



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Τμήμα Γεωγραφίας

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

“Εφαρμοσμένη Γεωγραφία και Διαχείριση του Χώρου”

Κατεύθυνση: Διαχείριση Φυσικών και Ανθρωπογενών Κινδύνων και Καταστροφών



«Επικινδυνότητα του Δελταϊκού Μετώπου του Πηνειού ποταμού στους παράκτιους κινδύνους που σχετίζονται με τη κλιματική αλλαγή»

Πτυχιακή εργασία του Τσιρώνη Γεωργίου

Αθήνα, Φεβρουάριος 2020



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Τμήμα Γεωγραφίας

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

“Εφαρμοσμένη Γεωγραφία και Διαχείριση του Χώρου”

Κατεύθυνση: Διαχείριση Φυσικών και Ανθρωπογενών Κινδύνων και Καταστροφών

«Επικινδυνότητα του Δελταϊκού Μετώπου του Πηνειού ποταμού στους παράκτιους κινδύνους που σχετίζονται με τη κλιματική αλλαγή»

Πτυχιακή εργασία του Τσιρώνη Γεωργίου

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

Καρύμπαλης Ευθύμιος (επιβλέπων)

Χαλκιάς Χρίστος

Παρχαρίδης Ισαάκ

Αθήνα, Φεβρουάριος 2020

Ο Τσιρώνης Γεώργιος,

δηλώνω υπεύθυνα ότι:

- 1) Είμαι ο 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.

στον αδερφό μου,

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου, Ευθύμιο Καρύμπαλη και τον Δημήτριο-Βασίλειο Μπατζάκη για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση καθ' όλη τη διάρκεια μελέτης και συγγραφής της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Επίσης, ευχαριστώ θερμά τους καθηγητές μου, που με δίδαξαν και με βοήθησαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Περιεχόμενα

Περίληψη	9
Abstract	10
Εισαγωγή.....	11
Α' Μέρος	13
1. Δελταϊκά περιβάλλοντα.....	13
1.1 Σχηματισμός των Δέλτα	14
1.2 Σημασία των Δέλτα για τον άνθρωπο	18
2. Παράκτια Ζώνη	19
2.1 Σημασία της παράκτιας ζώνης.....	20
2.2 Τύποι Ακτών στον Ελληνικό Χώρο	21
3. Παράκτια Διάβρωση	24
4. Κλιματική Αλλαγή και επιπτώσεις στις παράκτιες περιοχές.....	27
4.1 Άνοδος της Μέσης Στάθμης της Θάλασσας	29
4.2 Κύματα Καταιγίδας (Storm Surges)	32
5. Διαχείριση Παράκτιας ζώνης	33
6. Προσαρμοστικότητα – Κόστη	34
Β' Μέρος	37
7. Μελέτη Περίπτωσης : Εκτίμηση της τρωτότητας της ακτογραμμής στο δέλτα του Πηνειού.....	37
7.1 Γεωγραφικά χαρακτηριστικά της Λεκάνης Απορροής του Πηνειού ποταμού.....	38
Κλιματικά Χαρακτηριστικά	40
7.2 Περιβαλλοντική Σημασία του Δέλτα του Πηνειού ποταμού.....	41
7.3 Οικιστική Δραστηριότητα	42
7.4 Αίτια υποβάθμισης του φυσικού περιβάλλοντος	44
8. Μεθοδολογία.....	46
9. Εφαρμογή του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας (CVI) στη περιοχή μελέτης	49
10. Αποτελέσματα	56
10.1 Γεωμορφολογία	57
10.2 Ρυθμός Μεταβολής Ακτογραμμής.....	59
10.3 Παράκτια Κλίση.....	61
10.4 Σχετική Μεταβολή Θαλάσσιας στάθμης	63

10.5 Μέσο Εύρος παλίρροιας	64
10.6 Μέσο σημαντικό ύψος κύματος	65
10.7 Δείκτης Παράκτιας Τρωτότητας (CVI)	66
11. Απώλειες Χρήσεων γης με Σενάριο Ανόδου Μέσης Στάθμης Θάλασσας κατά ένα μέτρο	68
12. Συμπεράσματα	71
Βιβλιογραφία	73

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1: Μορφολογική τομή των στρωμάτων ενός δέλτα (Μαθήματα φυσικής γεωγραφίας, ηλεκτρονικό βιβλίο, http://www.geo.auth.gr/courses/gge/gge427γ/chapter088.html)	15
Εικόνα 2: Δορυφορική φωτογραφία των δελταϊκών αποθέσεων του Νείλου ποταμού (Wikipedia.org) .	16
Εικόνα 3: Δορυφορική φωτογραφία του Δέλτα του ποταμού Μισισσιπή (sciencephoto.com).....	17
Εικόνα 4: Μεταβολές σε Παγκόσμια Θερμοκρασία, Παγκόσμια Μέση Στάθμη Θάλασσας (μετρήσεις με χρήση παλιρροιογράφων και δορυφορικών), Παγκόσμια βροχίαια ημισφαίριου (Μάρτιος-Απρίλιος) (IPCC, 2007)	30
Εικόνα 5: Απεικόνιση δομής κύματος καταιγίδας (Dolan and Davis, 1994)	32
Εικόνα 6: Περιοχή μελέτης, δέλτα Πηνειού ποταμού (Google Earth)	37
Εικόνα 7: μεταβλητές του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας (CVI)	49

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1: Περιγραφή τύπου Ακτών στην Ελλάδα, (Eurosion, 2004).....	22
Πίνακας 2: Διεργασίες που επηρεάζουν το βαθμό εκδήλωσης του φαινομένου της παράκτιας διάβρωσης (Καρύμπαλης, 2010)	24
Πίνακας 3: Παρούσα αξία συνολικού κόστους επιπτώσεων της ανόδου στάθμης θάλασσας έως το 2100, ανά κατηγορία χρήσης γης σε χιλιάδες €. (Κοντογιάννη κ.α., 2011)	35
Πίνακας 4: Συνολικό κόστος απωλειών λόγω της ανόδου της στάθμης θάλασσας για το έτος 2100 ανά κατηγορία χρήσης γης. (Κοντογιάννη κ.α., 2011)	35
Πίνακας 5: Μέσες τιμές κόστους και σύνολο ακτογραμμής ανά κατηγορία χρήσης γης. (Κοντογιάννη κ.α., 2011)	36
Πίνακας 6: Πληθυσμός ανά δημοτικό διαμέρισμα για τη περίοδο 1920-2001 (Οικονόμου, 2005).....	43
Πίνακας 7: Οι περισσότεροι συχνά χρησιμοποιούμενοι δείκτες εκτίμησης της επικινδυνότητας και/ή τρωτότητας των ακτών στη μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης (Abuodha και Woodroffe, 2006).	48
Πίνακας 8: Κατηγοριοποίηση των μεταβλητών του CVI (Karymbalis et al., 2012)	54
Πίνακας 9: Ταξινόμηση της τρωτότητας της ακτογραμμής ως προς τη παράμετρο της γεωμορφολογίας.	58
Πίνακας 10: Ταξινόμηση της τρωτότητας της ακτογραμμής ως προς τη παράμετρο του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής.	60
Πίνακας 11: Ταξινόμηση της τρωτότητας της ακτογραμμής ως προς τη παράμετρο της παράκτιας κλίσης.....	62
Πίνακας 12: Ταξινόμηση της τρωτότητας της ακτογραμμής μετά την εφαρμογή του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας (CVI).	67
Πίνακας 13: Έκταση περιοχών που αναμένεται να κατακλυσθούν (χλμ ²), μετά από ενδεχόμενη άνοδο της ΜΣΘ κατά 1 μέτρο.	70

Ευρετήριο Χαρτών

Χάρτης 1: Τύποι ακτών της Ευρώπης σύμφωνα με το πρόγραμμα Eurosion (2004).....	21
Χάρτης 2: Έκθεση ακτογραμμής στην άνοδο της μέσης στάθμης θάλασσας (Eurosion, 2004)	31
Χάρτης 3: Μορφολογικός χάρτης ενιαίας λεκάνης απορροής Πηνειού ποταμού (Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων)	38
Χάρτης 4: Μέσο σημαντικό ύψος κύματος(ετήσιο), (Soukisian et al., 2007)	52
Χάρτης 5: Ύψος και εύρος παλίρροιας (Tsimplis, 1994).....	53
Χάρτης 6: Ταξινόμηση της τρωτότητας της ακτογραμμής ως προς τη παράμετρο της γεωμορφολογίας.....	57
Χάρτης 7: Ταξινόμηση της τρωτότητας της ακτογραμμής ως προς τη παράμετρο του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής.	59
Χάρτης 8: Ταξινόμηση της τρωτότητας της ακτογραμμής ως προς τη παράμετρο της παράκτιας κλίσης.	61
Χάρτης 9: Ταξινόμηση της τρωτότητας της ακτογραμμής ως προς τη παράμετρο της σχετικής μεταβολής της θαλάσσιας στάθμης.....	63
Χάρτης 10: Ταξινόμηση της τρωτότητας της ακτογραμμής ως προς τη παράμετρο του μέσου εύρους παλίρροιας.	64
Χάρτης 11: Ταξινόμηση της τρωτότητας της ακτογραμμής ως προς τη παράμετρο του μέσου σημαντικού ύψους κύματος.	65
Χάρτης 12: Ταξινόμηση της τρωτότητας της ακτογραμμής μετά την εφαρμογή του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας (CVI).	66
Χάρτης 13: Ζώνη κατάκλυσης ανά χρήση γης, μετά από ενδεχόμενη άνοδο της ΜΣΘ κατά 1 μέτρο.	69

Περίληψη

Στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας μελετήθηκε η τρωτότητα του δελταϊκού μετώπου του Πηνειού ποταμού στους παράκτιους κινδύνους που σχετίζονται με τη κλιματική αλλαγή. Για την επίτευξη των στόχων της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν αεροφωτομωσαϊκά του 1996 και πρόσφατες δορυφορικές εικόνες από Google Earth, ώστε να εκτιμηθεί η διαχρονική μετατόπιση της ακτογραμμής στη περιοχή μελέτης. Εν συνεχεία, μέσω της εφαρμογής του δείκτη της παράκτιας φυσικής τρωτότητας, επιχειρείται να αποδοθεί η κατηγοριοποίηση της ακτογραμμής του παράκτιου μετώπου στη διάβρωση ως αποτέλεσμα της αναμενόμενης ανόδου της μέσης στάθμης της θάλασσας (ΜΣΘ) εξ' αιτίας της κλιματικής αλλαγής. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν επεξεργάστηκαν με τη χρήση λογισμικού GIS και παράχθηκαν επιμέρους θεματικοί χάρτες στους οποίους απεικονίζονται οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν κατά την εφαρμογή του αναλυτικού εργαλείου. Επιπλέον, διερευνήθηκαν χαρακτηριστικά του τμήματος της παράκτιας ζώνης με υψόμετρο κάτω του ενός μέτρου και αποτυπώθηκαν οι χρήσεις γης που πρόκειται να απολεσθούν από την αναμενόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης. Τα αποτελέσματα της έρευνας καταδεικνύουν το βαθμό τρωτότητας της παράκτιας ζώνης του δέλτα του Πηνειού ποταμού και τις επακόλουθες συνέπειες τόσο στο φυσικό περιβάλλον όσο και στην κοινωνικές και οικονομικές δραστηριότητες.

Abstract

The present master thesis aims to assess the vulnerability of the deltaic front of Peneus river in coastal hazards related to climate change. Aerial photos of 1996 and recent satellite images (2016) taken from Google earth, were used for the assessment of the shoreline displacement over time. Therefore, Coastal Vulnerability Index (CVI) was calculated and applied to the coastline for the estimation of vulnerability of the deltaic front to erosion, as a result of sea level rise. GIS software was used for data processing and visualization by producing thematic maps in which the variables of CVI are presented. Furthermore, the part of coastal zone lower than 1 meter height was isolated and presented by land-use, so the impacts of sea level rise by 1 meter, can be monitored effectively. The results of the present thesis demonstrate the vulnerability rank of coastal zone and the upcoming impacts to natural habitat and also to socio-economic activity.

Εισαγωγή

Ένα από τα βασικότερα ζητήματα που απασχολεί τον άνθρωπο, αποτελεί η αναμενόμενη άνοδος της θαλάσσιας στάθμης ως αποτέλεσμα της κλιματικής αλλαγής. Τα δέλτα των ποταμών αποτελούν παράκτια περιβάλλοντα που αναμένεται να υποστούν σημαντικές επιπτώσεις εξ' αιτίας των κινδύνων που σχετίζονται με τη κλιματική αλλαγή. Η σημασία των δελταϊκών περιβαλλόντων είναι βαρύνουσα, λόγω της ευφορίας των εδαφών τους τα οποία αποτελούν χώρο ανάπτυξης κοινωνικών και οικονομικών δραστηριοτήτων και ταυτόχρονα αποτελούν χώρους ιδιαίτερης οικολογικής αξίας. Γνωρίζοντας πως μεγάλο ποσοστό του πληθυσμού της Ελλάδας κατοικεί στη παράκτια ζώνη, είναι ενδιαφέρον και χρήσιμο να μελετηθεί ο βαθμός των επιπτώσεων στις κοινωνίες των παράκτιων περιοχών από την κλιματική αλλαγή.

Ο παράκτιος ελληνικός χώρος είναι ιδιαίτερα σημαντικός καθώς συγκεντρώνει το 33% του συνολικού πληθυσμού και μεγάλο αριθμό οικοσυστημικών υπηρεσιών και αγαθών που παίζουν σημαντικό ρόλο στη βιωσιμότητα της χώρας και στην εθνική οικονομία (Kontogianni et al., 2012). Σε σχετικές ερευνητικές εργασίες που έχουν πραγματοποιηθεί φαίνεται πως το 52% περίπου των ελληνικών ακτών θεωρούνται ως υψηλής και πολύ υψηλής επικινδυνότητας σε μια ενδεχόμενη άνοδο της μέσης στάθμης θάλασσας. Επίσης εκτιμάται ότι μέχρι το 2080, το 33% των υγροβιότοπων θα μετατραπεί σε ανοιχτή θάλασσα (IPCC, 2007).

Συνεπώς, η μελέτη των παράκτιων κινδύνων και πιο στοχευμένα οι επιπτώσεις τους στα δελταϊκά περιβάλλοντα, κρίνεται απαραίτητη. Η συγκέντρωση του πληθυσμού και το μεγάλο εύρος δραστηριοτήτων που συναντώνται στα περιβάλλοντα αυτά, τα καθιστούν υψηλής σημασίας. Οι οικονομικές απώλειες λόγω καταστροφών και απώλειας εδαφών που θα προκληθούν από τη κλιματική αλλαγή, φαίνεται πως θα είναι μεγάλης έκτασης (Κοντογιάννη κ.α., 2011).

Η μεγάλη σημασία των ελληνικών ακτών ως φυσικού πόρου, απαιτεί τη χρήση ενός μαθηματικού μοντέλου το οποίο θα είναι ικανό να προσδιορίζει τη παράκτια επικινδυνότητα. Τα κύρια στοιχεία ενός τέτοιου μοντέλου παράκτιας επικινδυνότητας είναι οι παράγοντες παράκτιας εξέλιξης που επηρεάζουν τη σταθερότητα των ακτών και ακτογραμμών, δρώντας σε μεγάλο εύρος χρονικών και χωρικών κλιμάκων.

Ο Δείκτης Παράκτιας Επικινδυνότητας “CVI” (Coastal Vulnerability Index) είναι ένας από τους ευρέως διαδεδομένους δείκτες εκτίμησης της επικινδυνότητας των παράκτιων περιοχών στους φυσικούς κινδύνους, τόσο στην Ελλάδα, όσο και στο εξωτερικό. Ο υπολογισμός έξι βασικών μεταβλητών (παράκτια γεωμορφολογία της περιοχής, παράκτια κλίση, προέλαση-διάβρωση της ακτογραμμής, μέσο παλιρροιακό εύρος, μέσο σημαντικό ύψος κύματος και η σχετική μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης), οδηγεί στην εξαγωγή μιας τιμής που χαρακτηρίζει το βαθμό τρωτότητας της ακτογραμμής στους παράκτιους κινδύνους όπως είναι η άνοδος της θαλάσσιας στάθμης λόγω κλιματικής αλλαγής (Hammar-Klose, and Thieler, 2001). Κατά συνέπεια ο

δείκτης αυτός βοηθάει στην επιλογή στρατηγικών διαχείρισης της παράκτιας ζώνης ανάλογα με την τρωτότητα που παρουσιάζει και την οικονομική, κοινωνική και οικολογική αξία της. Η Ελλάδα είναι μια παράκτια χώρα με πολλά νησιά και σημαντικό μήκος ηπειρωτικής ακτογραμμής, γεγονός που καθιστά τον υπολογισμό του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας, ιδιαίτερης σημασίας.

Στόχος της συγκεκριμένης μεταπτυχιακής μελέτης είναι η εκτίμηση της τρωτότητας της ακτογραμμής του δέλτα του Πηνειού ποταμού στην άνοδο της ΜΣΘ λόγω της κλιματικής αλλαγής. Αρχικά υπολογίζεται ο CVI για την ακτογραμμή του δέλτα και έπειτα, λαμβάνοντας υπόψη το σενάριο ανόδου της ΜΣΘ κατά 1 μέτρο μέχρι το 2100 (IPCC), γίνεται μια απεικόνιση των περιοχών του δέλτα, ανά χρήση γης, που αναμένεται να κατακλυσθούν από τη θάλασσα.

Α' Μέρος

1. Δελταϊκά περιβάλλοντα

Ο όρος «Δέλτα» συναντάται από τα αρχαία χρόνια. Χρησιμοποιήθηκε για να περιγράψει γεωμορφές που σχηματίζονται στις εκβολές των ποταμών λόγω της απόθεσης υλικού. Πρόκειται για φυσικά συστήματα, δυναμικώς μεταβαλλόμενα, τα οποία συνδέονται με τις μεταβολές των συνθηκών εντός και εκτός των λεκανών απορροής. Ο σχηματισμός ενός δέλτα στις εκβολές του ποταμού προϋποθέτει την ύπαρξη ταχύτερου ρυθμού προσφοράς ιζήματος από το ποτάμι σε σχέση με το ρυθμό απομάκρυνσης αυτού από τις θαλάσσιες διεργασίες. Πέρα από το βασικό αυτό παράγοντα, υπάρχουν και κάποιοι άλλοι που συντελούν στο σχηματισμό των ποτάμιων δέλτα. Σύμφωνα με τον Καρύμπαλη (2010), οι συνθήκες που επικρατούν στη λεκάνη απορροής αλλά και στη λεκάνη «υποδοχής» των ιζημάτων, είναι:

- Οι κλιματικές συνθήκες
- Το είδος και η πυκνότητα βλάστησης
- Η ανθρώπινη δραστηριότητα (κατασκευή φραγμάτων, οικιστική δραστηριότητα)
- Η λιθολογική σύσταση και η τεκτονική καταπόνηση των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής
- Η χαμηλή κυματική ενέργεια
- Το μικρό σχετικά βάθος της λεκάνης υποδοχής των ιζημάτων
- Το μικρό εύρος παλίρροιας
- Τα ευνοϊκά παράκτια ρεύματα
- Η γεωμετρία κλειστού κόλπου.

