οι εικόνες του 2017, 2018, 2019 και 2020 είναι level 2A.



Εικόνα 24 Χάρτης μεταβολών ακτογραμμής 2015-2020

Στην εικόνα 24, παρατηρείται ότι από το 2015 έως το 2020, στην περιοχή του Λούρου (πορτοκαλί βέλη) η ακτογραμμή υποχωρεί με μέση ετήσια διάβρωση τα 12 μέτρα.

5.5. Εκτίμηση μελλοντικής εξέλιξης της περιοχής των παραλιακών ράχων

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της συμβολομετρίας (Παπαδόπουλος, 2021) που παρουσιάστηκαν στο υποκεφάλαιο 5.4, αναφέρθηκε ότι η βύθιση της περιοχής του Λούρου είναι βέβαιη μόνο και μόνο από τη μέση ετήσια ταχύτητα εδαφικής καθίζησης της περιοχής (-22,8 mm/y). Στο παρόν υποκεφάλαιο, όμως, θα γίνει μία επιπλέον εκτίμηση, συμπεριλαμβανομένου και την άνοδο της στάθμης της θάλασσας λόγω κλιματολογικών συνθηκών.

Οι παράγοντες εκτίμησης της μελλοντικής εξέλιξης του Λούρου, λοιπόν, είναι η άνοδος της στάθμης της θάλασσας λόγω κλιματολογικών καιρικών συνθηκών (ευστατισμός) και η άνοδος της στάθμης της θάλασσας λόγω καθίζησης της περιοχής εξαιτίας της συμπύκνωσης των ιζημάτων. Όσον αφορά τον ευστατισμό, στο τελευταίο report της IPCC αναφέρονται δύο επιστημονικά σενάρια για την άνοδο της στάθμης της θάλασσας σε παγκόσμια κλίμακα μέχρι το 2100. Το αισιόδοξο πως η άνοδος της στάθμης θα φτάσει τα 29cm και το απαισιόδοξο πως θα ανέλθει κατά 110cm. Με βάση, λοιπόν, αυτά τα δεδομένα θα μελετηθούν τρεις εκδοχές για την εκτίμηση της ενδεχόμενης βύθισης της περιοχής. Η πρώτη υπολογίστηκε με βάση τη μέση τιμή των δύο σεναρίων, η δεύτερη με βάση το αισιόδοξο σενάριο και η τρίτη με βάση το απαισιόδοξο σενάριο.

Είναι σημαντικό λοιπόν πέραν των σεναρίων αυτών, να ληφθεί υπόψη και ο ρυθμός καθίζησης της περιοχής λόγω της συμπύκνωσης των ιζημάτων. Τα δεδομένα που ελήφθησαν υπόψη είναι τα αποτελέσματα της συμβολομετρίας για την ευρύτερη περιοχή του δέλτα του Εύηνου ποταμού (Παπαδόπουλος, 2021).

Τέλος, τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με το υψόμετρο του δρόμου που ενώνει την Τουρλίδα με την Άκρα Ευήνου, το οποίο είναι 50cm (Παπαδόπουλος, 2021).

5.5.1. 1^η εκτίμηση – Μέση τιμή των 2 σεναρίων

Στην 1^η εκτίμηση, ως άνοδος στάθμης της θάλασσας λόγω κλιματικής αλλαγής, θα χρησιμοποιηθεί η μέση τιμή των δύο σεναρίων, δηλαδή τα 70cm, αφού $(29+110)/2 = 70$. Άρα:

$$\text{Άνοδος στάθμης λόγω κλιματικής αλλαγής } (X_1) = 70 \text{ cm}$$

Όσον αφορά την άνοδο στάθμης λόγω καθίζησης εξαιτίας της συμπύκνωσης των ιζημάτων, πολλαπλασιάστηκε η μέση ετήσια ταχύτητα εδαφικής καθίζησης, που είναι -22,8 mm/έτος (Παπαδόπουλος, 2021) με τα έτη που απομένουν μέχρι το 2100, δηλαδή 78. Άρα:

$$\text{Άνοδος στάθμης λόγω καθίζησης } (X_2) = 22,8 \text{ mm/έτος} * 78 \text{ έτη} = 1.778,4 \text{ mm ή } 177,8 \text{ cm}$$

Τέλος, τα δύο αποτελέσματα προστέθηκαν, έτσι ώστε να γίνει η σύγκριση με το υψόμετρο της περιοχής. Επομένως:

$$X = X_1 + X_2 = 70\text{cm} + 177,8\text{cm} = 247,8 \text{ cm, δηλαδή } 2,478 \text{ μέτρα}$$

Επειδή η συνολικά εκτιμώμενη άνοδος της στάθμης της θάλασσας έως το 2100 (2,478 μέτρα) είναι μεγαλύτερη από το μέγιστο υψόμετρο της περιοχής (0,5 μέτρα), η περιοχή μελέτης αναμένεται να βρεθεί πλήρως κάτω από τη μέση στάθμη θάλασσας.

5.5.2. 2^η εκτίμηση – Αισιόδοξο σενάριο

Στη 2^η εκτίμηση για την περιοχή, ως άνοδος της στάθμης της θάλασσας λόγω κλιματικής αλλαγής, θα χρησιμοποιηθεί το αισιόδοξο σενάριο, δηλαδή τα 29cm και στη συνέχεια θα ακολουθηθεί η ίδια διαδικασία με την 1^η εκτίμηση. Άρα:

$$\text{Άνοδος στάθμης λόγω κλιματικής αλλαγής } (Y_1) = 29 \text{ cm}$$

Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας λόγω καθίζησης, είναι η ίδια με την 1^η εκτίμηση.

$$\text{Άνοδος στάθμης λόγω καθίζησης } (Y_2) = 177,8 \text{ cm}$$

Επομένως:

$$Y = Y1 + Y2 = 29\text{cm} + 177,8\text{cm} = 206,8\text{ cm, δηλαδή } \mathbf{2,068 \text{ μέτρα}}$$

Όπως και στην 1^η εκδοχή, επειδή η συνολικά εκτιμώμενη άνοδος της στάθμης της θάλασσας έως το 2100 (2,068 μέτρα) είναι μεγαλύτερη από το μέγιστο υψόμετρο της περιοχής (0,5 μέτρα), η περιοχή μελέτης αναμένεται να βρεθεί πλήρως κάτω από τη μέση στάθμη θάλασσας.

5.5.3. 3η εκτίμηση – Απαισιόδοξο σενάριο

Στην 3^η εκτίμηση για την περιοχή, ως άνοδος της στάθμης της θάλασσας λόγω κλιματικής αλλαγής, θα χρησιμοποιηθεί το απαισιόδοξο σενάριο, δηλαδή τα 110cm και στη συνέχεια θα ακολουθηθεί η ίδια διαδικασία με τις προηγούμενες δύο εκτιμήσεις. Δεδομένου, όμως, ότι αυτό το σενάριο παρουσιάζει τη μεγαλύτερη άνοδο από τα δύο προηγούμενα, αναμένεται και το τελικό αποτέλεσμα να είναι μεγαλύτερο από αυτά. Επομένως:

$$\mathbf{\text{Άνοδος στάθμης λόγω κλιματικής αλλαγής } (\Omega_1) = 110 \text{ cm}}$$

Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας λόγω καθίζησης, είναι η ίδια με τις 2 προηγούμενες εκτιμήσεις:

$$\mathbf{\text{Άνοδος στάθμης λόγω καθίζησης } (\Omega_2) = 177,8 \text{ cm}}$$

Άρα:

$$\mathbf{\Omega = 110\text{cm} + 177,8\text{cm} = 287,8 \text{ cm, δηλαδή } \mathbf{2,878 \text{ μέτρα}}}$$

Επιβεβαιώνεται, λοιπόν, ότι και στην 3^η εκτίμηση, η περιοχή μελέτης αναμένεται να βρεθεί πλήρως κάτω από τη μέση στάθμη θάλασσας.