Τα δελταϊκά περιβάλλοντα αποτελούν περιοχές πολύ υψηλής επικινδυνότητας όσον αφορά την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης. Το γεγονός αυτό οφείλεται κατά βάση στη πολύ χαμηλή μορφολογική κλίση σε συνδυασμό με τη παρουσία οικιστικής, τουριστικής, βιομηχανικής και αγροτικής δραστηριότητας. Η σταδιακή καθίζηση της επιφάνειας των δέλτα, η οποία οφείλεται στη συμπύκνωση του χαλαρού ιζήματος με τη πάροδο του χρόνου, επιβαρύνει τις επιπτώσεις από την άνοδο της στάθμης της θάλασσας (Καρύμπαλης, κ.ά., 2014)

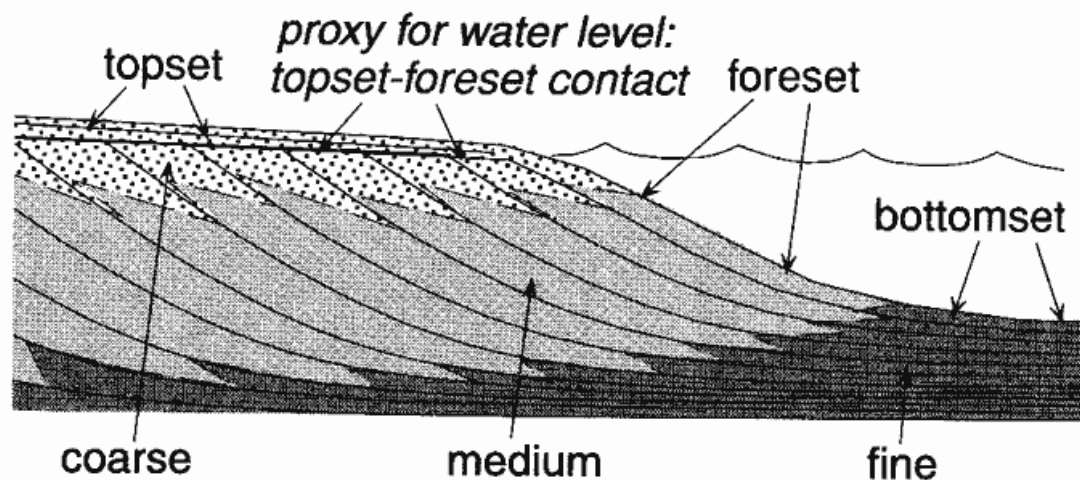
1.1 Σχηματισμός των Δέλτα

Ο σχηματισμός των Δέλτα είναι η δημιουργία εντελώς νέων χερσαίων περιοχών σε βάρος της θάλασσας. Αν ο ποταμός είναι πλούσιος σε φερτά υλικά και εκβάλει στη θάλασσα ή σε λίμνη, τότε στις εκβολές του αποτίθενται τεράστιες ποσότητες ιζημάτων. Το σχήμα των αποθέσεων αυτών μοιάζει με το κεφαλαίο γράμμα Δ. Ο Ηρόδοτος έδωσε πρώτος τον χαρακτηρισμό Δέλτα, για να περιγράψει το σχήμα των αποθέσεων των εκβολών του Νείλου ποταμού. Όλοι οι ποταμοί δεν σχηματίζουν δέλτα και όλα τα δέλτα δεν έχουν το σχήμα του γράμματος Δ.

Σύμφωνα με τον Καρύμπαλη (2010), ο μηχανισμός δημιουργίας των δέλτα μπορεί να περιγραφεί ως εξής

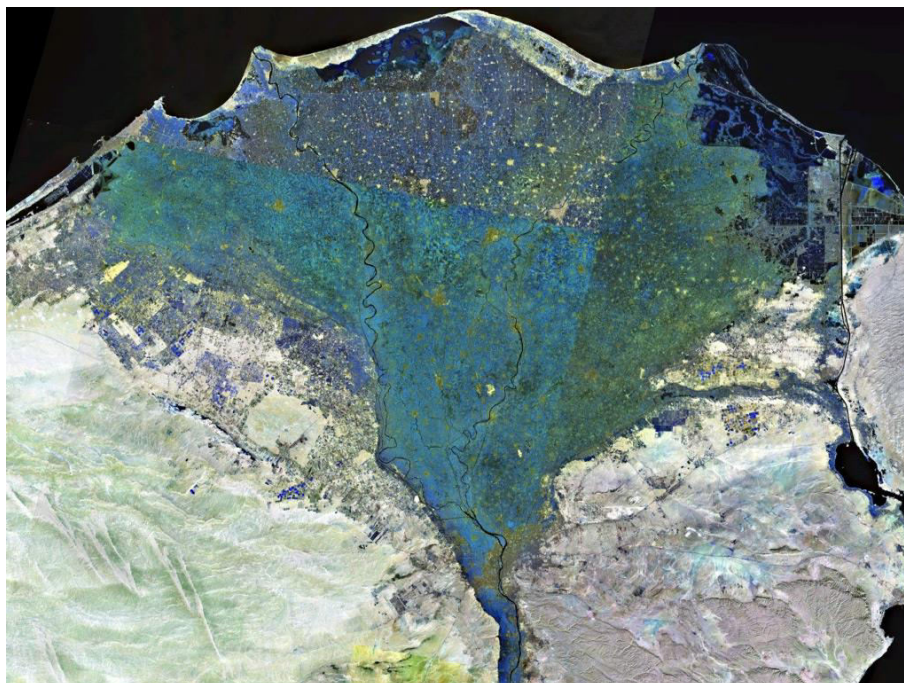
- Στην αρχή αποτίθενται τα πρώτα υλικά που περιβάλλουν την εκβολή σαν ένα ευρύ τόξο.
- Η ροή του ποταμού παρεμποδίζεται και διχάζεται σε κλάδους, που αποφράσσονται πάλι και δημιουργούν νέες κοίτες.
- Όταν ολοκληρωθεί η απόθεση υλικών ο ποταμός διαρρέει τις προσχώσεις του και προωθείται προς τη θάλασσα δημιουργώντας νέες αποθέσεις.
- Με την απόθεση υλικών σχηματίζεται ένα τριγωνικό πεδίο προσχώσεων.

Τα υλικά των δελταϊκών αποθέσεων ποικίλουν από χονδρόκοκκα έως πολύ λεπτόκοκκα. Στη τομή του παρακάτω σχήματος παρουσιάζονται τα υλικά των αποθέσεων ενός δέλτα με την ακόλουθη διαδοχή. Ένα επιφανειακό οριζόντιο στρώμα με λεπτόκοκκα υλικά που σχηματίζει την δελταϊκή πλατφόρμα. Κάτω από αυτό το επιφανειακό στρώμα υπάρχουν χονδρόκοκκα υλικά και στην συνέχεια μεσόκοκκα υλικά σε κεκλιμένα στρώματα που αποτελούν την δελταϊκή κατωφέρεια. Στην συνέχεια υπάρχουν οριζόντια στρώματα με εξαιρετικά λεπτόκοκκα υλικά που αποτελούν την προδελταϊκή πλατφόρμα και εκτείνονται σε μεγάλη απόσταση από τις εκβολές (Καρύμπαλης, 2010).



Εικόνα 1: Μορφολογική τομή των στρωμάτων ενός δέλτα (Μαθήματα φυσικής γεωγραφίας, ηλεκτρονικό βιβλίο, <http://www.geo.auth.gr/courses/gge/gge427y/chapter088.html>)

Σύμφωνα με τον Καρύμπαλη (2010), ο σχηματισμός των Δέλτα είναι συνδυασμός δύο διεργασιών, της μεταφοράς και απόθεσης των υλικών από τον ποταμό και της ταξινόμησής τους από τη θάλασσα. Η δράση των κυμάτων διασκορπίζει τα υλικά κατά τέτοιο τρόπο ώστε να σχηματίζονται τόξα προσχώσεων. Πρόσφατες απόψεις αποδίδουν το σχηματισμό του τοξοειδούς σχήματος των δελταϊκών αποθέσεων του ποταμού Νείλου σε κυματισμούς βόρειας συνιστώσας που δέχεται. Αντίθετα ο ποταμός Μισισσιπής που είναι προφυλαγμένος από κυματισμούς και παράκτια ρεύματα στο κόλπο του Μεξικού παρουσιάζει μια εντελώς διαφορετική μορφολογία στις προσχώσεις του.



Εικόνα 2: Δορυφορική φωτογραφία των δελταϊκών αποθέσεων του Νείλου ποταμού (Wikipedia.org)

Γενικά υπάρχουν δύο τύποι σχηματισμών Δέλτα. Ο κλασικός *τοξοειδούς μορφής* τύπος του Νείλου και ο *πελματοειδής* ή *πέλματος πτηνού* του ποταμού Μισισσιπή. Γλώσσες ξηράς αναπτύσσονται προς τα έξω που μοιάζουν με πέλμα πτηνού και προχωρούν προς τη θάλασσα. Με την πάροδο του χρόνου η ενδιάμεση περιοχή προσχώνεται, αλλά η προέλαση συνεχίζεται. Το Δέλτα του Μισισσιπή έχει πέντε βραχίονες.



Εικόνα 3: Δορυφορική φωτογραφία του Δέλτα του ποταμού Μισισσιπή (sciencephoto.com)

Όλοι οι ποταμοί δεν έχουν τη δυνατότητα σχηματισμού Δέλτα. Ο μη σχηματισμός Δέλτα είναι δυνατό να οφείλεται σε περιορισμένες φερτές ύλες εξαιτίας της παρεμβολής μιας φυσικής ή τεχνητής λίμνης στην πορεία του ποταμού ή σε μεγάλες διακυμάνσεις της παλίρροιας στο χώρο των εκβολών τους. Οι μεγάλοι ποταμοί (Αμαζόνιος, Σηκουάνας κλπ) που δεν σχηματίζουν δέλτα και εκβάλλουν σε περιοχές με μεγάλο παλιρροιακό εύρος, δημιουργούν ένα στόμιο εκβολής με μεγάλο βάθος. Ο πυθμένας της κοίτης του βρίσκεται αρκετά χαμηλότερα από τη στάθμη της θάλασσας. Έτσι είναι δυνατή η είσοδος της θάλασσας σε μεγάλες αποστάσεις μέσα στην κοίτη του ποταμού. Οι ποταμοί αυτοί ονομάζονται *ποταμόκολποι* (Estuaries).

1.2 Σημασία των Δέλτα για τον άνθρωπο

Τα δελταϊκά περιβάλλοντα αποτελούν γεωμορφές υψηλής σημασίας για τον άνθρωπο. Η εξέλιξη και η ευημερία των κατοίκων παράκτιων περιοχών βασίστηκε σε αρκετές περιπτώσεις στη παρουσία δελταϊκών πεδιάδων όπου ανέπτυξαν πλήθος δραστηριοτήτων. Πέραν της οικολογικής, τα δέλτα διαθέτουν και μεγάλη κοινωνική και οικονομική αξία. Οι περιοχές των ποτάμιων δέλτα αποτελούσαν ανέκαθεν πόλο έλξης για τον άνθρωπο. Σύμφωνα με τον Καρύμπαλη (2010), κάποιοι από τους πολλούς λόγους αυτής της έλξης είναι οι παρακάτω:

- Η ήπια τοπογραφία των δέλτα, τα οποία με το χαμηλό, ομοιόμορφο και ομαλό ανάγλυφό τους καθιστούσαν την επικοινωνία μεταξύ των περιοχών τους εύκολη.
- Οι ευφορία των εδαφών τους, κυρίως λόγω των πλημμυρών στη δελταϊκή πεδιάδα, με αποτέλεσμα τη τροφοδοσία του εδάφους με ιλύ. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι να εμπλουτίζονται τα δελταϊκά εδάφη με πλήθος συστατικών που τα καθιστά ιδανικά για γεωργικές καλλιέργειες. Το δέλτα του Νείλου είναι ένα από τα παραδείγματα όπου μία χώρα (Αίγυπτος) στήριζε για χιλιάδες έτη την οικονομία της στην εκμετάλλευση ενός ποτάμιου δέλτα.
- Η δυνατότητα κατασκευής εγγειοβελτιωτικών έργων. Η σχεδίαση και υλοποίηση έργων αποξήρανσης και αποστράγγισης των υγρών περιοχών της δελταϊκής πεδιάδας, όπως είναι τα έλη, οι βάλτοι, οι αβαθείς λίμνες και οι λιμνοθάλασσες, μπορεί να αυξήσει σημαντικά την έκταση της εύφορης γεωργικής γης.
- Το εμπόριο ήταν επίσης ένας καθοριστικός παράγοντας εξέλιξης και ευημερίας των ανθρώπων που κατοικούσαν στα ποτάμια δέλτα. Τα ποτάμια που δημιουργούν τα μεγαλύτερα δέλτα του κόσμου συνήθως είναι, σε ένα μεγάλο μήκος της διαδρομής τους, πλωτά λόγω του μεγάλου τους μήκους και πλάτους. Μεγάλα λιμάνια έχουν εγκατασταθεί σε δελταϊκές περιοχές για τη μεταφορά προϊόντων και κυρίως των αγαθών που παράγονται στο ίδιο δέλτα. Αυτό δεν ισχύει για τη χώρα μας, όπου τα ποτάμια είναι ορεινού χαρακτήρα με μεγάλη κλίση κοίτης και σημαντικές εποχιακές διακυμάνσεις στην παροχή, οπότε δεν είναι δυνατή η χρησιμοποίησή τους για τη διακίνηση και μεταφορά προϊόντων.

2. Παράκτια Ζώνη

Η παράκτια ζώνη αποτελεί μια δυναμική και ραγδαίως μεταβαλλόμενη διεπιφάνεια ανάμεσα στη θάλασσα και τη ξηρά. Οι κοινωνικό – οικονομικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα σε αυτή, ακολουθούν τις φυσικές διεργασίες και σε πολλές περιπτώσεις καθορίζονται σε μεγάλο βαθμό από αυτές.

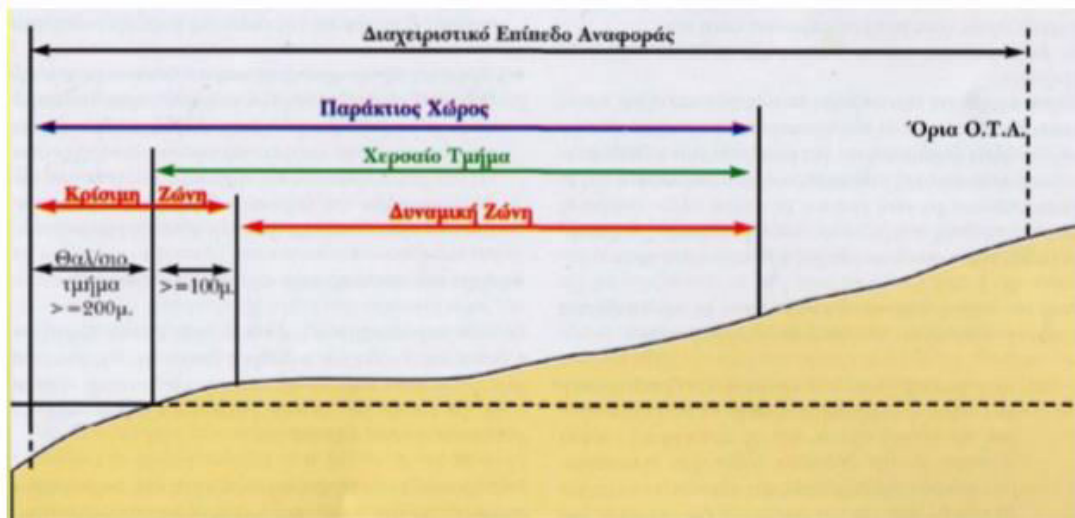
Ως ακτογραμμή ορίζεται η γραμμή επαφής μεταξύ της ξηράς και της επιφάνειας της θάλασσας ή άλλου υδάτινου σώματος. Οι ακτές είναι ενδιάμεσες περιοχές μεταξύ ξηράς και θάλασσας που δέχονται έντονες επιδράσεις από φυσικούς παράγοντες όπως το κλίμα, αλλά και επιδράσεις από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, και αποτελούν σημαντικό παράγοντα δυναμικής ισορροπίας ανάμεσα στο υγρό στοιχείο και το στερεό (Κοκκώσης, 2006). Η παράκτια ζώνη είναι πιο εκτεταμένη προς τη πλευρά της ενδοχώρας και αποτελεί τη μεταβατική περιοχή ανάμεσα σε στεριά και θάλασσα. Τα όρια της ζώνης αυτής είναι ασαφή και δε ταυτίζονται με διοικητικά όρια. Συχνά, με σκοπό την ορθή διαχείριση της παράκτιας ζώνης, λαμβάνεται υπ' όψιν το σύνολο της λεκάνης απορροής (υδρογραφικά δίκτυα και υδρολογικές λεκάνες) η οποία εκτείνεται προς την ενδοχώρα.

Όσον αφορά στο διαχωρισμό παράκτιας ζώνης και παράκτιας περιοχής αξίζει να αναφερθεί πως ο όρος «παράκτια ζώνη» αφορά μια γεωγραφική περιοχή που καθορίζεται από την ισχύουσα νομοθεσία για τη διαχείριση της παράκτιας λωρίδας. Σε αντίθεση, ο όρος *παράκτια περιοχή* αναφέρεται σε ευρύτερες γεωγραφικές περιοχές στις οποίες συμπεριλαμβάνονται οι παράκτιες ζώνες οι οποίες καθορίζουν το γενικότερο πλαίσιο για τις ενέργειες διαχείρισης (Κοκκώσης, 2006).

Το πεδίο εφαρμογής και ανάλυσης των παράκτιων περιοχών περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

- Τη μελέτη της οικονομικής και περιβαλλοντικής σημασίας των παράκτιων περιοχών
- Τις περιβαλλοντικές απειλές
- Τις αλληλεξαρτήσεις των παραγωγικών τομέων
- Τη μελέτη των παραγόντων που οδηγούν σε υποβάθμιση του οικοσυστήματος και μείωση των φυσικών πόρων των παράκτιων περιοχών
- Πιέσεις που ασκεί η γεωργία, η δασοπονία και η αλιεία στις περιοχές αυτές.

Συνεπώς, η μελέτη των παράκτιων περιοχών συνδέεται περισσότερο με την οικονομική ανάπτυξη και εστιάζει σε δείκτες που αφορούν την αγορά εργασίας και συγκεκριμένα την απασχόληση, την ανεργία, τις παραγωγικές δραστηριότητες, τον τουρισμό, τη μεταφορά αγαθών και εμπορευμάτων, τη μεταφορά ανθρώπων, τη ναυτιλία και την αλιεία. (Eurostat, 2011).



Εικόνα 4: Ζώνες παράκτιου χώρου (Γεωργίου, 2017)

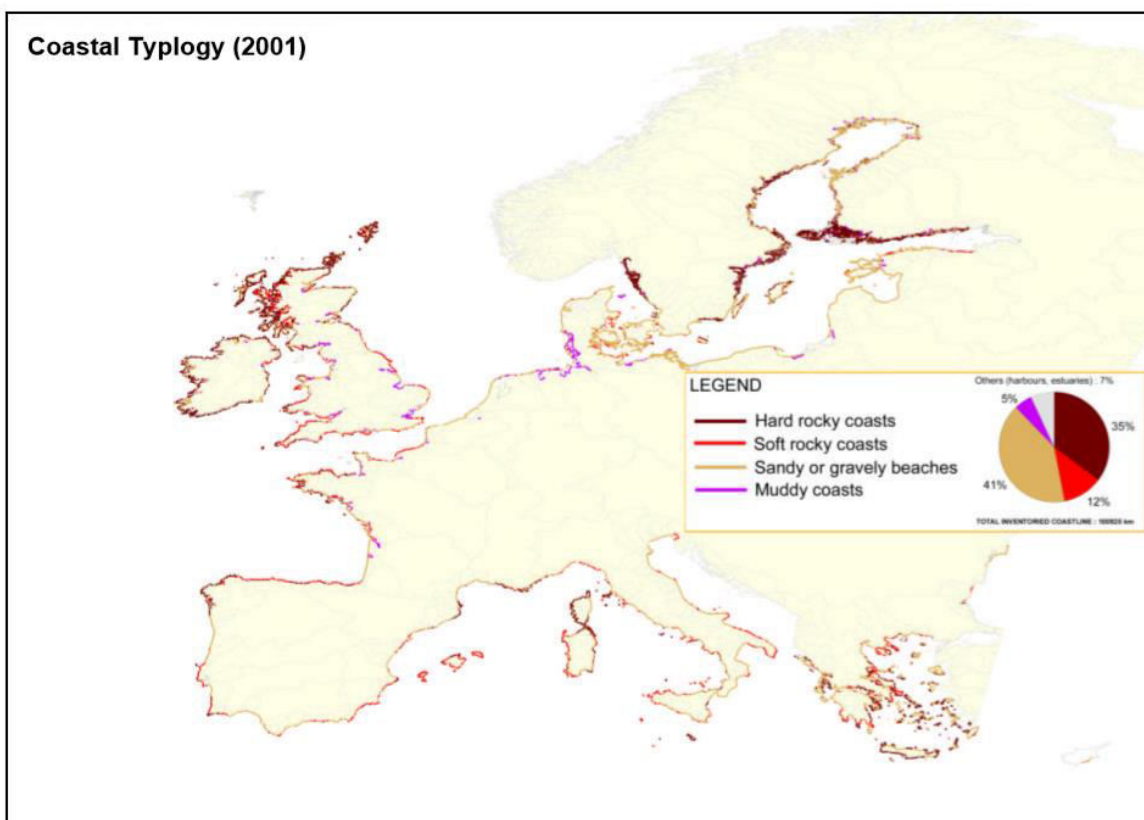
2.1 Σημασία της παράκτιας ζώνης

Η περιοχή που οριοθετείται από την παράκτια ζώνη αποτελεί ένα χώρο στον οποίο εξελίσσεται πλήθος δραστηριοτήτων κάθε είδους. Ένα ακόμα χαρακτηριστικό της παράκτιας ζώνης είναι η μεγάλη αξία της σε οικολογικό, πολιτιστικό και κοινωνικό επίπεδο. Πρόκειται για ένα γεωγραφικό χώρο όπου υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ των χερσαίων και θαλάσσιων οικοσυστημάτων και συνεπώς η ύπαρξη και διατήρησή της κρίνει τη βιωσιμότητα αρκετών ειδών (ζώων, φυτών, θαλάσσιων ειδών). Οι δελταϊκοί σχηματισμοί, σαν αυτόν που θα μελετηθεί στη παρούσα εργασία, είναι ένα από τα πολυάριθμα οικοσυστήματα που μπορεί να συναντήσει κάποιος σε αυτή. Κάποια άλλα περιβάλλοντα της παράκτιας ζώνης είναι τα έλη, οι λιμνοθάλασσες, αμμόδεις και βραχώδεις παραλίες, ύφαλοι κ.α., τα οποία αποτελούν περιοχές αναπαραγωγής και διαβίωσης πολλών ειδών χλωρίδας και πανίδας (Μπανέλα, 2015)

Κάποιοι από τους λόγους που οδήγησαν τους ανθρώπους να επιλέξουν τη παράκτια ζώνη ως περιοχή κατοικίας και δραστηριοποίησης γενικότερα είναι η θαλάσσιες οδοί που ευνοούν το εμπόριο, οι φυσικοί πόροι καθώς και η αισθητική αξία αυτής. Οπότε γίνεται αντιληπτό πως η παράκτια ζώνη πέραν της οικολογικής της αξίας διαθέτει και μεγάλη οικονομική σημασία, γεγονός που επαληθεύεται και από τα ποσοστά των ανθρώπων που δραστηριοποιούνται σε αυτήν.

2.2 Τύποι Ακτών στον Ελληνικό Χώρο

Στην υποενότητα αυτή θα μελετηθούν οι τύποι ακτών που συναντώνται στον ελληνικό χώρο. Πριν γίνει αυτό, παρατίθεται ο παρακάτω χάρτης με τους τύπους ακτών των ευρωπαϊκών χωρών με σκοπό τη αποτύπωση της γενικότερης εικόνας και το συσχετισμό της ελληνικής ακτογραμμής με αυτή της υπόλοιπης Ευρώπης. Η άνοδος της ΜΣΘ πρόκειται να παίζει καταλυτικό ρόλο στη μελλοντική διαμόρφωση της παγκόσμιας γεωγραφίας των ακτών, με τις περιοχές χαμηλού ανάγλυφου να διατρέχουν υψηλότερο κίνδυνο (Τρυπιτισίδης, 2010)

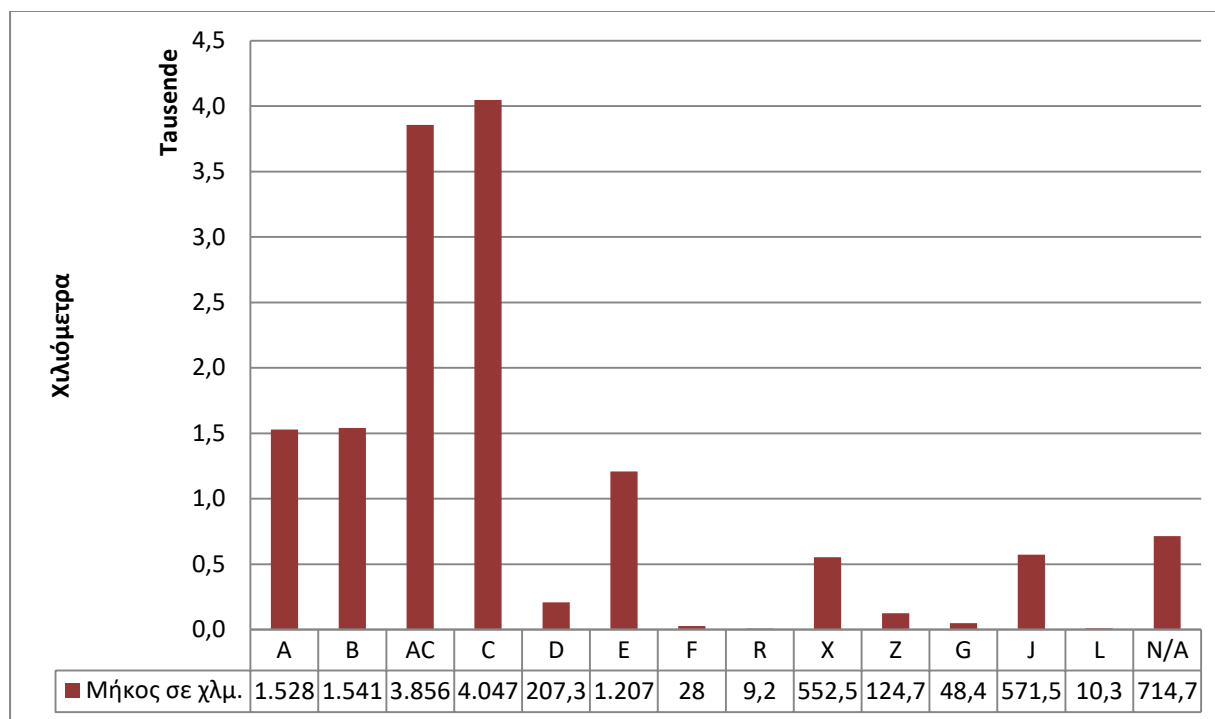


Χάρτης 1: Τύποι ακτών της Ευρώπης σύμφωνα με το πρόγραμμα EuroSION (2004)

Η Παγκόσμια τράπεζα πραγματοποίησε μελέτη (Dasgusta, 2007), σύμφωνα με την οποία το 0,3% της επικρατείας (194.000 τ. χλμ) των 84 αναπτυσσόμενων χωρών θα επηρεαστεί από την άνοδο της ΜΣΘ κατά 1 μέτρα με 56 εκατομμύρια ανθρώπους να υφίστανται τις συνέπειες (1,28% του πληθυσμού των εν λόγω χωρών). Η ελληνική ακτογραμμή των 16.000 χλμ. αντιστοιχεί στο 25% της ακτογραμμής της Ευρωπαϊκής Ένωσης με το 27% αυτής να αποτελεί το ηπειρωτικό μέρος της χώρας. Όσον αφορά τον κίνδυνο που διατρέχει ο παράκτιος ελληνικός χώρος σε σχέση με τις υπόλοιπες ευρωπαϊκές χώρες, είναι χαμηλός. Αυτό οφείλεται στο έντονο γεωμορφολογικό ανάγλυφο που χαρακτηρίζει την Ελλάδα (Τρυπιτισίδης, 2010).

Πίνακας 1:Περιγραφή τύπου Ακτών στην Ελλάδα, (EuroSION, 2004)

Κωδικός τύπου ακτής (EuroSION, 2004)	Περιγραφή	Μήκος σε χλμ	Ποσοστό (%)
Βραχώδεις ακτές			
A	Κρημνοί που έχουν αναπτυχθεί σε ανθεκτικούς στη διάβρωση γεωλογικούς σχηματισμούς, με ενδεχόμενη παρουσία παράκτιων πάγκων.	1.528,1	10,56
B	Κρημνοί που έχουν αναπτυχθεί σε κροκαλοπαγή ή/και σε γεωλογικούς σχηματισμούς μικρής ανθεκτικότητας στη διάβρωση (όπως μάργες κλπ.). Συχνή είναι η παρουσία κορημάτων ή και ιζήματος (άμμος, κροκάλες) κατά μήκος της ακτογραμμής μπροστά από το μέτωπο των κρημνών.	1.541,5	10,65
AC	Βραχώδεις κυρίως ακτές μικρής διάβρωσης, με αιγιαλούς στο μυχό κόλπων (μήκους >200μ.)	3.856,4	26,64
Αιγιαλοί			
C	Περιορισμένης έκτασης αιγιαλοί (με μήκος από 200-1000μ.) που αναπτύσσονται μεταξύ βραχιδών ακρωτηρίων (με μήκος <200μ.)	4.047,4	27,96
D	Εκτεταμένοι αιγιαλοί (μήκους >1χλμ.) χονδρόκοκκου ιζήματος (χάλικες ή κροκάλες)	207,3	1,43
E	Εκτεταμένοι αιγιαλοί (με μήκος >1χλμ) λεπτόκοκκης έως χονδρόκοκκης άμμου.	1.207,3	8,34
F	Ακτές που αποτελούνται από χαλαρά (μη συνεκτικοποιημένα) ιζήματα. Στη κατηγορία αυτή ανήκουν οι φραγματικοί αιγιαλοί, οι γλωσσοειδείς βραχίονες και τα τόμπολο.	28,0	0,19
R	Ακτές χαλαρών υλικών με παρουσία ψηφιδωπαγών αιγιαλών (beachrock) στην ενδοπαλιρροιακή ζώνη.	9,2	0,06
X	Ακτές χαλαρών υλικών φτωχής ταξινόμησης ως προς το μέγεθος των κόκκων του ιζήματος.	552,5	3,82
Z	Ακτές χαλαρών υλικών άγνωστης ταξινόμησης ως προς το μέγεθος των κόκκων του ιζήματος.	124,7	0,86
Ελώδεις ακτές			
G	Ακτές αποτελούμενες από πηλώδη ιζήματα (μίγμα ιλύος και αργίλου). Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα παλιρροιακά πεδία (ή πεδία παλίρροιας) και τα ενδοπαλιρροιακά έλη με πεδία πηλού και κοίτες παλίρροιας.	48,4	0,33
Τεχνητά διαμορφωμένες ακτές			
J	Λιμενικές ζώνες.	571,5	3,95
L	Παράκτια αναχώματα για κατασκευαστικούς σκοπούς (π.χ. χωματουργικές εργασίες).	10,3	0,07
N/A	Ακτές μη καταγεγραμμένες.	714,7	4,94



Διάγραμμα 1: Μήκος ακτογραμμής σε χλμ. ανά τύπο (EuroSION, 2004).

Η κατηγοριοποίηση των ακτών έγινε σύμφωνα με την κατάταξη των παράκτιων γεωμορφών του προγράμματος «EuroSION» (2004).

- Βραχώδεις, απόκρημνες ακτές, που αποτελούνται κυρίως από ανθεκτικούς στη διάβρωση αλπικούς γεωλογικούς σχηματισμούς. Συχνά η συνέχεια των παράκτιων κρημνών διακόπτεται από την παρουσία μικρών αιγιαλών στον μυλό των κόλπων (pocket beaches) και ενδεχομένως παράκτιων πάγκων, με μήκος μικρότερο των 200 μ. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν και κρημνοί που έχουν αναπτυχθεί σε μικρής αντοχής στη διάβρωση μεταλπικούς γεωλογικούς σχηματισμούς με παρουσία κορημάτων ή/και ιζημάτων στη βάση των κρημνών, κατά μήκος της ακτογραμμής, ως αποτέλεσμα της διάβρωσης.
- Ακτές χαλαρών υλικών. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν κυρίως αιγιαλοί (παραλίες) μικρής σχετικά έκτασης, με μήκος που κυμαίνεται από 200 έως 1000 μ. και αναπτύσσονται μεταξύ βραχωδών ακρωτηρίων. Εδώ επίσης κατατάσσονται μεγαλύτερης έκτασης αιγιαλοί, με μήκος άνω του 1 χλμ., το ίζημα των οποίων μπορεί να διαφέρει στην ταξινόμηση τόσο ως προς το μέγεθος των κόκκων, όσο και ως προς την προέλευσή τους. Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει και αιγιαλούς που επηρεάζονται από τη δράση της παλίρροιας.
- Ακτές αποτελούμενες από πηλώδη ιζήματα (ιλύ και άργιλο) που αναπτύσσονται σε πεδία παλίρροιας. Εδώ ανήκουν και τα ενδοπαλίρροιακά έλη που περιλαμβάνουν πεδία πηλού και κοίτες παλίρροιας.
- Τεχνητά διαμορφωμένες ακτές σε λιμενικές ζώνες και ακτές με παράκτια αναχώματα.

3. Παράκτια Διάβρωση

Η παράκτια διάβρωση αποτελεί συνήθως μια μη αναστρέψιμη διεργασία κατά την οποία η ακτογραμμή υποχωρεί. Η φυσική αυτή διεργασία δύναται να επιφέρει σοβαρές κοινωνικο-οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις στις παράκτιες περιοχές. Ο βαθμός στον οποίο εκδηλώνεται το φαινόμενο αυτό, καθώς και το μέγεθος των συνεπειών, εξαρτάται από το ισοζύγιο των διεργασιών του άμεσου παράκτιου χώρου με αυτών που λαμβάνουν χώρα στις ηπειρωτικές χερσαίες περιοχές (Καρύμπαλης, 2010).

Πίνακας 2: Διεργασίες που επηρεάζουν το βαθμό εκδήλωσης του φαινομένου της παράκτιας διάβρωσης (Καρύμπαλης, 2010)

Φυσικές και Ανθρωπογενείς Διεργασίες	
Άμεσος Παράκτιος χώρος	Ηπειρωτικές χερσαίες περιοχές
Κυματισμός	Κατασκευή έργων για την αντιδιαβρωτική προστασία των εδαφών των υδρολογικών λεκανών
Παράκτια ρεύματα	Εντατικές καλλιέργειες
Άνοδος θαλάσσιας στάθμης	Αναδασώσεις
Οικιστική και τουριστική ανάπτυξη των ακτών	Κατασκευή φραγμάτων στα ανάντη τμήματα των ποταμών

Ο κύριος λόγος που οδηγεί στην υποχώρηση της ακτογραμμής είναι η μείωση της στερεοπαροχής του ποταμού. Η περιορισμένη παροχή ιζήματος έχει ως αποτέλεσμα να επικρατήσει η απομάκρυνση του υλικού έχοντας μεγαλύτερο ρυθμό από αυτόν της απόθεσης.

Ένα επίσης σημαντικό κριτήριο είναι η σύσταση των ακτών. Ακτές αποτελούμενες από χαλαρά υλικά χαμηλής συνεκτικότητας είναι σαφώς πιο επιρρεπείς. Η διάβρωση των ακτών αποτελεί πρόβλημα παγκοσμίου κλίμακας το οποίο συνεχώς εντείνεται. Στον ευρωπαϊκό χώρο εκτιμάται ότι το 20% των ακτών υποχωρεί με ρυθμούς μεταξύ 0.5-2 μέτρα/έτος (Eurosion, 2004). Τρεις από τις βασικότερες συνέπειες της παράκτιας διάβρωσης είναι:

1. Απώλεια της οικολογικής αξίας
2. Συνέπειες στην οικονομία
3. Κίνδυνος απώλειας ανθρωπίνων ζώων και περιουσίας.

Συνεπώς, η διάβρωση των ακτών αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα, μεταξύ άλλων, αποτελέσματα της ανόδου της θαλάσσιας στάθμης που σε συνδυασμό με τη συχνότερη και εντονότερη κυκλωνική δραστηριότητα συμβάλει στην κατάκλυση σημαντικών παράκτιων υδροβιότοπων και απειλεί το δομημένο περιβάλλον. Επίσης, ένα ακόμα σημαντικό ζήτημα είναι η υποβάθμιση των υπόγειων υδάτων που προκύπτει από την υφαλμύρυνσή του.

Η διαδικασία της διάβρωσης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη μορφή, την ένταση και τη διάταξη των κυμάτων. Ειδικότερα, σύμφωνα με τον Σιάφακα (2003), η ταχύτητα της διαβρωτικής διεργασίας στις ακτές που προκαλείται από τη δράση των θαλάσσιων κυμάτων επηρεάζεται από μια σειρά παραγόντων, όπως:

- Την ένταση και το ύψος των κυμάτων,
- Το είδος και η συνεκτικότητα των πετρωμάτων της ακτής,
- Τα τεκτονικά χαρακτηριστικά της περιοχής,
- Την κλίση και το βάθος του πυθμένα,
- Την παλιρροιακή διακύμανση,
- Την παρουσία τεχνικών έργων προστασίας

Επιπλέον, η ένταση της διάβρωσης επηρεάζεται σημαντικά από την εποχή δράσης της. Οι καταιγίδες και οι θύελλες που εμφανίζονται τη χειμερινή περίοδο προκαλούν διάβρωση με ταχύτερους ρυθμούς λόγω των ισχυρών κυμάτων και θαλάσσιων ρευμάτων που δημιουργούν. Αντίθετα, κατά τη θερινή περίοδο τα θαλάσσια ρεύματα και οι κυματισμοί είναι ήπιοι με αποτέλεσμα σε πολλές περιπτώσεις να συνδράμουν στην απόθεση άμμου στην ακτή και όχι στην εμφάνιση διαβρωτικών διεργασιών (Σιάφακας, 2003).

Τα αποτελέσματα της διάβρωσης σε βραχώδεις ακτές είναι η δημιουργία απότομων κρημών και θαλάσσιων σπηλαίων, ενώ στις αμμώδεις ακτές υπάρχει σημαντική μείωση του πλάτους της ακτής με ταυτόχρονη δημιουργία μιας αβαθούς ζώνης με μικρή κλίση. Η αβαθής αυτή ζώνη ονομάζεται ζώνη διαβρώσεως και το υλικό που απομακρύνεται από αυτή αποτίθεται στην υποθαλάσσια περιοχή σχηματίζοντας μια κυματογενή αναβαθμίδα (Σιάφακας, 2003).

Σε αυτό το σημείο, αξίζει να σημειωθεί ότι ο βαθμός και ρυθμός διάβρωσης επηρεάζεται σημαντικά και από χαρακτηριστικά μίας ακτής, όπως τη γεωλογία και μορφολογία της. Κρίνεται, λοιπόν, αναγκαίο να δοθούν ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά σχετικά με τα ιζήματα των ακτών τα οποία ρυθμίζουν τους μηχανισμούς διάβρωσης που επεξηγούνται στη συνέχεια. Επιπλέον, τα χαρακτηριστικά των ιζημάτων των ακτών κατέχουν σημαντικό ρόλο στην υιοθέτηση συγκεκριμένων μέτρων αντιμετώπισης. Ένα από τα κυριότερα χαρακτηριστικά των ιζημάτων είναι το μέγεθος των κόκκων τους. Ένας κόκκος με διπλάσιο μέγεθος διαμέτρου από έναν άλλο έχει οκταπλάσια μάζα σε σχέση με αυτόν με αποτέλεσμα να διαφοροποιείται σημαντικά η δυναμική και η κινητική τους κατάσταση (Καρύμπαλης, 2010).