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω αποτελέσματα, διαπιστώνεται ότι η συνολικά εκτιμώμενη άνοδος της στάθμης της θάλασσας και στις 3 εκδοχές έως το 2100 είναι μεγαλύτερη από το μέγιστο υψόμετρο της περιοχής που τυχαίνει να είναι ο παραλιακός χωμάτινος δρόμος που συνδέει την Άκρα Ευήνου με την Τουρλίδα. Επομένως, η περιοχή μελέτης αναμένεται να βρεθεί πλήρως κάτω από τη μέση στάθμη θάλασσας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο - ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η περιοχή του Λούρου, δεδομένου ότι έχει πολύ χαμηλό υψόμετρο και αποτελείται από χαλαρές αμμώδεις κυρίως αποθέσεις, καθίσταται ιδιαίτερα ευάλωτη στους παράκτιους κινδύνους που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή, με κυριότερη την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης λόγω της υπερθέρμανσης του πλανήτη, η οποία αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά, κοινωνικά και οικονομικά προβλήματα.

Από την παρούσα μελέτη, σύμφωνα με τις δύο διαφορετικές μεθοδολογίες χαρτογράφησης που ακολουθήθηκαν προέκυψαν διαφορετικά αποτελέσματα σχετικά με τον αριθμό των ράχων. Με τη χρήση του προγράμματος Google Earth Pro, μετρήθηκαν 13 παραλιακές ράχες, ενώ με τη χρήση του λογισμικού ArcGIS (χάρτης προσανατολισμού), μετρήθηκαν 10 ράχες. Όπως έχει προαναφερθεί ο λόγος είναι ότι η πρώτη μεθοδολογία είναι πιο λεπτομερής και επομένως την καθιστά πιο αξιόπιστη και πιο ακριβή. Όσον αφορά δε τη σύγκριση των ακτογραμμών 1945, 1985 και 2020, έδειξε ότι η περιοχή υποχωρεί και ο μέγιστος ρυθμός εκτιμήθηκε στο ΝΑ άκρο της περιοχής, στην Άκρα Ευήνου, με μέσο ρυθμό υποχώρησης 6,875 μέτρα/χρόνο μεταξύ του 1945 και του 1985, 1,857 μέτρα/χρόνο μεταξύ του 1985 και του 2020 και 4,53 μέτρα/χρόνο μεταξύ του 1945 και του 2020. Τα αποτελέσματα αυτά βρίσκονται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα του Παπαδόπουλου (2021). Επιπλέον, από τις τοπογραφικές τομές προέκυψε ότι το υψόμετρο του Λούρου είναι κάτω από τα 0 μέτρα, με εξαίρεση το χωμάτινο δρόμο που συνδέει την Τουρλίδα με την Άκρα Ευήνου όπου το υψόμετρο είναι 0,5 μέτρα. Το χαμηλό υψόμετρο της περιοχής, αποτελεί έναν ακόμα παράγοντα που καθιστά την περιοχή ιδιαίτερα ευάλωτη σε παράκτιους κινδύνους.

Επομένως, η συμβολομετρία που δείχνει το ρυθμό καθίζησης (Παπαδόπουλος, 2021), η χαμηλή τοπογραφία που είναι σχεδόν κάτω από τη στάθμη της θάλασσας και η αρκετά μεγάλη τρωτότητα στην περιοχή του Λούρου, είναι ενδείξεις πως η περιοχή θα πλημμυρίσει άμεσα.