Ένα δεύτερο χαρακτηριστικό των κόκκων των ιζημάτων είναι το σχήμα και η μορφή τους. Οι κόκκοι εξετάζονται για την σφαιρικότητα και τη στρογγυλότητα τους οι οποίες είναι δυνατόν να επηρεάσουν κατά ένα βαθμό την κινητικότητα τους. Το σχήμα ενός κόκκου καθορίζεται από το αρχικό σχήμα του ορυκτού από το οποίο προέκυψε, ενώ η μορφή του αφορά σε μια δυναμική διαδικασία που επηρεάζεται από το συνολικό κύκλο ζωής του κόκκου. Σύμφωνα με τον

Καρύμπαλη (2010), οι επίπεδοι κόκκοι αποτίθενται με πιο αργούς ρυθμούς σε σχέση με τους σφαιρικούς, αφού η κινητική τους ικανότητα είναι μικρότερη. Αντίθετα, ο βαθμός στρογγυλότητας των κόκκων υποδηλώνει εν μέρει την ευπάθεια τους στη χημική αποσάθρωση. Έτσι, οι κόκκοι με μικρό βαθμό στρογγυλότητας προέρχονται από χημικά ανθεκτικά ορυκτά και χαρακτηρίζονται από τη μικρή μεταφορική τους ικανότητα, η οποία συνδέεται με τη δυνατότητα απόθεσης. Τα χαρακτηριστικά των κόκκων κατέχουν σημαντικό ρόλο όπως αναφέρθηκε στη διαδικασία της απόθεσης και το βαθμό της διάβρωσης αφού αυτά είναι που επηρεάζουν το ισοζύγιο των ιζημάτων της παράκτιας ζώνης. Το ισοζύγιο των ιζημάτων της παράκτιας ζώνης καθορίζεται από τη δράση δύο διεργασιών, την εισαγωγή ιζήματος στην ακτή και τη μεταφορά ιζήματος στο θαλάσσιο περιβάλλον. Η επικράτηση της πρώτης διεργασίας έχει σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση πρόσχωσης στην ακτή, ενώ η επικράτηση της δεύτερης οδηγεί σε διάβρωση. Στην περίπτωση που το ισοζύγιο είναι σταθερό έχει σαν αποτέλεσμα τη σταθερότητα της ακτογραμμής (Καρύμπαλης, 2010).

Σύμφωνα με τον Καρύμπαλη (2010), η εισαγωγή ιζήματος στην ακτή μπορεί να προκύψει από:

- Παράκτια μεταφορά,
- Ποτάμια στερεοπαροχή,
- Διάβρωση παράκτιων κρημνών,
- Μεταφορά ιζήματος από τη θάλασσα,
- Μεταφορά ιζήματος μέσω της αιολικής δράσης και
- Τεχνητό εμπλουτισμό.

Αντίθετα για την μεταφορά ή απομάκρυνση ιζήματος προς το θαλάσσιο περιβάλλον δρουν μηχανισμοί όπως:

- Παράκτια μεταφορά,
- Παγίδευση ιζήματος σε υποθαλάσσια κανάλια,
- Αμμοληψία
- Μεταφορά ιζήματος μέσω της αιολικής δράσης

4. Κλιματική Αλλαγή και επιπτώσεις στις παράκτιες περιοχές

Η κλιματική σταθερότητα και η διατήρηση των φυσικών πόρων είναι ένα από τα σύγχρονα ζητήματα που σχετίζουν άμεσα την ανθρωπογενή δραστηριότητα με το φυσικό περιβάλλον (Kontogianni et al., 2012). Το «φαινόμενο του θερμοκηπίου» συνδέεται άμεσα με τις κλιματολογικές συνθήκες του πλανήτη, κυρίως λόγω της δέσμευσης της ακτινοβολίας που επανεκπέμπει η Γη προς το διάστημα. Η δέσμευση αυτή οφείλεται στην παρουσία κάποιων αερίων, όπως το CO₂ (διοξείδιο του άνθρακα) στην ατμόσφαιρα. Η φυσική αυτή διεργασία ευθύνεται για την επιπρόσθετη θέρμανση της επιφάνειας της Γης και την επίτευξη θερμοκρασιών που εξασφαλίζουν ευνοϊκές συνθήκες για την εμφάνιση και εξέλιξη ζωής στον πλανήτη (Pouloupoulos, 2016).

Σημαντικό ρόλο στην παραπάνω διαδικασία έχει παίξει και η ανθρώπινη δραστηριότητα με την εκπομπή "θερμοκηπιακών αερίων" (όπως CO₂ και N₂O) στη γήινη ατμόσφαιρα ενισχύοντας το φαινόμενο του θερμοκηπίου με τελική επίπτωση την παγκόσμια υπερθέρμανση και την κλιματική αλλαγή (Pacheco et al., 2014; Pouloupoulos, 2016). Υπάρχει και η άποψη ενός μέρους της επιστημονικής κοινότητας πως η κλιματική αλλαγή δεν υφίσταται και η ανοδική τάση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας του αέρα θεωρείται φυσιολογική και δεν αποδίδεται σε ανθρωπογενή αίτια.

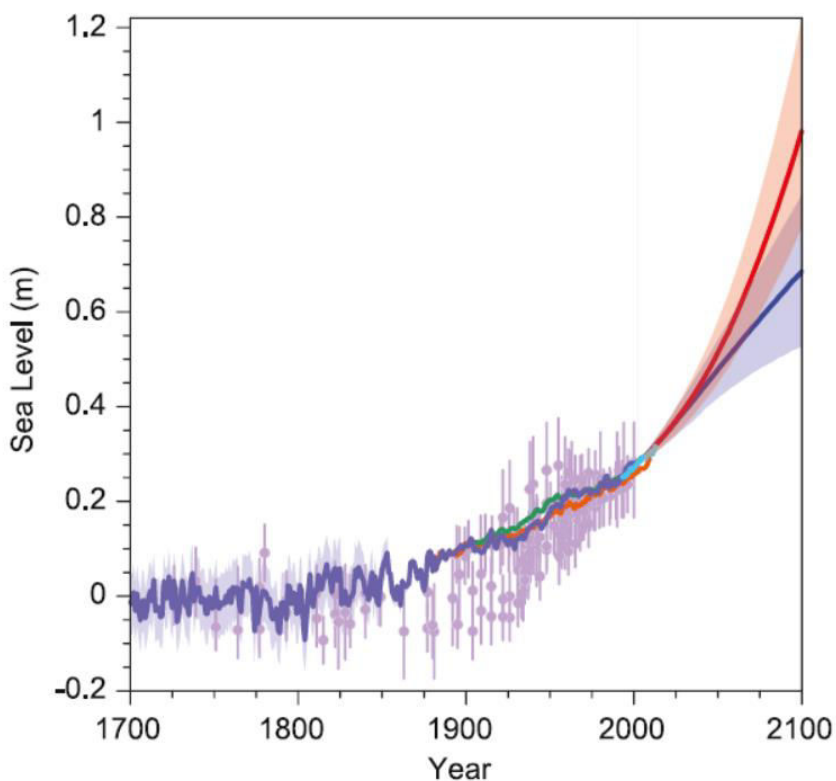
Παρά τις περιπτώσεις αμφισβήτησης του ζητήματος αυτού, ορισμένες διαπιστώσεις ενισχύουν την άποψη ότι το κλίμα αλλάζει. Για παράδειγμα, υπάρχει ομοφωνία των επιστημόνων σχετικά με τη διαταραχή των παγκόσμιων κλιματικών μοτίβων λόγω της αυξημένης έκλυσης "θερμοκηπιακών" αερίων. Παρόμοιες διαπιστώσεις αφορούν την ανοδική τάση της μέσης στάθμης θάλασσας παγκοσμίως τις τελευταίες δεκαετίες, διεργασία που συνδέεται τόσο με τη θερμική διαστολή των ωκεάνιων υδάτινων μαζών, όσο και με τη δραματική υποχώρηση των παγετώνων (Chen et al., 2006; Stroeve et al. 2007; Rignot et al. 2008; Mungelet al., 2016).

Η κλιματική αλλαγή συνδέεται με διεργασίες και φαινόμενα που ενδέχεται να θέσουν σε κίνδυνο τις ανθρώπινες κοινωνίες και τον πολιτισμό τους (Lenton et al., 2008; Kontogianni et al., 2012). Σήμερα έχει αναγνωριστεί η σπουδαιότητα του προβλήματος και ο κίνδυνος που υφίσταται για τις μακροπρόθεσμες αρνητικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής τόσο στο περιβάλλον, όσο και στην κοινωνία και οικονομία των παράκτιων περιοχών (Pacheco et al., 2014). Με την αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας κατά 1,4°- 5,8° C έως το έτος 2100, αναμένεται η αύξηση της συχνότητας αλλά και της έντασης εκδήλωσης ακραίων καιρικών φαινομένων με ιδιαίτερα σοβαρό αντίκτυπο για το φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον (DeNicola and Subramaniam, 2014).

Η Ελλάδα με συνολικό μήκος ακτών 16.000km (με σχεδόν το μισό μήκος να αφορά την ηπειρωτική χώρα και το υπόλοιπο τα 3000 νησιά της) συγκαταλέγεται στις χώρες της Ευρώπης

με την πιο εκτεταμένη παράκτια ζώνη. Σύμφωνα με το ερευνητικό πρόγραμμα Eurosion (2004), που μελετά τη διάβρωση των ευρωπαϊκών ακτών, περίπου το 20% της ακτογραμμής της Ελλάδας υποχωρεί (διαβρώνεται) από τη δράση των θαλάσσιων διεργασιών, όπως είναι ο κυματισμός και τα παράκτια ρεύματα, κατατάσσοντάς την τέταρτη μεταξύ των είκοσι δύο παράκτιων κρατών-μελών.

Οι επιπτώσεις από την ενδεχόμενη άνοδο της στάθμης θάλασσας αναμένεται να είναι σημαντικές στα ευαίσθητα δελταϊκά περιβάλλοντα, τα οποία αποτελούν περιοχές ιδιαίτερα χαμηλής τοπογραφίας και πολύ μικρής μορφολογικής κλίσης. Επιπλέον, με την πάροδο του χρόνου οι περιοχές των δελταϊκών πεδιάδων υφίστανται καθίζηση λόγω της φυσιολογικής συμπίκνωσης των μεγάλου πάχους ιζημάτων, μετά την απόθεσή τους, που για τα ελληνικά δέλτα μπορεί να φθάσει έως και τα 0,7 mm/έτος (Parcharidis et al., 2013). Η καθίζηση αυτή των δελταϊκών πεδιάδων τις καθιστά ακόμη περισσότερο ευάλωτες στην ευστατική άνοδο της στάθμης θάλασσας.

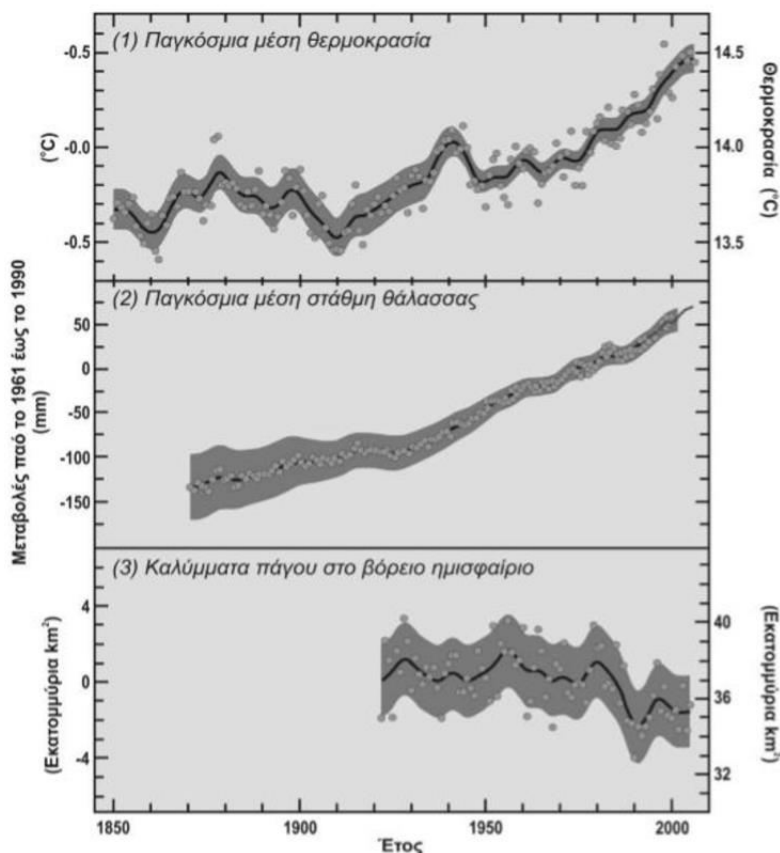


Διάγραμμα 2: Σενάρια ανόδου της μέσης στάθμης θάλασσας (IPCC 5th Assessment report, 2014)

4.1 Άνοδος της Μέσης Στάθμης της Θάλασσας

Η στάθμη της θάλασσας καθορίζεται από το μέσο επίπεδο του εύρους της παλίρροιας, χαμηλής και υψηλής στάθμης, η οποία είναι αποτέλεσμα της βαρυτικής αλληλεπίδρασης μεταξύ Γης, Ήλιου και Σελήνης. Η στάθμη της θάλασσας επηρεάζεται και μεταβάλλεται μέσα σε ένα χρονικό πλαίσιο ωρών, ημερών αλλά και ετών σε κάποιες περιπτώσεις, από μετεωρολογικά και υδρολογικά αίτια όπως καταιγίδες και εκφορτίσεις ποταμών. Το μέσο επίπεδο αναφοράς της στάθμης των ωκεανών καλείται *γεωειδές* το οποίο είναι η ισοδυναμική επιφάνεια του πεδίου βαρύτητας της Γης και το οποίο θεωρητικά συμπίπτει με το μέσο επίπεδο της στάθμης της θάλασσας. Η μέση στάθμη της θάλασσας όμως αποκλίνει από το γεωειδές δημιουργώντας την λεγόμενη τοπογραφία της επιφάνειας της θάλασσας (Παπανικολάου κ.α., 2011).

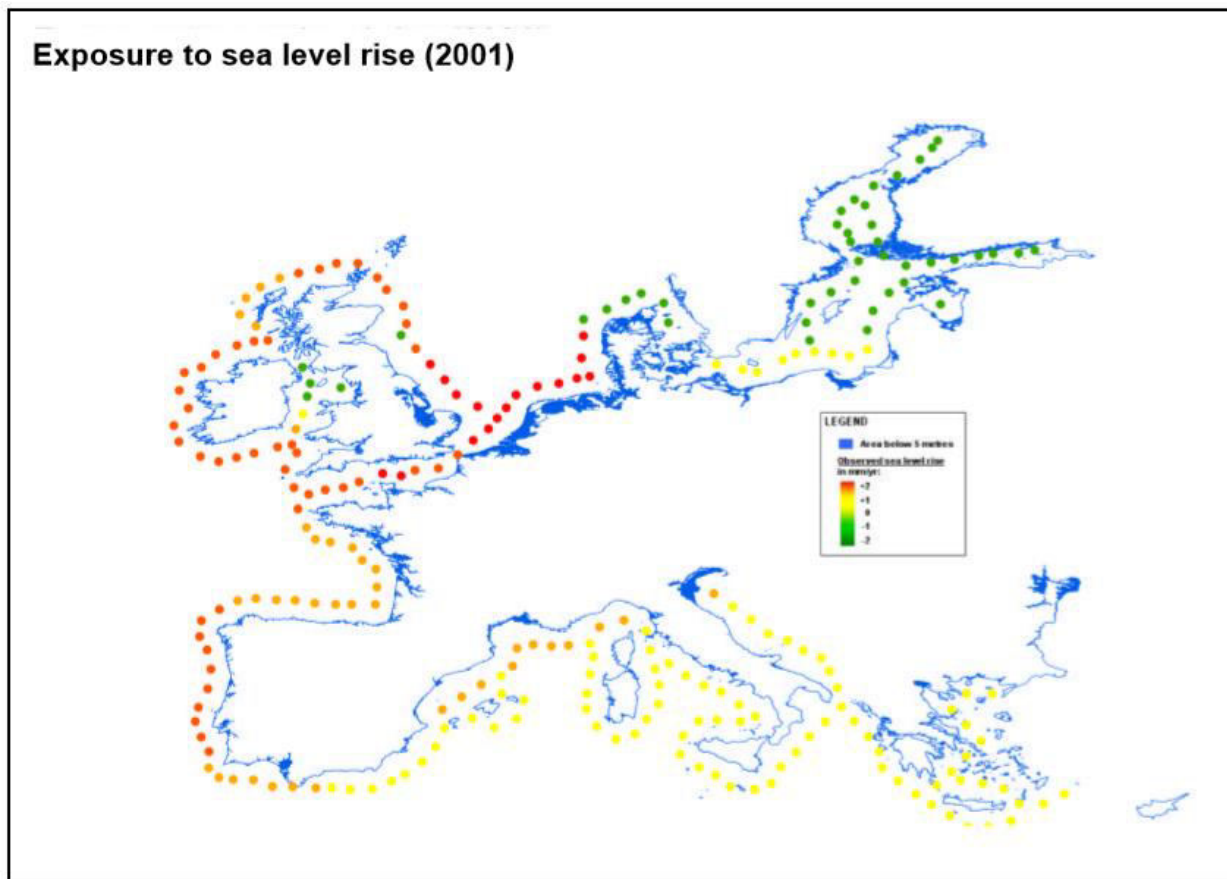
Ο όρος «ευστατισμός» αναφέρεται στις παγκόσμιες και μακροχρόνιες μεταβολές του επιπέδου της στάθμης λόγω μεταβολών στο κλίμα, με την άνοδο αυτού να καλείται «επίκληση» και την πτώση αυτού «απόσυρση». Οι βασικότερες αιτίες του ευστατισμού είναι η μεταβολή του όγκου των ωκεάνιων υδάτων, κυρίως λόγω της μεταβολής του όγκου των παγετώνων, και η μεταβολή του μεγέθους των ωκεάνιων λεκανών κυρίως μέσα από την ισοστατική τροποποίηση της λιθόσφαιρας ως αντίδραση στην μεταβολή του όγκου των παγετώνων και μέσα από βραδείς γεωδυναμικές διεργασίες, τη λεγόμενη «ορογένεση» ή και από την συσσώρευση ιζήματος. Θεωρητικά, η μεταβολή της στάθμης της θάλασσας θα αναμενόταν να είναι παγκόσμια και ταυτόχρονη δεδομένου ότι οι ωκεανοί συνδέονται μεταξύ τους. Η σύγκριση όμως καμπυλών μεταβολής της στάθμης της θάλασσας από διαφορετικές περιοχές δείχνει ότι αυτό δεν ισχύει, αποδεικνύοντας ότι οι ευστατικές μεταβολές δεν είναι ομοιόμορφες παγκόσμια. Αυτή η διαφορετική απόκριση της στάθμης ερμηνεύεται σε μεγάλο ποσοστό με την προσαρμοστική ικανότητα της Γης απέναντι στην μεταβολή επιφανειακών φορτίων πάγου και νερού τήξης (Παπανικολάου κ.α., 2011).