Από την παρούσα μελέτη, διαπιστώθηκε επιπροσθέτως ότι μέχρι το 2100 η εξαφάνιση της φραγματικής γεωμορφής λόγω της σχετικής ανόδου της στάθμης της θάλασσας είναι πολύ πιθανή. Δυσμενές αποτέλεσμα θα είναι η πλήρης επικοινωνία της λιμνοθάλασσας Κλείσοβας με τον Πατραϊκό κόλπο, όπου θα εντείνει τη διάβρωση στις εσωτερικές όχθες της

λιμνοθάλασσας. Κάτι τέτοιο, είναι ιδιαίτερα σημαντικό διότι στο ΒΔ τμήμα της βρίσκεται η πόλη του Μεσολογγίου, που προς το παρόν προστατεύεται από το Λούρο. Επομένως, στην περίπτωση που ο Λούρος βυθιστεί, η πόλη του Μεσολογγίου θα εκτεθεί σε κυματική δραστηριότητα, που θα την επηρεάσει αρνητικά, διότι θα βρεθεί σε καθεστώς διάβρωσης. Επίσης και οι κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις από μία ενδεχόμενη βύθιση της περιοχής, θα είναι σημαντικές για την τοπική κοινωνία, καθώς φιλοξενεί αρκετές μονάδες ιχθυοκαλλιεργειών.

Για την αποφυγή της πλήρους διάβρωσης του Λούρου, είναι απαραίτητη και επιτακτική η ανάγκη άμεσης λήψης κατάλληλων μέτρων και με την ελπίδα τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας να ληφθούν σοβαρά υπόψη από τους αρμόδιους που θα αναλάβουν τη μελέτη για τη μελλοντική διαχείριση της περιοχής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

Allen, J.R.L. & Pye, K. (1992), "Coastal saltmarshes: their nature and importance", in J.R.L. Allen and Pye (eds), *Saltmarshes: Morphodynamics, Conservation and Engineering Significance*, Cambridge: Cambridge University Press, pp. 1-18. doi: [10.1017/S0016756800020653](https://doi.org/10.1017/S0016756800020653)

Anthony, E., Almar, R. & Aagaard, T. (2016). Recent shoreline changes in the Volta River delta, West Africa: the roles of natural processes and human impacts. *African Journal of Aquatic Science*, 41(1), pp. 81-87. doi: [10.2989/16085914.2015.1115751](https://doi.org/10.2989/16085914.2015.1115751)

Billy, J., Robin, N., Hein, C. J., Certain, R. & Fitzerland, D. M. (2014). Internal architecture of mixed sand-and-gravel beach ridges: Miquelon-Langlade Barrier, NW Atlantic. *Marine Geology*, 357, pp. 53-71. doi: [10.1016/j.margeo.2014.07.011](https://doi.org/10.1016/j.margeo.2014.07.011)

Clemmensen, L. B. & Nielsen, L. (2010). Internal architecture of a raised beach ridge system (Anholt, Denmark) resolved by ground-penetrating radar investigations. *Sedimentary Geology*, 223, pp. 281-290. doi: [10.1016/j.sedgeo.2009.11.014](https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2009.11.014)

Forsyth, A. J., Nott, J., Bateman, M. D. & Beamen, R. J. (2012). Juxtaposed beach ridges and foredunes within a ridge plain – Wonga Beach, northeast Australia. *Marine Geology*, 107-310, pp. 111-116. doi: [10.1016/j.margeo.2012.02.012](https://doi.org/10.1016/j.margeo.2012.02.012)

Hesp, P.A., Dillenburg, S.R., Barboza, E.G., Tomazelli, L.J., Ayup-Zouain, R.N., Esteves, L.S., et al.. (2005). Beach ridges, foredunes or transgressive dunefields? Definitions and an examination of the Torres to Tramandaí barrier system, Southern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 77(3), 493-508

Jiang, M., Han, Z., Li, X., Wang, Y., Stevens, T., Cheng, J., et al. (2020). Beach ridges of Dali Lake in Inner Mongolia reveal precipitation variation during the Holocene. *Journal of Quaternary Science*, 35(5), pp. 716-725. doi: [10.1002/jqs.3195](https://doi.org/10.1002/jqs.3195)