Εικόνα 4: Μεταβολές σε Παγκόσμια Θερμοκρασία, Παγκόσμια Μέση Στάθμη Θάλασσας (μετρήσεις με χρήση παλιρροιογράφων και δορυφορικών), Παγοκάλυψη βορείου ημισφαιρίου (Μάρτιος-Απρίλιος) (IPCC, 2007)

Μιλώντας για άνοδο της θαλάσσιας στάθμης αξίζει να αναφερθεί πως δεν πρόκειται για ένα νέο φαινόμενο αλλά για κάτι το οποίο παρουσιάζει μια επαναληψιμότητα και περιοδικότητα στα πλαίσια του γεωλογικού χρόνου. Καθ' όλη την διάρκεια της γεωλογικής ιστορίας της Γης, η στάθμη της θάλασσας έχει ανέβει και έχει πέσει πάνω από 300m. Ο κύριος παράγοντας διαμόρφωσης της θαλάσσιας στάθμης είναι η κλιματική αλλαγή. Η αναδιαμόρφωση του θαλάσσιου πυθμένα μέσα στη γεωλογική ιστορία έπαιξε σίγουρα ρόλο αλλά μπορεί να ειπωθεί ότι ήταν όχι τόσο σημαντικός όσο η κλιματική αλλαγή σε βάθος χρόνου. Κατά την διάρκεια της τελευταίας εποχής των παγετώνων (πριν από δεκαοχτώ χιλιάδες χρόνια), η Γη ήταν περίπου 5 °C ψυχρότερη από ότι είναι σήμερα. Παγετώνες κάλυπταν το μεγαλύτερο μέρος του βορείου ημισφαιρίου και η στάθμη της θάλασσας ήταν περίπου 120m χαμηλότερα από το σημερινό επίπεδο (Σκαρβέλης,2005). Αν και οι περισσότεροι παγετώνες έχουν λιώσει από τότε, οι πολικοί παγετώνες στην Γροιλανδία και την Ανταρκτική περιέχουν ακόμη αρκετές ποσότητες νερού ικανές να υψώσουν την στάθμη της θάλασσας περισσότερο από 70m. Μετρήσεις που έγιναν για το φαινόμενο της παλίρροιας ανά τον κόσμο, κατέστησαν δυνατή τη μέτρηση της σχετικής στάθμης της θάλασσας σε διάφορες περιοχές. Μελέτες που συνδυάζουν αυτές τις μετρήσεις

αναφέρουν ότι η μέση παγκόσμια στάθμη της θάλασσας έχει ανέβει κατά 10 με 15cm στη διάρκεια του 20ου αιώνα. Τα 5cm αυτής της ανόδου μπορούν να αποδοθούν στη θερμική άνοδο των ανωτέρω στρωμάτων των ωκεανών, η οποία προκλήθηκε από την παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας κατά 0.4 °C τον προηγούμενο αιώνα (Σκαρβέλης, 2005).



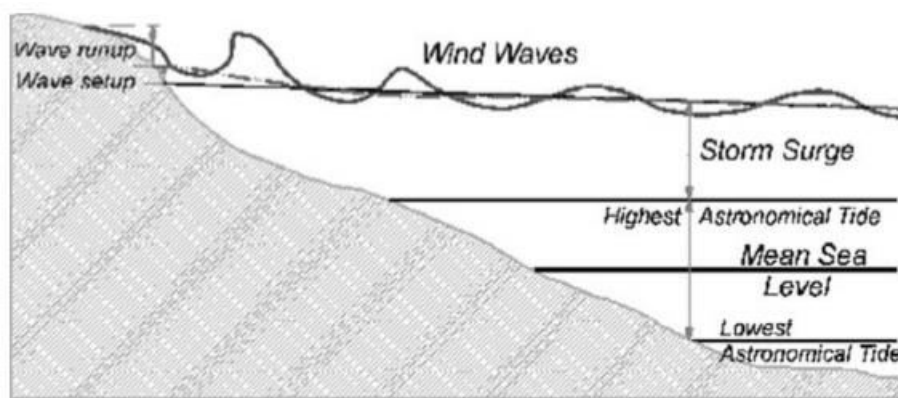
Χάρτης 2: Έκθεση ακτογραμμής στην άνοδο της μέσης στάθμης θάλασσας (EuroSION, 2004)

Η άνοδος της θαλάσσιας στάθμης πρόκειται να παίξει καταλυτικό ρόλο στη μελλοντική διαμόρφωση της παγκόσμιας γεωγραφίας των ακτών. Περιοχές χαμηλού αναγλύφου διατρέχουν σαφώς υψηλότερο κίνδυνο. Η Παγκόσμια Τράπεζα πραγματοποίησε μελέτη (Dasgupta, 2007), σύμφωνα με την οποία το 0,3 % της επικρατείας (194.000 χλμ²) των 84 αναπτυσσόμενων χωρών θα επηρεαστεί από την άνοδο της μέσης στάθμης της θάλασσας κατά 1 μέτρο, με 56 εκ. ανθρώπους να υφίστανται τις συνέπειες του συμβάντος αυτού (1,28% του πληθυσμού των εν λόγω χωρών).

Η ελληνική ακτογραμμή των 16.000 χλμ αντιστοιχεί στο 25% της ακτογραμμής της Ε.Ε. (Δουκάκης, 2011), με το 27% αυτής να αποτελεί το ηπειρωτικό τμήμα της χώρας. Όσον αφορά τον κίνδυνο που διατρέχει ο ελληνικός παράκτιος χώρος σε σχέση με τις υπόλοιπες ευρωπαϊκές χώρες, είναι σχετικά χαμηλός. Αυτό οφείλεται στο έντονο γεωμορφολογικό ανάγλυφο που χαρακτηρίζει τα ελληνικά εδάφη (Τρουπιτσίδης, 2010).

4.2 Κύματα Καταιγίδας (Storm Surges)

Όπως προαναφέρθηκε, η συνδυασμένη δράση του επιφανειακού ανέμου και της πίεσης που ασκείται στον ωκεάνιο πυθμένα αποτελούν τη γενεσιουργό αιτία των κυμάτων καταιγίδας. Ένα κυκλωνικό σύστημα ή αλλιώς «βαρομετρικό χαμηλό» δύναται να προκαλέσει άνοδο της θαλάσσιας στάθμης όταν κινείται παράλληλα στην ακτή και σε απόσταση ικανή να αλληλεπιδράσει με αυτή. Τα μέγιστα επίπεδα θαλάσσιας στάθμης παρατηρούνται στα σημεία όπου έχουν αναπτυχθεί οι ισχυρότεροι παράκτιοι άνεμοι. Το μέγεθος ενός κύματος καταιγίδας καθορίζεται από διάφορα χαρακτηριστικά που φέρει το χαμηλό βαρομετρικό το οποίο αλληλεπιδρά με την ακτή. Το σημαντικότερο εξ' αυτών είναι η ταχύτητα του ανέμου η οποία επηρεάζεται άμεσα από την ένταση, τη ταχύτητα και την εσωτερική δομή του κυκλώνα. Το μοντέλο του Holland (1980) αποτελεί μια απλουστευμένη αναπαράσταση του αιολικού πεδίου όπου η ισχύς του κυκλώνα αποτυπώνεται μέσω της σχέσης της πίεσης στο κέντρο αυτού και των ατμοσφαιρικών πιέσεων των γύρω περιοχών. Η απόσταση από το κέντρο του κυκλώνα έως την περιοχή με τη μεγαλύτερη ταχύτητα ανέμου, δηλώνει το μέγεθός του. Το βάθος και η μορφολογία του ωκεάνιου πυθμένα σε συνδυασμό με τα κυκλωνικά χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν παραπάνω επηρεάζουν το ύψος των κυμάτων καταιγίδας (McInnes et al., 2001).



Εικόνα 5: Απεικόνιση δομής κύματος καταιγίδας (Dolan and Davis, 1994)

Τα κύματα καταιγίδας αποτελούν τη διαφορά που παρατηρείται στη θαλάσσια στάθμη σε σχέση με το ύψος που αναμένεται για τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο κατά τη διάρκεια έντονων ατμοσφαιρικών φαινομένων. Ο άνεμος και οι εναλλαγές της ατμοσφαιρικής πίεσης προκαλούν μετατόπιση και ανύψωση των θαλάσσιων υδάτων. Χαρακτηριστικά στη περιοχή της North Carolina κατά τη διάρκεια κυκλώνων έχει παρατηρηθεί πως η ανύψωση της θαλάσσιας στάθμης μπορεί να φτάσει τα 4-5 μέτρα. Γενικότερα κάθε αύξηση του επιπέδου της στάθμης της θάλασσας συνδέεται με την επίδραση της κυματικής δραστηριότητας σε μεγαλύτερο εύρος της παράκτιας ζώνης με επακόλουθο τη πιθανότητα να αυξηθούν οι ζημιές σε αυτή (Dolan and Davis, 1994).

5. Διαχείριση Παράκτιας ζώνης

Η εκτίμηση της επικινδυνότητας και τρωτότητας μιας παράκτιας περιοχής έναντι της ανόδου της ΜΣΘ έχει σκοπό την εκτίμηση των κινδύνων σε οικολογικό, φυσικο-γεωγραφικό και κοινωνικο-οικονομικό επίπεδο. Η λήψη μέτρων προστασίας προϋποθέτει την αναγνώριση του κινδύνου και την εκτίμηση των αρνητικών αποτελεσμάτων.

Η Συνήθης Μεθοδολογία (Common Methodology), η οποία προτάθηκε το 1991 από το *Coastal Zone Management Subgroup (CZMS)* της (IPCC), είναι η συχνότερα εφαρμοζόμενη. Πρόκειται για μια ημι-ποσοτική μέθοδο αξιολόγησης των ακτών σε εθνική και παγκόσμια κλίμακα. Η εκτίμηση της παράκτιας τρωτότητας ενός έθνους γίνεται μέσω νομισματικών αξιολογήσεων εξετάζοντας διαφορετικά σενάρια κόστους-οφέλους με σκοπό τη διατύπωση της βέλτιστης πρότασης λήψης μέτρων για το μετριασμό των μελλοντικών αρνητικών επιπτώσεων. (Mimura,1999)

Τα τελευταία χρόνια γίνεται όλο και πιο σύνηθες να εκδηλώνεται το ενδιαφέρον των γεωεπιστημόνων ως προς την απόκριση διάφορων ακτών σε κάποια πιθανά σενάρια ανόδου της θαλάσσιας στάθμης. Η άνοδος αυτή δείχνει να εξελίσσεται σε παγκόσμιο επίπεδο ως αποτέλεσμα της κλιματικής αλλαγής. Σε τοπικό επίπεδο μπορούν να συμβάλλουν παράγοντες όπως ο τεκτονισμός και η ισοστασία.

Σύμφωνα με τους Thieler&Hammar-Klose (1999), οι δημοφιλέστερες μεθοδολογίες που εφαρμόζονται για την πρόβλεψη της εξέλιξης της μορφολογίας των παράκτιων περιοχών, βασίζονται κυρίως:

1. Στη συλλογή και αξιολόγηση ιστορικών δεδομένων (διαχρονική μετατόπιση της ακτογραμμής)
2. Στην εφαρμογή στατικών μοντέλων κατάκλισης ή άλλων μοντέλων όπως ο κανόνας του Bruun (1962), ο οποίος εφαρμόζεται αποκλειστικά σε αμμώδεις αιγιαλούς.
3. Στην εφαρμογή μοντέλων προσομοίωσης των υδροδυναμικών συνθηκών και της δυναμικής των παράκτιων ιζημάτων με τη παραμετροποίηση των φυσικών διεργασιών που δρουν στο παράκτιο χώρο.

Η αδυναμία εξαγωγής απευθείας μετρήσιμων αποτελεσμάτων, ως προς την αξιολόγηση της απόκρισης των ακτών απέναντι στην άνοδο της θαλάσσιας στάθμης, οδήγησε στη μελέτη και ποσοτικοποίηση σημαντικών παραμέτρων που συμμετέχουν στη διαμόρφωση και εξέλιξη των ακτών σε μια συγκεκριμένη περιοχή.

6. Προσαρμοστικότητα – Κόστη

Ένα από τα βασικότερα ζητήματα που καθιστούν μια μελέτη σχετική με τους παράκτιους κινδύνους, είναι οι επιπτώσεις που ενδέχεται να φέρουν στον πληθυσμό που κατοικεί στις περιοχές που πρόκειται να επηρεαστούν. Η ποσοτικοποίηση των ζημιών είναι ένας βασικός παράγοντας που παίζει σημαντικό ρόλο τόσο στην αποκατάσταση όσο και στην πρόληψη. Συνεπώς, έχουν αναπτυχθεί κάποιες μεθοδολογίες για την απόδοση των απωλειών αυτών σε οικονομικούς όρους.

Μια πρώτη εκτίμηση για τους δυνητικά πληττόμενους πληθυσμούς σε σχέση με παράκτιους κινδύνους και, ειδικότερα, σε σχέση με την άνοδο της ΜΣΘ μπορεί να γίνει στη βάση κάποιου κριτηρίου απόστασης από την ακτογραμμή. Αν θεωρηθεί ότι ο παράκτιος πληθυσμός οριοθετείται εντός μιας ζώνης 1-2 χλμ. από την ακτογραμμή και προς την ενδοχώρα της Ελλάδας, τότε προκύπτει ότι ο ενδεχομένως πληττόμενος πληθυσμός αντιστοιχεί περίπου στο 33%, ενώ για μια ζώνη 50 χλμ. αντίστοιχος πληθυσμός ανέρχεται περίπου στο 85% του συνολικού ελληνικού πληθυσμού (Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., 2006).

Πέρα από τους ανθρώπινους πληθυσμούς, στην ελληνική παράκτια ζώνη εντοπίζεται μεγάλο πλήθος και αυξημένες συγκεντρώσεις οικοσυστημικών αγαθών και υπηρεσιών. Έτσι, ενδεικτικά, η ελληνική παράκτια ζώνη έχει να επιδείξει έναν «ισχυρό» στόλο αλιευτικών σκαφών και μια υψηλή παραγωγή υδατοκαλλιεργειών (περίπου 20% και 10% των αντίστοιχων μεγεθών των χωρών-μελών της Ε.Ε.) (Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., 2006). Επιπροσθέτως, πάνω από 6000 είδη χλωρίδας και πάνω από 670 είδη σπονδυλωτών και 436 είδη ορνιθοπανίδας απαντώνται στις παράκτιες περιοχές της Ελλάδας (Papakonstantinou, 1996). Εν γένει, οι ελληνικές ακτές συνιστούν ένα φυσικό πόρο και μια κληρονομιά ευρωπαϊκής αλλά και παγκόσμιας σημασίας χαρακτηριζόμενες από υψηλή βιολογική, γεωφυσική, αισθητική, πολιτισμική και οικονομική αξία (ΥΠ.Ε.ΧΩ.Δ.Ε., 2003· 2006). Τέλος, αρκεί να αναφερθεί πως το 80% των βιομηχανικών δραστηριοτήτων, το 90% του τουρισμού και των δραστηριοτήτων αναψυχής, η συντριπτική πλειοψηφία της αλιείας και των υδατοκαλλιεργειών, το 35% της αγροτικής γης, καθώς κι ένα σημαντικό ποσοστό των υποδομών (λιμάνια, αεροδρόμια, δρόμοι, ηλεκτρικό/ τηλεπικοινωνιακό δίκτυο κ.ά.), εντοπίζονται/ ασκούνται στην παράκτια ζώνη (Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., 2006).

Σύμφωνα με μελέτη των Κοντογιάννη κ.α. (2011) και Kontogianni et al. (2012b· 2014), εκτιμήθηκαν οι οικονομικές απώλειες που θα προκύψουν από την κατάκλυση των παράκτιων εκτάσεων στο σύνολο της ελληνικής επικρατείας μετά από άνοδο της ΜΣΘ κατά 0,5 και 1 μέτρα. Πρόκειται για 2 διαφορετικά σενάρια τα οποία αποτελούν την αισιόδοξη και απαισιόδοξη πρόβλεψη των επιστημόνων που μελετούν την κλιματική αλλαγή. Η μελέτη των επιπτώσεων εκφράζεται σε οικονομικούς όρους με σκοπό τη διερεύνηση των οικοσυστημικών απωλειών αλλά παίζει εξίσου σημαντικό ρόλο στον προγραμματισμό σχετικά με τη λήψη των αποφάσεων για το μετριασμό του κινδύνου. Έχουμε λοιπόν ένα σύστημα εκτίμησης και αξιολόγησης των απωλειών που συνδέονται με την άνοδο της στάθμης θάλασσας για την ελληνική παράκτια

ζώνη. Τα συμπεριλαμβανόμενα φυσικά μεγέθη που πρόκειται να μελετηθούν είναι μη εμπορεύσιμα περιβαλλοντικά αγαθά (λ.χ. ποιότητα ανθρώπινης ζωής, επίπεδο βιοποικιλότητας κ.α.), των οποίων η αποτίμηση κρίνεται δύσκολη. Σε αυτή τη μεθοδολογία, από το σύνολο των οικοσυστημικών υπηρεσιών, ποσοτικοποιήθηκαν και συνεκτιμήθηκαν μόνο οι ακόλουθες 5:

1. Οικιστική
2. Τουριστική
3. Γεωργική
4. Υγροτοπική
5. Δασική

Η μεθοδολογία που προτείνει η παραπάνω μελέτη για τον υπολογισμό των ζημιών είναι (με μια γενικευμένη περιγραφή) ο υπολογισμός του γινομένου της έκτασης που αναμένεται να κατακλυσθεί επί την αντίστοιχη αξία κάθε χρήσης γης. Ειδικότερα, για τις χρήσεις «οικιστική», «τουριστική» και «γεωργική», εφαρμόστηκε η μέθοδος της αγοραίας τιμολόγησης, κατά την οποία εκτιμήθηκαν μοναδιαίες τιμές και υπολογίστηκε η συνολική ζημία, ενώ για τις χρήσεις «υγροτοπική» και «δασική» εφαρμόστηκε η μεθοδολογία της μεταφοράς αξιών (Κοντογιάννη κ.α., 2011). Τα αποτελέσματα της μελέτης παρατίθενται συνοπτικά στους παρακάτω πίνακες:

Πίνακας 3: Παρούσα αξία συνολικού κόστους επιπτώσεων της ανόδου στάθμης θάλασσας έως το 2100, ανά κατηγορία χρήσης γης σε χιλιάδες €.(Κοντογιάννη κ.α., 2011)

Χρήση Γης	Επιτόκιο Προεξόφλησης 1%		Επιτόκιο Προεξόφλησης 3%	
	Άνοδος στάθμης 0,5μ.	Άνοδος στάθμης 1μ.	Άνοδος στάθμης 0,5μ.	Άνοδος στάθμης 1μ.
Οικιστική και τουριστική	142.013.297	257.630.475.	24.316.576	44.113.412
Υγροτοπική	5.358	100.873	9.650	17.272
Δασική	65	212	11	36
Γεωργική	3.219.574	7.454.328	551.279	1.276.386
Σύνολο	145.289.294	265.185.888	24.877.517	45.407.106

Πίνακας 4:Συνολικό κόστος απωλειών λόγω της ανόδου της στάθμης θάλασσας για το έτος 2100 ανά κατηγορία χρήσης γης.(Κοντογιάννη κ.α., 2011)

Χρήση Γης	Συνολικό κόστος 2100 (χιλιάδες €)	
	Άνοδος στάθμης 0,5μ.	Άνοδος στάθμης 1μ.
Οικιστική και τουριστική	347.738.400	630.842.400
Υγροτοπική	138.000	247.000
Δασική	160	520
Γεωργική	7.883.553	18.252.911
Σύνολο	355.760.113	649.342.831

Πίνακας 5: Μέσες τιμές κόστους και σύνολο ακτογραμμής ανά κατηγορία χρήσης γης. (Κοντογιάννη κ.α., 2011)

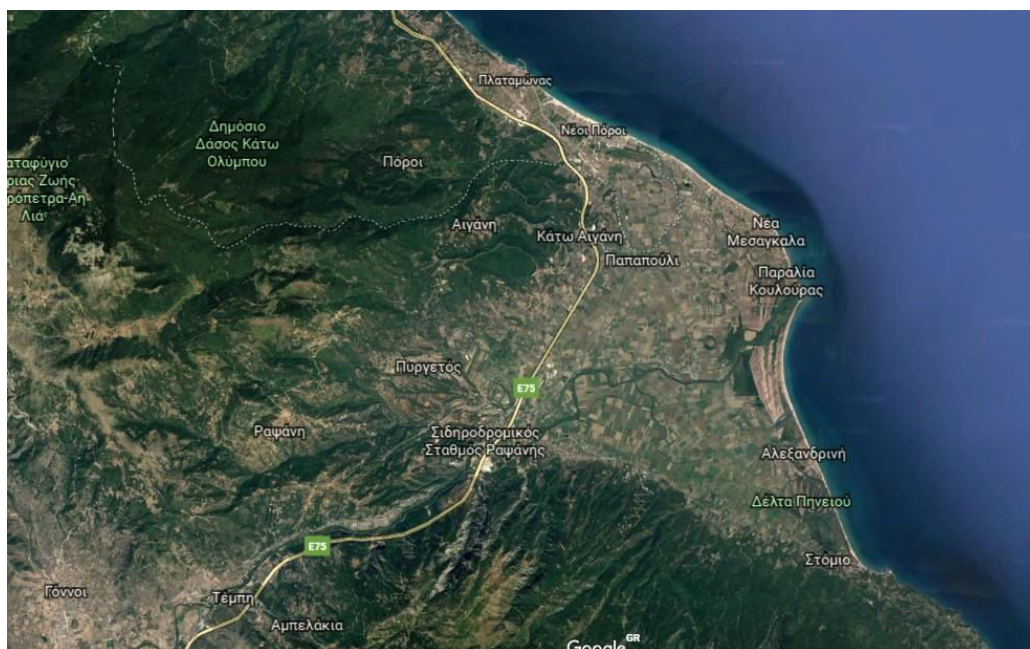
Χρήση Γης	Μέση τιμή συντελεστή κόστους		Σύνολο ακτογραμμής
	Άνοδος στάθμης 0.5μ.	Άνοδος στάθμης 1μ.	
Οικιστική και τουριστική	€144.891 χιλ./χλμ	€262.851 χιλ./χλμ	2.400χλμ.
Υγροτοπική	€138 χιλ./χλμ ²	€247 χιλ./χλμ ²	1.000 χλμ ²
Δασική	€0,04 χιλ./χλμ ²	€0,13 χιλ./χλμ ²	4.000 χλμ ²
Γεωργική	€222 χιλ./χλμ ²	€514 χιλ./χλμ ²	35.511,5 χλμ. ²

Β' Μέρος

7. Μελέτη Περίπτωσης : Εκτίμηση της τρωτότητας της ακτογραμμής στο δέλτα του Πηνειού.

Ο Πηνειός ποταμός πηγάζει από τις νότιες περιοχές της οροσειράς της Πίνδου και διασχίζει ένα μεγάλο κομμάτι της κεντρικής Ελλάδας, περνώντας τη θεσσαλική πεδιάδα καταλήγοντας στο Αιγαίο πέλαγος στη πόλη της Λάρισας. Η πεδινή περιοχή του Δέλτα του Πηνειού ποταμού δημιουργήθηκε από την προσχωματική δράση του Πηνειού μεταξύ της Οροσειράς του Ολύμπου και του Κισσάβου με αποτέλεσμα τα νερά της θεσσαλικής λίμνης να διαφύγουν προς τη θάλασσα, και το σχηματισμό θεσσαλικής πεδιάδας (Οικονόμου,2005).

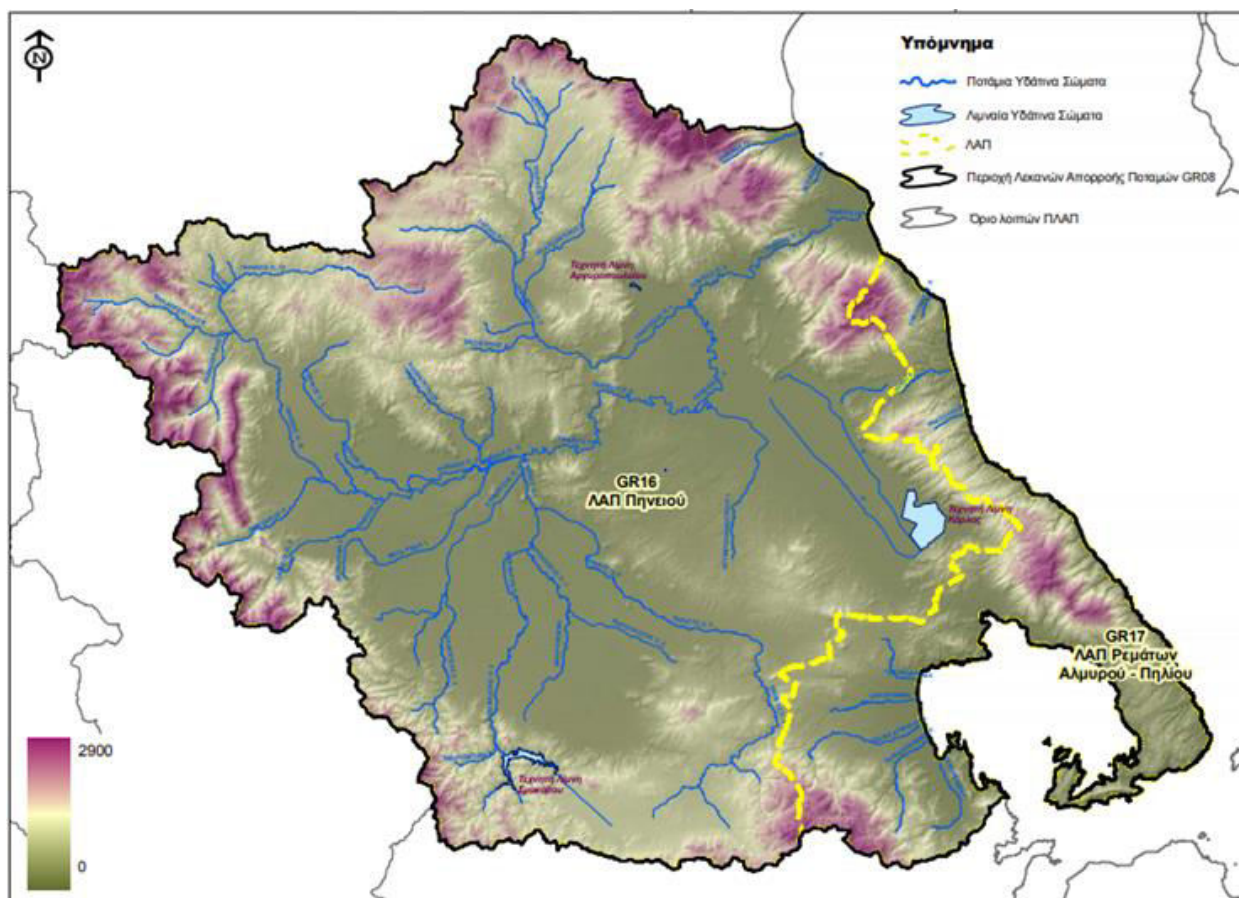
Το γεωγραφικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας βρίσκεται στη κεντρική Ελλάδα και αποτελεί μια πεδινή κατά βάση έκταση, περιβαλλόμενη από ορεινούς όγκους. Το υψομετρικό εύρος της περιοχής κυμαίνεται από 0-2800μ. ενώ το μέσο υψόμετρο ανέρχεται στα 500μ.



Εικόνα 6:Περιοχή μελέτης, δέλτα Πηνειού ποταμού (Google Earth)

7.1 Γεωγραφικά χαρακτηριστικά της Λεκάνης Απορροής του Πηνειού ποταμού

Η λεκάνη απορροής του Πηνειού ποταμού φιλοξενεί μέγεθος πληθυσμού της τάξεως των 500.000 ατόμων περίπου (Fytianos, 2001). Οι δραστηριότητες που συναντώνται εντός αυτής είναι κυρίως αγροτικές και βιομηχανικές σε αρκετά μικρότερη έκταση. Οι ανάγκες της περιοχής σε νερό καλύπτονται από τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα με παρουσία αρκετών γεωτρήσεων καθώς και από την παροχή του ποταμού και των παραποτάμων του σε επιφανειακής απορροής ύδατα. Σύμφωνα με τον Fytianos (2001), η υποβάθμιση και καταστροφή του φυσικού περιβάλλοντος έχει αρχίσει να γίνεται εμφανής από το 2000, κυρίως λόγω της κακής διαχείρισης περιβαλλοντικών ζητημάτων. Ο ποταμός δέχεται σε κάποια τμήματά του μεγάλο όγκο οικιστικών αποβλήτων.



Χάρτης 3: Μορφολογικός χάρτης ενιαίας λεκάνης απορροής Πηνειού ποταμού (Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων)

Γεωλογία – Υδρολογία

Η ευρύτερη περιοχή της δελταϊκής πεδιάδας του Πηνειού δομείται lithολογικά από αλπικούς και μεταλπικούς σχηματισμούς (Κατσικάτσος και Μιγκίρος, 1982). Στους αλπικούς σχηματισμούς περιλαμβάνονται τα αλπικά πετρώματα της ενότητας Όσσας, τα οποία αποτελούνται από κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους και δολομίτες στα ανώτερα τμήματα των οποίων απαντά μεταμορφωμένος φλύσχης Η ενότητα Αμπελακίων υπόκειται εκείνης της Όσσας και συνίσταται από μεταμορφωμένους μπλε σχιστόλιθους, γνευσιοσχιστόλιθους και πρασινίτες με ενδιαστρώσεις κρυσταλλικών μάρμαρων. Η ενότητα της Πελαγονικής, η οποία επίσης υπόκειται εκείνης της Όσσας χαρακτηρίζεται από ένα σύμπλεγμα οφιολίθων, αμφιβολιτών, σχιστολίθων και πρασινιτών το οποίο υπόκειται των μαρμάρων του Άνω Κρητιδικού. Στους μεταλπικούς σχηματισμούς ανήκουν οι νεογενείς αποθέσεις το πάχος των οποίων ξεπερνά τα 300 m. Στη βάση τους αποτελούνται από μάργες οι οποίες στα ανώτερα τμήματα μεταβαίνουν σε ψαμμίτες και κροκαλοπαγή με προοδευτική αύξηση του μεγέθους των κροκαλών και τελικά σε κοκκινοχώματα. Οι πλειστοκαινικές αποθέσεις οι οποίες υπέρκεινται εκείνες των νεογενών συνίστανται από παλαιούς κώνους κορημάτων, πλευρικά κορήματα και υλικά αναβαθμίδων χειμάρρων, το σύνολο των οποίων καταλαμβάνει κυρίως τα δυτικά και βόρεια κράσπεδα της δελταϊκής πεδιάδας. Το μεγαλύτερο τμήμα του δέλτα καλύπτεται από αλλουβιακές αποθέσεις του Τεταρτογενούς, οι οποίες συνίστανται κυρίως από εναλλαγές άμμων και αργίλων ενώ στην παράκτια ζώνη απαντούν κυρίως αμμώδεις θίνες και παράκτιοι αμμώδεις και αργιλώδεις σχηματισμοί. Τέλος, στην περιοχή μελέτης απαντούν ασύνδετα σύγχρονα ιζήματα του Τεταρτογενούς στα οποία συμπεριλαμβάνονται πρόσφατες αποθέσεις της κοίτης του ποταμού και των αναβαθμίδων των χειμάρρων, κώνοι κορημάτων και πλευρικά κορήματα (Αλεξόπουλος κ.α., 2014).

Το φρεάτιο υδροφόρο σύστημα είναι μικρής δυναμικότητας, ρηχό (έως 10 m περίπου) και με μεγάλη lithολογική ετερογένεια στην οριζόντια και κατακόρυφη διεύθυνση (Matiatos et al. 2014). Συγκεκριμένα, οι αλλουβιακές αποθέσεις εκατέρωθεν του ποταμού είναι αδρομερείς και γίνονται περισσότερο λεπτομερείς στις εκβολές του δέλτα, όπου οι ταχύτητες ροής και στερεομεταφοράς είναι μικρότερες. Στην κατακόρυφη διεύθυνση, η παρουσία των αδρομερών υλικών ευνοεί την ανάπτυξη ενεργού πορώδους με αποτέλεσμα να διευκολύνεται η κυκλοφορία του υπόγειου νερού, ενώ οι αργιλώδεις και ιλυώδεις ενστρώσεις, όπου αυτές εντοπίζονται, μειώνουν την υδραυλική αγωγιμότητα των αποθέσεων (Παναγόπουλος κ.α. 2011). Μέσα στις αλλουβιακές αποθέσεις αναμένεται να απαντούν αλληπάλλληλα φρεάτια ή/και μερικώς υπό πίεση ή/και υπό πίεση υδροφόρα συστήματα.

Σύμφωνα με προηγούμενους ερευνητές εκτιμάται ότι υπάρχει υδραυλική επικοινωνία ανάμεσα στον ποταμό Πηνειό και το φρεάτιο υδροφόρο σύστημα (Παναγόπουλος, κ.α. 2011). Συγκεκριμένα, οι εν λόγω συγγραφείς θεωρούν ότι στο ανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης όπου ο ποταμός Πηνειός εισέρχεται στη δελταϊκή πεδιάδα, ο ποταμός τροφοδοτεί το υδροφόρο σύστημα, ενώ στο κεντρικό και ανατολικό τμήμα θεωρούν ότι επικρατεί άλλοτε τροφοδοσία του υδροφόρου συστήματος από τον ποταμό και άλλοτε το αντίστροφο, ανάλογα με τη θέση, την

εποχή και τη σχέση ανάμεσα στη στάθμη του ποταμού και τη στάθμη του υπόγειου νερού. Σύμφωνα με τους Matiatos et al. (2014), το υδραυλικό φορτίο, έτσι όπως αυτό καταγράφηκε για την περίοδο Οκτώβριος 2012 και Σεπτέμβριος 2013, μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια ενός υδρολογικού έτους με τις μικρότερες τιμές να παρατηρούνται στο τέλος της ξηρής περιόδου και τις υψηλότερες στο τέλος της υγρής. Η γενική διεύθυνση ροής στο υδροφόρο σύστημα είναι από τις παρυφές της λεκάνης προς το Θερμαϊκό κόλπο. Παράλληλα, η ποιότητα του υπόγειου νερού στο μεγαλύτερο τμήμα του υδροφόρου διαπιστώθηκε ότι είναι καλή ως προς τα βασικά ιόντα.

Κλιματικά Χαρακτηριστικά

Το κλίμα της περιοχής περιγράφεται ως ηπειρωτικό στο δυτικό και κεντρικό τμήμα της. Αυτό σημαίνει τη παρουσία αρκετά χαμηλών θερμοκρασιών το χειμώνα και ιδιαίτερα υψηλών το καλοκαίρι. Η ανατολική πλευρά της Θεσσαλίας, όπου και βρίσκονται οι εκβολές του ποταμού (δέλτα), χαρακτηρίζεται από τυπικό μεσογειακό κλίμα με πολύ θερμά και ξηρά καλοκαίρια. Το μέσο ετήσιο ύψος κατακρημνισμάτων για τη Θεσσαλία είναι 700 χιλ. με ιδιαίτερα άνιση κατανομή χρονικά και χωρικά. Στο κεντρικό τμήμα της το ετήσιο ύψος ανέρχεται στα 400 χιλ. σε αντίθεση με το δυτικό όπου φτάνει τα 1850 χιλ. Επίσης, οι καλοκαιρινοί μήνες και κυρίως ο Ιούλιος με τον Αύγουστο αποτελούν περίοδο ξηρασίας για το ανατολικό μέρος της περιοχής.

7.2 Περιβαλλοντική Σημασία του Δέλτα του Πηνειού ποταμού

Μελετώντας την αξία και σημασία του Δέλτα αλλά και του ίδιου του ποταμού σε επίπεδο φυσικής και βιολογικής συμβολής στο περιβάλλον, αξίζει να παρατεθούν τα ακόλουθα δεδομένα:

- Διαθέτει όλα τα φυσικό – βιολογικά χαρακτηριστικά, ώστε να περιλαμβάνεται στις περιοχές που ισχύει το καθεστώς προστασίας των διεθνών συμβάσεων της Βόννης, της Βέρνης, της Βαρκελώνης, της Ουάσιγκτον (CITES).
- Έχει χαρακτηριστεί ως Τοπίο Ιδιαίτερου Φυσικού Κάλλους (ΤΙΦΚ). Ανήκει στη λίστα των βιοτόπων CORINE (1988) και αποτελεί περιοχή "ειδικής προστασίας" σύμφωνα με την Οδηγία 79/409/ΕΟΚ, και στις περιοχές Natura 2000 (GR1420002). Περιλαμβάνει υγροτοπικούς οικοτόπους, δασάκια από άγριες ελιές, καλλιεργούμενους ελαιώνες, βοσκότοπους, παράκτια και παραποτάμια δάση, θίνες και αμμώδεις χερσότοπους.
- Σε διεθνές επίπεδο ανήκει στις Σημαντικές Περιοχές για τα Πουλιά (ΣΣΠ), (ICBP-IWRB) εφόσον πολλά αρπακτικά πουλιά φωλιάζουν εκεί και πολλά παρυδάτια είδη πτηνών χρησιμοποιούν τα έλη του. Στην περιοχή παρατηρήθηκαν 226 είδη πουλιών που ανήκουν σε περισσότερα από 50 γένη.
- Έχει χαρακτηριστεί ως καταφύγιο ή εκτροφείο θηραμάτων, και απαγορεύεται η αλιεία κατά την περίοδο της αναπαραγωγής.
Από ιχθυολογική άποψη, η ιχθυοπανίδα των γλυκών νερών του ποταμού και της θαλάσσιας περιοχής είναι πλούσια σε πληθυσμούς και σε είδη. Η ιχθυοπανίδα των γλυκών νερών περιλαμβάνει 37 είδη ψαριών και άλλα 11 με πιθανή παρουσία, ενώ η ιχθυοπανίδα της θαλάσσιας περιοχής, περιλαμβάνει 123 είδη ψαριών από τα οποία μόνο τα 10 από αυτά έχουν πιθανή παρουσία σήμερα.
- Από γεωλογική άποψη, ανήκει στην πελαγονική ζώνη και αποτελείται κυρίως από αποθέσεις άμμου, αργίλου, και κροκαλοπαγή πετρώματα.

Εκτός από την οικολογική αξία της περιοχής, το Δέλτα έχει μεγάλη σημασία για την άρδευση, την κτηνοτροφία, την υλοτομία, την αμμοληψία, την ύδρευση, την αναψυχή, τον τουρισμό, την εκπαίδευση και την επιστήμη.

Επίσης, το Δέλτα του Πηνειού ποταμού παρουσιάζει και πολιτιστική αξία διότι οριοθετείται μεταξύ των τριών σημαντικών μυθικών και ιστορικών τόπων της Ελλάδας: του Ολύμπου, της Όσσας και των Τεμπών. Στην περιοχή υπάρχει ο αρχαιολογικός χώρος του Ομολίου, και στο Στόμιο η μεγάλης αρχιτεκτονικής σημασίας Ιερά Μονή Αγ. Δημητρίου (Οικονόμου, 2005).

7.3 Οικιστική Δραστηριότητα

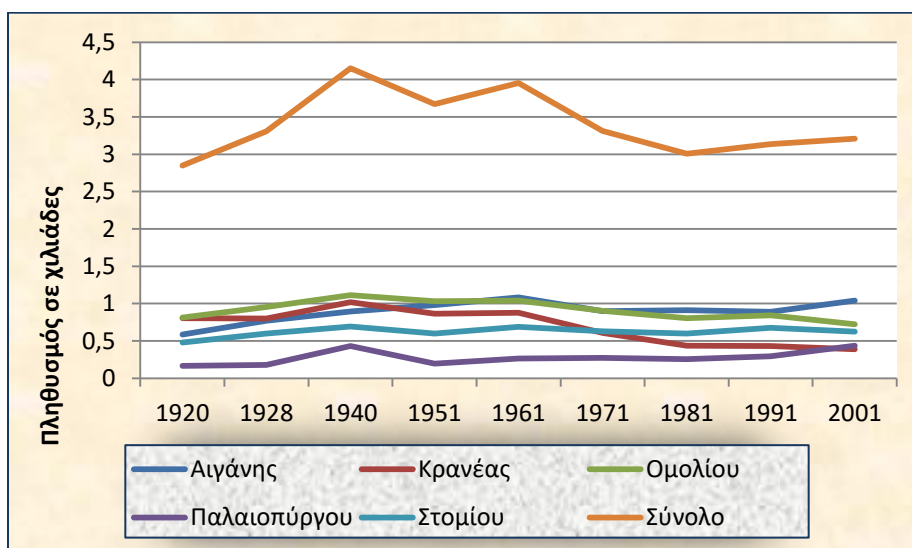
Σύμφωνα με τον Ιστορικό Ηρόδοτο, ο οικισμός του Ομολίου ήταν παραθαλάσσιος και οι εκβολές του Πηνειού ποταμού ήταν στο ύψος του υπόψη οικισμού, ενώ κατά τη διάρκεια της μυθικής Αργοναυτικής εκστρατείας (8ο περίπου αιώνα π.Χ.) οι εκβολές του Πηνειού ποταμού είχαν φθάσει στο ύψος του οικισμού της Αιγάνης. Σήμερα, από τα φερτά υλικά της Θεσσαλικής πεδιάδας που μεταφέρει ο Πηνειός ποταμός και από τις αποπλύσεις των γειτονικών οροσειρών, οι εκβολές του Πηνειού έχουν φτάσει μέχρι το ύψος του οικισμού του Στομίου. Σύμφωνα επίσης με πρόσφατα στοιχεία των νεότερων αρχαιολογικών ερευνών στη Θεσσαλία (1957 -1959 μ.Χ.) από τον αρχαιολόγο Μιλίοιτις και άλλους, η περιοχή κατοικούνταν από την παλαιολιθική εποχή.