- Li, D., Li, Y., Ma, B., Dong, G., Wang, L. & Zhao, J. (2009). Lake-level fluctuations since the Last Glaciation in Selin Co (lake), Central Tibet, investigated using optically stimulated luminescence dating of beach ridges. *Environmental Research Letters*, 4. doi: [10.1088/1748-9326/4/4/045204](https://doi.org/10.1088/1748-9326/4/4/045204)
- Maroukian, H. & Karymbalis, E. (2004). Geomorphic evolution of the fan delta of the Evinos river in western Greece and human impacts in the last 150 years. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 48(2), pp. 201-217. doi: [10.1127/zfg/48/2004/201](https://doi.org/10.1127/zfg/48/2004/201)
- Nott, J., Smithers, S., Walsh, K. & Rhodes, E. (2009). Sand beach ridges record 6000 year history of extreme tropical cyclone activity in northeastern Australia. *Quaternary Science Reviews*, 28 (15), pp. 1511-1520. doi: [10.1016/j.quascirev.2009.02.014](https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2009.02.014)
- Opdyke, N.D., Spangler, D. P., Smith, D.L., Jones, D.S. & Lindquist, R.C. (1984). Origin of the epeirogenic uplift of Pliocene-Pleistocene beach ridges in Florida and development of the Florida karst. *Geology*, 12(4), pp. 226-228. doi: [10.1130/0091-7613\(1984\)12<226:OOTEUO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1984)12<226:OOTEUO>2.0.CO;2)
- Otvos, E., G. (2000). Beach ridges – definitions and significance. *Geomorphology*, 13(1-2), pp. 83-108. doi: [10.1016/S0169-555X\(99\)00075-6](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(99)00075-6)
- Scheffers, A., Engel, M., Scheffers, S. Squire, P., Kelletat, D. (2011). Beach ridge systems – archives for Holocene coastal events?. *Progress in Physical Geography: Earth and Environme*, 36(1). doi: [10.1177/0309133311419549](https://doi.org/10.1177/0309133311419549)
- Stapor, F.W. (1975). Holocene beach ridge plain development, Northwest Florida. ResearchGate. Tennessee Technological University
- Wellman, H.W. (1969). Titled Marine Beach Ridges at Cape Turakirae, N.Z., *Tuatara*, 17(2). New Zealand Electronic Text Collection
- Karymbalis, E., Gallousi, C., Cundy, A., Tsanakas, K., Gaki-Papanastassiou, K., Tsodoulos, I. (2022). Long-term spatial and temporal shoreline changes of the Evinos River delta, Gulf of Patras, Western Greece, *Zeitschrift für Geomorphologie* 63(2-3), p. 141 – 155. doi: [10.1127/zfg/2021/0684](https://doi.org/10.1127/zfg/2021/0684)

Ελληνική βιβλιογραφία

Καρύμπαλης, Ε.(2010), *Παράκτια Γεωμορφολογία*, Αθήνα: Ίων

Καρύμπαλης, Ε. (1996), *Γεωμορφολογικές παρατηρήσεις στη λεκάνη απορροής του Εύηνου ποταμού* (Διδακτορική Διατριβή). Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα

Παπαδόπουλος, Ι. (2021), *Μελέτη της εδαφικής παραμόρφωσης του δέλτα του Εύηνου ποταμού με τη χρήση συμβολομετρίας* (Πτυχιακή εργασία). Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα

Παυλόπουλος, Κ.Π. (2011), *Γεωμορφολογία: Εφαρμογές στις Γεωεπιστήμες*, Αθήνα: Ίων

Διαδικτυακές πηγές

Copernicus. Ανακτήθηκε από <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018>

Earth Data. Ανακτήθηκε από <https://search.earthdata.nasa.gov/search>

Geodata. Ανακτήθηκε από <http://geodata.gov.gr>

Google Earth (2021). Ανακτήθηκε από <https://www.google.com/intl/el/earth/>