Η ύπαρξη αρχέγονου παλαιολιθικού πολιτισμού πριν 30.000 – 100.000 ή και 250.000 χρόνων, αποδεικνύεται με βάση τα λίθινα εργαλεία που βρέθηκαν εκεί. Στο τμήμα των εκβολών του Πηνειού (ανατολική και βόρεια Θεσσαλία) κατοικούσαν οι Πελασγοί (Αιολείς) και στη συνέχεια, στις πλαγιές του Ολύμπου και της Όσσας, εκατέρωθεν των εκβολών του Πηνειού ποταμού, εγκαταστάθηκαν οι Δωριείς. Η περιοχή των εκβολών του Πηνειού Ποταμού κατοικήθηκε και από Ρωμαίους, Γότθους (395 μ.Χ.), Νορμανδούς (1083 μ.Χ.), και Τούρκους (από τους πρώτους χρόνους κατάκτησης της Θεσσαλίας μέχρι το 1923 με την εφαρμογή της συμφωνίας ανταλλαγής των πληθυσμών). Η φυσική ενότητα του Δέλτα Πηνειού διατηρήθηκε μέχρι το 1930.

Στη συνέχεια, η αγροτική πολιτική που εφαρμόστηκε από το Υπουργείο Γεωργίας, που είχε ως στόχο την αύξηση της αγροτικής γης, είχε ως αποτέλεσμα την καταστροφή ενός μεγάλου μέρους της δασικής έκτασης και τη μετατροπή της σε γεωργική γη, η οποία διανεμήθηκε στους αγρότες της περιοχής το 1932. Μέχρι το 1940, η χωροταξική δομή σε τοπικό επίπεδο διακρινόταν από την κοινωνική και οικονομική συσπείρωση στην περιμετρική και επιτόπια ημιορεινή ζώνη με δευτερεύοντα οικονομικό ρόλο την πεδινή περιοχή του Δέλτα Πηνειού. Μεταπολεμικά, με την εγκατάλειψη των ορεινών περιοχών, το οικονομικό ενδιαφέρον εστιάζεται στη γεωργική εκμετάλλευση της πεδιάδας του Δέλτα Πηνειού. Την ίδια περίοδο, κατασκευάστηκε η τάφρος Σμίξη, μέσω της οποίας παροχετεύονταν στον Πηνειό ποταμό ποσότητες νερού από τη λεκάνη απορροής του κάτω Ολύμπου με στόχο την αντιπλημμυρική προστασία της βόρειας κοίτης του Πηνειού. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την υποβάθμιση των υγροτόπων στο συγκεκριμένο τμήμα του Δέλτα, καθώς μειώθηκαν οι ποσότητες του νερού. Με την εφαρμογή της τουριστικής πολιτικής μετά το 1970 και το γεγονός ότι η Λάρισα είχε αρχίσει να μετεξελίσσεται σε Μητροπολιτικό κέντρο με μόνη θαλάσσια διέξοδο τον Πλαταμώνα και το Δέλτα του Πηνειού, το οικονομικό ενδιαφέρον της περιοχής εστιάστηκε κυρίως στην παραλιακή ζώνη του Δέλτα, αφού ο Πλαταμώνας είχε σχεδόν κορεστεί, με στόχο την τουριστική εκμετάλλευση και την παραθεριστική κατοικία. Σταδιακά, η περιοχή βγαίνει από τη θέση της απομόνωσης και αρχίζει να αναπτύσσεται τουριστικά, γίνεται περιοχή παραθεριστικής κατοικίας και τουριστικής εκμετάλλευσης (Οικονόμου, 2005).

Πίνακας 6: Πληθυσμός ανά δημοτικό διαμέρισμα για τη περίοδο 1920-2001 (Οικονόμου, 2005)

Δημοτικό Διαμέρισμα	1920	1928	1940	1951	1961	1971	1981	1991	2001
Αιγάνης	586	770	893	980	1082	898	913	889	1041
Κρανέας	804	802	1018	863	877	608	434	433	388
Ομολίου	814	954	1113	1033	1042	902	806	842	721
Παλαιοπύργου	166	180	433	196	265	272	258	293	434
Στομίου	477	601	693	600	687	630	598	677	624
Σύνολο	2,847	3,307	4,150	3,672	3,953	3,310	3,009	3,134	3,208



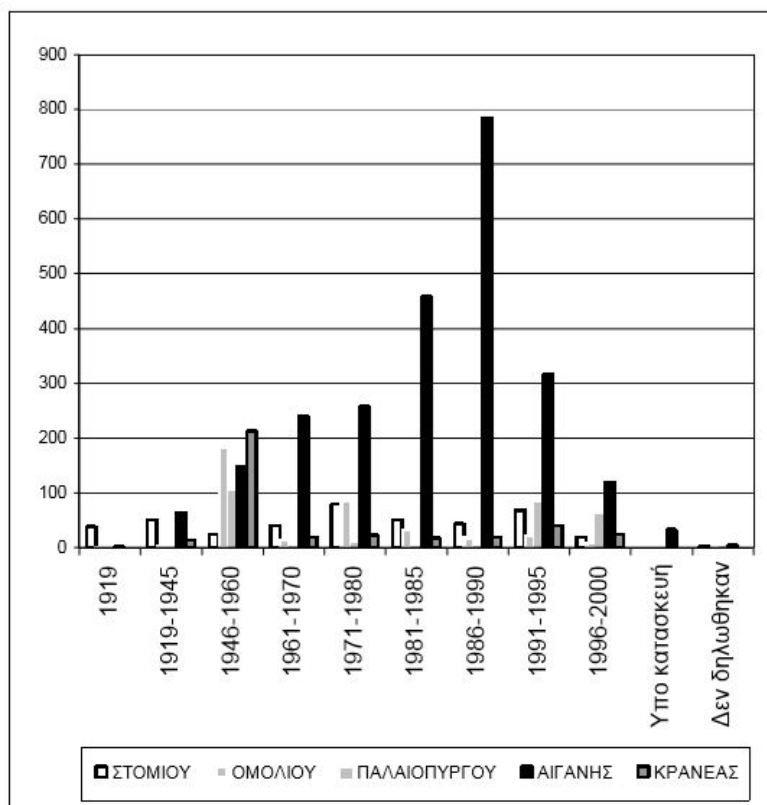
Διάγραμμα 3: Πληθυσμός ανά δημοτικό διαμέρισμα για τη περίοδο 1920-2001 (Οικονόμου, 2005)

7.4 Αίτια υποβάθμισης του φυσικού περιβάλλοντος

Η παρουσία ανθρώπινης δραστηριότητας στο παράκτιο χώρο του δέλτα, έχει επιφέρει μεταξύ άλλων και αρνητικές συνέπειες στο άμεσο περιβάλλον. Η υποβάθμιση των φυσικών πόρων είναι ένας βασικός παράγοντας που απειλεί το υδροτροπικό σύμπλεγμα των εκβολών. Ο βασικότερος κίνδυνος για τη βιωσιμότητα του δελταϊκού περιβάλλοντος είναι η δόμηση της περιοχής (δημιουργία και επέκταση οικισμών), όπως επίσης και η ένταση των χρήσεων γης, π.χ. καλλιέργεια, τουρισμός, μεταποίηση. Κάποιες άλλες δραστηριότητες που συμβάλλουν στη καταπόνηση του περιβάλλοντος της περιοχής είναι:

- Αμμοληψίες
- Στραγγίσεις
- Επέκταση αγροτικών καλλιεργειών
- Εγκατάσταση-επέκταση στάβλων-εκτροφείων
- Παράνομο κυνήγι
- Παράνομη υλοτομία
- Επιχωματώσεις και παράνομες καταλήψεις χώρων
- Υπερβόσκηση
- Είσοδος τροχοφόρων σε όλη της έκταση της παραλίας

Σύμφωνα με μελέτη του Οικονόμου (2005), μετά από επεξεργασία δεδομένων που προέκυψαν από αεροφωτογραφίες των ετών 1945, 1960, 1979, 1999, και 2003 (Γ.Υ.Σ), παρατηρούνται σαφείς αλλαγές στο δομημένο περιβάλλον του παράκτιου χώρου του Δέλτα. Επίσης σημαντικό στοιχείο είναι η αλλαγή της κοίτης του Πηνειού ποταμού, το 1960, στη θέση που βρίσκεται έως και σήμερα. Μια τέτοια αλλαγή μπορεί να επιφέρει σημαντικές τροποποιήσεις στη μορφολογία της ακτογραμμής. Η παροχή και απόθεση ιζήματος μεταβάλλεται ενώ η διάβρωση δύναται να υπερισχύσει στο σημείο των προηγούμενων εκβολών του ποταμού. Συνεπώς έχουμε αύξηση του αριθμού των οικισμών και των γεωργικών εκτάσεων καθώς και επέκταση των ήδη υπαρχόντων.



Διάγραμμα 4: Δόμηση στην περιοχή του Δέλτα – Πηνειού κατά τη χρονική περίοδο 1920 – 2000 (Οικονόμου,2005)

8. Μεθοδολογία

Κατά καιρούς έχουν προταθεί διάφορες μεθοδολογίες για την εκτίμηση της επικινδυνότητας και τρωτότητας των παράκτιων περιοχών σε μια ενδεχόμενη μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης τόσο σε κλίμακα κρατών, όσο και σε τοπικό επίπεδο. Σκοπός των μεθοδολογιών αυτών είναι η αναγνώριση και η εκτίμηση των οικολογικών, φυσικό-γεωγραφικών και κοινωνικοοικονομικών επιπτώσεων από την αναμενόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης, η κατανόηση του τρόπου με τον οποίο η ανάπτυξη και άλλοι κοινωνικοοικονομικοί παράγοντες επιδρούν στην επικινδυνότητα, η ποσοτική και ποιοτική εκτίμηση των αρνητικών αποτελεσμάτων με τελικό σκοπό τη λήψη κατάλληλων μέτρων προστασίας. Η συχνότερα εφαρμοζόμενη μεθοδολογία είναι η ονομαζόμενη Συνήθης η οποία προτάθηκε το 1991 και αποτελεί μια ημι-ποσοτική μέθοδο αξιολόγησης των ακτών σε εθνική και παγκόσμια κλίμακα. Χρησιμοποιεί νομισματικές αξιολογήσεις για την εκτίμηση της παράκτιας τρωτότητας ενός έθνους στη μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης εξετάζοντας διάφορα σενάρια κόστους οφέλους ώστε να προκύψει η βέλτιστη πρόταση λήψης μέτρων ώστε να μετριαστούν οι μελλοντικές αρνητικές επιπτώσεις (Mimura, 1999). Οι πρόσφατες εκτιμήσεις για την παγκόσμια άνοδο της μέσης στάθμης της θάλασσας σαν αποτέλεσμα της κλιματικής αλλαγής έχουν προκαλέσει το ενδιαφέρον των γεω-επιστημόνων που ασχολούνται με την παράκτια ζώνη για τη διερεύνηση του τρόπου απόκρισης των διαφόρων τύπων ακτών στην άνοδο αυτή. Υπάρχουν διάφορες μεθοδολογίες πρόβλεψης της εξέλιξης των παράκτιων περιοχών υπό την επίδραση της αναμενόμενης ανόδου της στάθμης. Κάθε μεθοδολογία έχει τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά της και η εφαρμογή κάποιων από αυτές μπορεί να κρίνεται απαγορευτική για συγκεκριμένες περιπτώσεις παράκτιων περιοχών. Οι δημοφιλέστερες μεταξύ των μεθοδολογιών αυτών βασίζονται:

- Στη συλλογή και αξιολόγηση ιστορικών δεδομένων (κυρίως αυτών που αφορούν τη διαχρονική μετατόπιση της ακτογραμμής),
- Στην εφαρμογή στατικών μοντέλων κατάκλισης ή άλλων μοντέλων όπως ο κανόνας του Bruun (Bruun's Rule) (Bruun, 1962), που βρίσκει εφαρμογή αποκλειστικά σε αμμώδεις αιγιαλούς,
- Στην εφαρμογή μοντέλων προσομοίωσης των υδροδυναμικών συνθηκών και της δυναμικής των παράκτιων ιζημάτων με την παραμετροποίηση των φυσικών διεργασιών που δρουν στον παράκτιο χώρο (Thieler & Hammar-Klose, 1999).

Η πρόγνωση της απόκρισης των παράκτιων συστημάτων σε μια ενδεχόμενη μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης δεν είναι πάντα δυνατό να καταλήγει σε ποσοτικά αποτελέσματα. Μπορεί όμως να ποσοτικοποιηθεί η σχετική επικινδυνότητα των διαφορετικών παράκτιων περιβαλλόντων ως προς μια τέτοια άνοδο. Αυτό μπορεί να γίνει λαμβάνοντας υπόψη δεδομένα που σχετίζονται με τις σημαντικές παραμέτρους που συμμετέχουν στην εξέλιξη και διαμόρφωση των ακτών σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Μερικές από τις παραμέτρους αυτές είναι η παράκτια

γεωμορφολογία, η κλίση της παράκτιας ζώνης, η μετατόπιση (προέλαση ή υποχώρηση) της ακτογραμμής, ο ρυθμός μεταβολής της θαλάσσιας στάθμης σε μεγάλες χρονικές περιόδους καθώς και άλλοι παράγοντες όπως οι παλίρροιες και ο κυματισμός. Τα φυσικά αυτά χαρακτηριστικά των παράκτιων συστημάτων έχουν χρησιμοποιηθεί σε αρκετές μελέτες ανάλυσης και ποσοτικής εκτίμησης της επικινδυνότητας με σκοπό την ταξινόμηση των επιμέρους τμημάτων της ακτογραμμής ως προς την επικινδυνότητά τους στη μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης. Στα πλαίσια των μελετών αυτών αναπτύχθηκαν δείκτες, μαθηματικές δηλαδή εκφράσεις που λαμβάνουν υπόψη διάφορες συχνά διαφορετικές μεταξύ τους παραμέτρους για την ποσοτικοποίηση της επικινδυνότητας. Υπάρχουν δείκτες που δεν εμπλέκουν μόνο παραμέτρους που σχετίζονται με το φυσικό περιβάλλον και τα ωκεανογραφικά χαρακτηριστικά του παράκτιου χώρου αλλά συνεκτιμούν και την τρωτότητα συμπεριλαμβάνοντας παραμέτρους που αφορούν το κοινωνικο-οικονομικό καθεστώς, τις υποδομές καθώς και δημογραφικά δεδομένα. Στον πίνακα 6 παρατίθενται οι κυριότεροι δείκτες, οι περιοχές της γης που εφαρμόστηκαν για πρώτη φορά, οι παράμετροι που χρησιμοποιούν και οι ερευνητές που τους πρότειναν. Όλοι σχεδόν οι δείκτες αυτοί σκοπό έχουν την κατηγοριοποίηση της ακτογραμμής σε κατηγορίες χαμηλής ενδιάμεσης και υψηλής επικινδυνότητας / τρωτότητας για κάθε μια παράμετρο ώστε η συνεκτίμησή τους να οδηγήσει στην τελική βαθμονόμηση της ακτής σε κατηγορίες επικινδυνότητας / τρωτότητας. (Καρύμπαλης κ.α., 2008).

Η εφαρμογή των δεικτών αυτών σε εθνική κλίμακα βοηθά τον προκαταρκτικό εντοπισμό των επικίνδυνων και/ή τρωτών περιοχών. Το πρώτο αυτό βήμα προσδιορισμού των παράκτιων περιοχών που αναμένεται να αντιμετωπίσουν μεγαλύτερο πρόβλημα έχει ιδιαίτερη σημασία για τη χάραξη σχεδίων αντιμετώπισης του κινδύνου της ανόδου της θαλάσσιας στάθμης. Τα πρώτα αποτελέσματα της κατηγοριοποίησης των ακτών σε διάφορες κατηγορίες επικινδυνότητας/ τρωτότητας αποτελούν ένα χρήσιμο εργαλείο για τους διαχειριστές του παράκτιου χώρου και αυτούς που καλούνται να ασκήσουν πολιτικές προστασίας της παράκτιας ζώνης από τους φυσικούς κινδύνους. Μετά την αρχική εκτίμηση των πλέον επιδεκτικών/τρωτών ακτών απαιτείται η εστίαση σε συγκεκριμένες περιοχές ιδιαίτερου κοινωνικο-οικονομικού και περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος για τη λεπτομερέστερη (σε μεγαλύτερη κλίμακα) μελέτη τους (Καρύμπαλης κ.α., 2008).

Πίνακας 7: Οι περισσότερο συχνά χρησιμοποιούμενοι δείκτες εκτίμησης της επικινδυνότητας και/ή τρωτότητας των ακτών στη μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης (Abuodha και Woodroffe, 2006).

Δείκτης	Περιοχή πρώτης εφαρμογής	Παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη	Αναφορά
Δείκτης Παράκτιας Επικινδυνότητας – Coastal Vulnerability Index (CVI)	ΗΠΑ	Ανάγλυφο, κατακόρυφες κινήσεις της ξηράς, λιθολογία, παράκτιες γεωμορφές, μετατόπιση ακτογραμμής, κυματική ενέργεια, εύρος παλίρροιας	Gornitz και Kanciruk (1989), Gornitz (1991), Gornitz κ.ά. (1991)
Δείκτης Παράκτιας Επικινδυνότητας – Coastal Vulnerability Index (CVI)	ΗΠΑ	Ρυθμοί ιστορικής διάβρωσης υποχώρησης της ακτογραμμής, γεωμορφολογία, ρυθμοί σχετικής ανόδου της στάθμης, παράκτια κλίση, ύψος κύματος, εύρος παλίρροιας	Thieler (2000) και πολλές εκθέσεις της USGS
Δείκτης Κοινωνικής Τρωτότητας Social Vulnerability Index (SoVI)	ΗΠΑ	Ανάλυση κύριων κοινωνικών δεδομένων που προέρχονται από απογραφή	Boruff κ.ά. (2005)
Βαθμολογία Παράκτιας Κοινωνικής Τρωτότητας – Coastal Social Vulnerability Score (CSoVI)	ΗΠΑ	Συνδυασμός του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας και του Δείκτη Κοινωνικής Τρωτότητας	Boruff κ.ά. (2005)
Δείκτης Ευαισθησίας – Sensitivity Index (SI)	Καναδάς	Ανάγλυφο, τάση μεταβολής της στάθμης, γεωλογία, παράκτιες γεωμορφές, μετατόπιση ακτογραμμής, κυματική ενέργεια, εύρος παλίρροιας	Shaw κ.ά. (1998)
Δείκτης κινδύνου διάβρωσης (Erosion Hazard Index)	Καναδάς	Παρόμοιος με τον Δείκτη Επικινδυνότητας, λαμβάνοντας επιπλέον την έκθεση των ακτών, το επίπεδο ανύψωσης της στάθμης λόγω μετεωρολογικών αιτιών και την κλίση	Forbes κ.ά. (2003)
Πίνακας Κινδύνου (Risk matrix)	Νότιος Αφρική	Γεωγραφική θέση, υποδομές (οικονομική αξία), φυσικός κίνδυνος	Hughes και Brundrit (1992)
Δείκτης Βιώσιμης Ικανότητας (Sustainable Capacity Index)	Νότιος Ειρηνικός	Τρωτότητα και προσαρμοστικότητα του φυσικού περιβάλλοντος, του πολιτισμού, των θεσμών, των υποδομών, της οικονομίας και του ανθρώπου.	Kay και Hay (1993), Yamada κ.ά. (1995)
Δείκτης Ευαισθησίας των ακτών (Sensitivity Index)	Ιρλανδία	Κλίση παράκτιου μετώπου, παράκτιες γεωμορφές, παράκτιες κατασκευές, προσβασιμότητα και χρήσεις γης.	Carter (1990)
Δείκτης Τρωτότητας (Vulnerability Index)	Μ. Βρετανία	Συχνότητα εκδήλωσης διαταραχών στην ακτή, χρόνος αποκατάστασης.	Pethick και Crooks (2000)

9. Εφαρμογή του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας (CVI) στη περιοχή μελέτης

Ο δείκτης παράκτιας τρωτότητας (Coastal Vulnerability Index, C.V.I), που έχει επικρατήσει και εφαρμόζεται εκτενώς σε μελέτες σχετικά με την επιρρέπεια παράκτιων περιοχών σε καταστροφές που σχετίζονται με την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης, είναι παρόμοιος με παλαιότερες προσεγγίσεις των Gornitz et al. (1994), Shaw et al. (1998) και Thieler & Hammar-Klose (1999).

$$CVI = \sqrt{\left(\frac{a * b * c * d * e * f}{6}\right)}$$

a	•Γεωλογία - Γεωμορφολογία
b	•Παράκτια κλίση
c	•Σενάρια ανόδου στάθμης θάλασσας
d	•Ρυθμός μεταβολής ακτογραμμής
e	•Μεσό σημαντικό ύψος κύματος
f	•Μέσο εύρος παλίρροιας

Εικόνα 7: μεταβλητές του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας (CVI)

Ο C.V.I επιτρέπει το συσχετισμό έξι ποιοτικών χαρακτηριστικών-μεταβλητών με τρόπο τέτοιο που να οδηγεί στην εξαγωγή ενός ποσοτικού και μετρήσιμου αποτελέσματος. Μέσα από το συσχετισμό αυτών των μεταβλητών γίνεται η αξιολόγηση και ο εντοπισμός των περιοχών που αναμένεται να πληγούν εντονότερα από ενδεχόμενη άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Αναλυτικότερα οι παράμετροι που συνυπολογίζονται για την εφαρμογή του C.V.I, είναι :

Γεωμορφολογία περιοχής: πρόκειται για μια μη αριθμητική παράμετρο η οποία εκφράζει τα γεωλογικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης και των επιμέρους τμημάτων της. Συνεπώς, τα ποιοτικά χαρακτηριστικά που περιγράφονται, εκφράζουν την σχετική αντίδραση των ακτών στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Σημειώνεται ότι το μέγεθος στο οποίο η γεωμορφολογία μιας παράκτιας περιοχής επηρεάζει τον Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας, συνδέεται άμεσα με την κλίση της περιοχής αυτής, η οποία βρίσκεται υπό συνεχή διαμόρφωση από ποικίλες φυσικές διαδικασίες. Οι περισσότερες από αυτές τις διαδικασίες είναι αποκλειστικά θαλάσσιες προέλευσης, όπως για παράδειγμα η πρόσκρουση των κυμάτων ή ο συνδυασμός της δράσης της θάλασσας με τα έντονα ατμοσφαιρικά φαινόμενα που χαρακτηρίζουν τις παραθαλάσσιες περιοχές. Τα απότομα πρανή που συναντώνται σε μια βραχώδη ακτή

είναι συνδυασμός θαλάσσιας δράσης και προϋπάρχουσας μορφολογίας, που οφείλεται στις ανοδικές κινήσεις των ακτών κατά μήκος ενεργών ρηγμάτων. Αντίστοιχα, οι προσχωματικές επίπεδες παράκτιες περιοχές με έντονη κλίση υποδηλώνουν ότι η παροχή υλικών απόθεσης στο τμήμα αυτό της ακτογραμμής πριν από κάποιο χρονικό διάστημα ήταν έντονη και σταδιακά ελαχιστοποιήθηκε. Στη ζώνη κυματωγής με τη δράση των κυμάτων ήταν δυνατή κάποτε η απόσπαση και η μεταφορά ιζημάτων όπως ιλύς και άμμος. Μετά όμως από μια σημαντική περίοδο κυματικής ηρεμίας ο όγκος των αποθέσεων έγινε μεγάλος και έτσι το θαλάσσιο μέτωπο της ακτής απέκτησε μεγαλύτερη κλίση. Συμπερασματικά, τα ύψη και οι κλίσεις των παράκτιων ζωνών εξαρτώνται από την ευρύτερη τοπογραφία της περιοχής, τη λιθολογική δομή και το κλίμα που επικρατεί στην ευρύτερη περιοχή (Παναγιωτίδης & Χατζημπίρος, 2004). Με βάση την παράμετρο της γεωμορφολογίας οι ακτές κατατάσσονται σε κατηγορίες με κοινά χαρακτηριστικά, τα οποία αφορούν τη μορφολογία, την κοκκομετρία και τη σύσταση των πετρωμάτων τους. Στην ουσία με τη κατάταξη αυτή γίνεται μια άμεση διάκριση ανάμεσα σε περιοχές μικρής επικινδυνότητας όπως κάθετες βραχώδεις ακτές και μεγάλης επικινδυνότητας όπως μία αμμώδης παραλία.

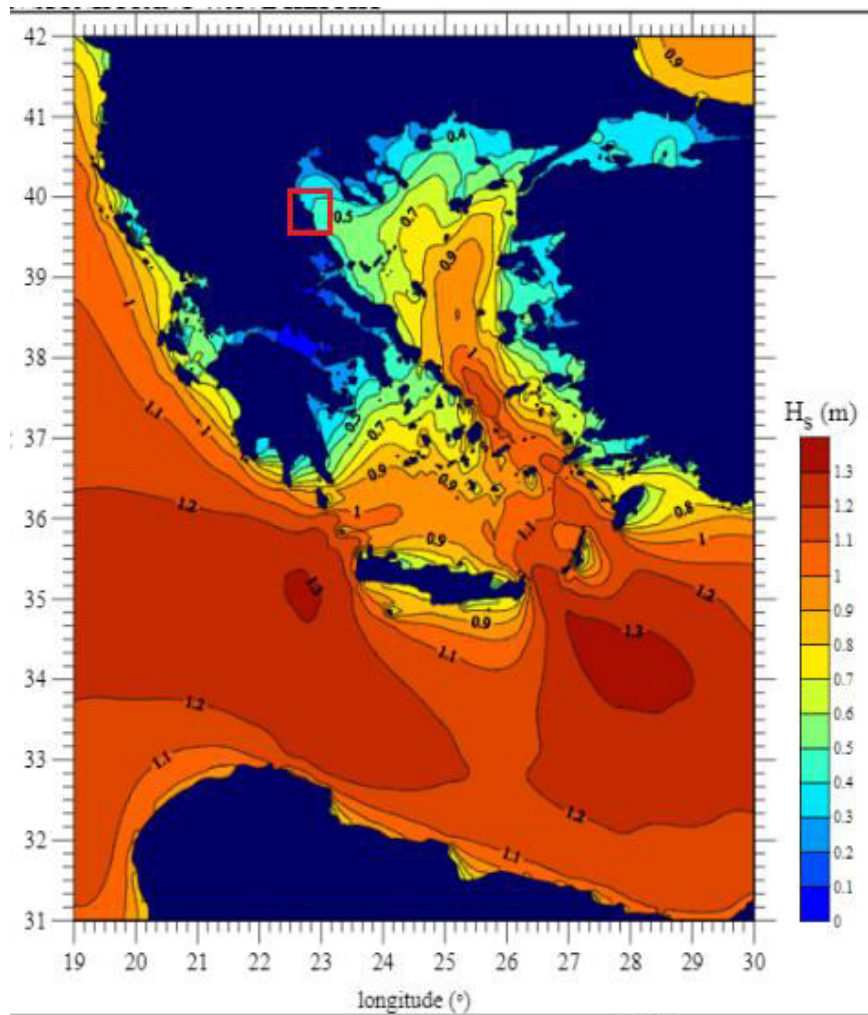
Παράκτια κλίση: Η γνώση της παράκτιας κλίσης επιτρέπει την εκτίμηση του σχετικού κινδύνου κατάκλισης της περιοχής, αλλά και της ενδεχόμενης υποχώρησης της ακτογραμμής, αφού περιοχές με μικρή κλίση είναι οι πλέον επιρρεπείς στο φαινόμενο της διάβρωσης (Thieler & Hammar-Klose, 1999). Ήπιες κλίσεις σε μια ακτή υποδηλώνουν ότι μια μικρή κατακόρυφη άνοδος της στάθμης της θάλασσας δύναται να προκαλέσει σημαντική μετατόπιση των υδάτων προς την ξηρά. Στον αντίποδα, απότομες κλίσεις αποτελούν ένα φυσικό εμπόδιο απέναντι στο θαλάσσιο περιβάλλον και τον έντονο κατά τόπους και χρόνο, κυματισμό. Άμεσο συμπέρασμα αυτού είναι πως όσο μεγαλύτερη η κλίση μιας παράκτιας περιοχής, τόσο πιο δύσκολο είναι η περιοχή αυτή να κινδυνεύσει από την άνοδο της στάθμης των υδάτων, πάντα λαμβάνοντας υπόψη τη γεωμορφολογία της περιοχής και εν τέλει την ένταση του κυματισμού (Σαρταμπάκου, 2013). Επιπρόσθετα ο παράγοντας αυτός έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς σε περιοχές με χαμηλή κλίση ευνοείται η ανάπτυξη ανθρώπινων υποδομών με έντονες κοινωνικοοικονομικές δραστηριότητες (οικισμοί, υπηρεσίες τουρισμός) δίνοντας έτσι και μια άλλη κοινωνική διάσταση στην επικινδυνότητα. Η κλίση της γήινης επιφάνειας σε κάθε θέση του γήινου ανάγλυφου, είναι ο ρυθμός μεταβολής του υψομέτρου στην περιοχή αυτή. Μετράται σε μοίρες ή σε ποσοστό μεταβολής επί τοις εκατό (%). Μεταξύ των μεταβλητών του δείκτη, η παράκτια κλίση αποτελεί την κύρια παράμετρο που εκφράζει τον πλημμυρικό κίνδυνο από ενδεχόμενη αύξηση της θαλάσσιας στάθμης καθώς όλες οι υπόλοιπες παράμετροι συνδέονται με τον κίνδυνο διάβρωσης της ακτογραμμής. Περιοχές με παράκτιες κλίσεις χαμηλότερες του 3% χαρακτηρίζονται ως πολύ υψηλής επικινδυνότητας ενώ περιοχές με κλίσεις μεγαλύτερες του 12% είναι χαμηλής επικινδυνότητας.

Σενάρια ανόδου στάθμης θάλασσας: Δεδομένα για τη σχετική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης αποτελούν ο ρυθμός της μεταβολής της στάθμης σε τοπικό επίπεδο κατά τη διάρκεια των ιστορικών χρόνων και συνήθως προέρχονται από μετρήσεις παλιρροιογράφων που αφορούν μακρές χρονικές περιόδους. Ο ρυθμός ανόδου είναι το αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης του ευστατισμού με την ισοστασία ή/και τον τεκτονισμό.

Ρυθμός Μεταβολής της ακτογραμμής: η διάβρωση-υποχώρηση της ακτογραμμής συνδέεται άρρηκτα με τη λιθολογία της περιοχής καθώς και με άλλες παραμέτρους όπως ο κυματισμός, η παλίρροια ή η παρουσία ανθρωπογενούς παρέμβασης στο φυσικό περιβάλλον. Η συγκεκριμένη μεταβλητή αναφέρεται στη διαχρονική μεταβολή του ορίου μεταξύ ξηράς και θάλασσας, που αποδίδεται στις διαδικασίες της διάβρωσης και της πρόσχωσης (Σαρταμπάκου, 2013). Το σημερινό σχήμα των ακτογραμμών είναι αποτέλεσμα διεργασιών που έγιναν κατά το γεωλογικό παρελθόν και οφείλεται σε κινήσεις της ξηράς και της θάλασσας. Οι μεταβολές αυτές πραγματοποιήθηκαν με την επίδραση ενδογενών δυνάμεων, όπως είναι οι ανυψώσεις και ταπεινώσεις περιοχών, δημιουργία ρηγμάτων, ηφαιστειακή δράση, κ.α., καθώς επίσης και με την επίδραση εξωγενών παραγόντων, όπως είναι η δημιουργία παγετώνων, η διάβρωση και η απόθεση. Οι διαδικασίες της διάβρωσης και της απόθεσης σχηματίζουν τις πιο εντυπωσιακές ακτές. Η διάβρωση είναι αρμόδια για τη διαμόρφωση των λόφων και των κοιλάδων στην ξηρά, των λιμνών και των ακτών στο παράκτιο περιβάλλον. Η διάβρωση είναι μια απολύτως φυσική διαδικασία και ένα μέσο κίνησης υλικού και ιζημάτων. Η διαδικασία της διάβρωσης σταματάει όταν το ίζημα εγκατασταθεί σε μια επιφάνεια. Η διαδικασία αυτή καλείται απόθεση ή αλλιώς πρόσχωση (Ξύξη, 2004). Η ιστορική μετακίνηση μιας ακτογραμμής εκφράζεται σε m/έτος (Σιάφακας, 2003)

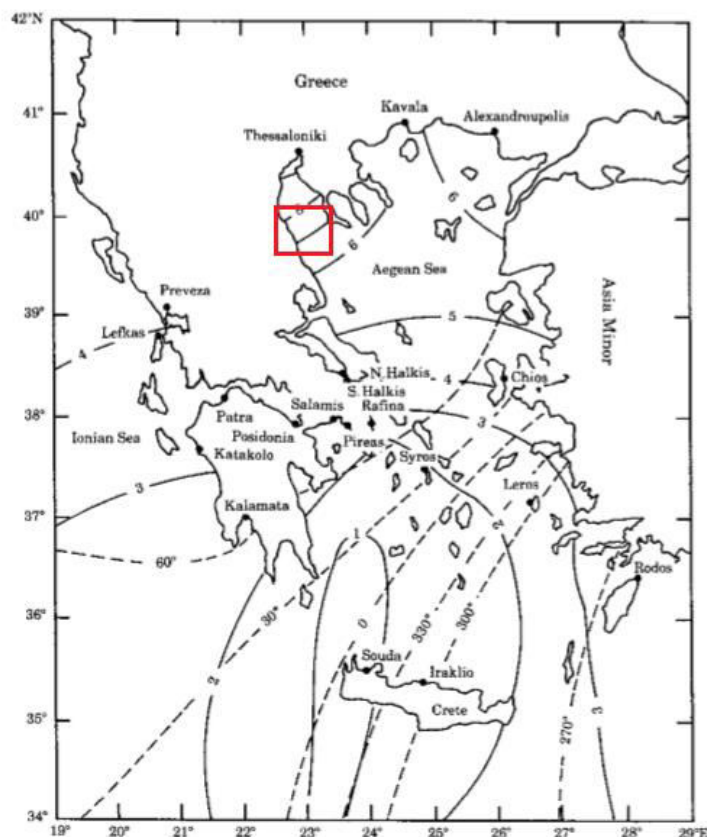
Μέσο σημαντικό ύψος κύματος: Είναι ένας εξίσου σημαντικός παράγοντας ο οποίος επηρεάζει την τρωτότητα μια παράκτιας περιοχής έναντι της κλιματικής αλλαγής. Περιοχές με μικρή έκταση (όπως αυτή της παρούσας εργασίας) συνήθως δεν εμφανίζουν μεγάλο εύρος στις τιμές της παραμέτρου αυτής. Η περιοχή μελέτης παρουσιάζει ύψος κύματος της τάξης των 0.3-0.5 μέτρα. Στις μελέτες παράκτιας επικινδυνότητας λαμβάνονται υπόψη τα κύματα μεγαλύτερου ύψους που είναι τα πλέον επικίνδυνα και ευκολότερο να μετρηθούν. Το μέσο σημαντικό ύψος κύματος χρησιμοποιείται ως δείκτης της ενέργειας των κυμάτων που προκαλεί τη μεταφορά και την απόθεση ιζημάτων στις ακτές. Η γένεση των ανεμογενών κυματισμών οφείλεται στη μεταφορά ενέργειας από τα κινούμενα ατμοσφαιρικά στρώματα στις επιφανειακές θαλάσσιες μάζες. Η ενέργεια αρχικά περνά από την ατμόσφαιρα στη θάλασσα με τη διάτμηση και στη συνέχεια με την

αναδιαμόρφωση του πεδίου των πιέσεων πάνω από τις κορυφές και τις κοιλίες του κύματος. Το σημαντικό ύψος κύματος (H_s) σε μέτρα, σε μία περιοχή είναι η μέση τιμή ύψους (από κορυφή σε κοιλία) του ενός τρίτου των υψηλότερων κυμάτων.



Χάρτης 4: Μέσο σημαντικό ύψος κύματος(ετήσιο), (Soukisian et al., 2007)

Μέσο εύρος παλίρροιας: η διαδοχική εναλλασσόμενη ανύψωση και πτώση του επιπέδου της θάλασσας σε σχέση με τη ξηρά, που δημιουργείται από τη βαρυτική έλξη που ασκούν ο ήλιος και η σελήνη στη γη. Σε περιοχές με μικρό παλιρροιακό εύρος όπως η Ελλάδα, οι μετεωρολογικοί παράγοντες μπορεί να έχουν διπλάσια ή τριπλάσια επίδραση απ' ό,τι η αστρονομική παλίρροια. Ένας άνεμος κάθετος στην ακτή, ένα βαρομετρικό χαμηλό ή υψηλό μπορεί να κάνουν τη στάθμη της θάλασσας στις περιοχές του Αιγαίου και του Ιονίου να μεταβληθεί περισσότερο από ένα μέτρο, ενώ η αστρονομική παλίρροια δεν υπερβαίνει τα 30 εκατοστά.



Χάρτης 5: Ύψος και εύρος παλίρροιας (Tsimplis, 1994)

Ο παρακάτω πίνακας περιλαμβάνει τη κατάταξη των ακτών σε κατηγορίες τρωτότητας (από πολύ χαμηλής έως πολύ υψηλής) για κάθε έναν από τους παράγοντες – μεταβλητές που εμπλέκονται στην εκτίμηση του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας. Η βαθμονόμηση έχει γίνει μετά από προσαρμογή στα δεδομένα των ελληνικών ακτών (Karymbalis et al., 2012).

Πίνακας 8: Κατηγοριοποίηση των μεταβλητών του CVI (Karymbalis et al., 2012)

Παράγοντας	Πολύ μικρή τρωτότητα (1)	Μικρή τρωτότητα (2)	Μέση τρωτότητα (3)	Υψηλή τρωτότητα (4)	Πολύ υψηλή τρωτότητα (5)
Γεωμορφολογία	Παράκτιοι βραχώδεις κρημνοί, ακτές ria, φιόρδ (fjords)	Μέσης κλίσης παράκτιοι κρημνοί σχηματισμών ενδιάμεσης αντοχής	Χαμηλοί παράκτιοι κρημνοί χαλαρών σχηματισμών	Χαλικώδεις αιγιαλοί, εκβολικά συστήματα, λιμνοθάλασσες	φραγματικοί αιγιαλοί, αμμώδεις αιγιαλοί, αλμυρά έλη, πεδία πηλού, ποτάμια δέλτα, κοραλλιογενείς ύφαλοι
Προέλαση/υποχώρηση της ακτογραμμής σε m/έτος	>(+1,5)	(+1,5)-(+0,5)	(+0,5)-(-0,5)	(-0,5)-(-1,5)	<(-1,5)
Παράκτια κλίση (%)	>12	12-9	9-6	6-3	<3
Σχετική μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης σε mm/έτος	<1,8	1,8-2,5	2,5-3,0	3,0-3,4	>3,4
Μέσο ύψος κύματος σε m	<0,3	0,3-0,6	0,6-0,9	0,9-1,2	>1,2
Μέσο εύρος παλίρροιας σε m	<0,2	0,2-0,4	0,4-0,6	0,6-0,8	>0,8

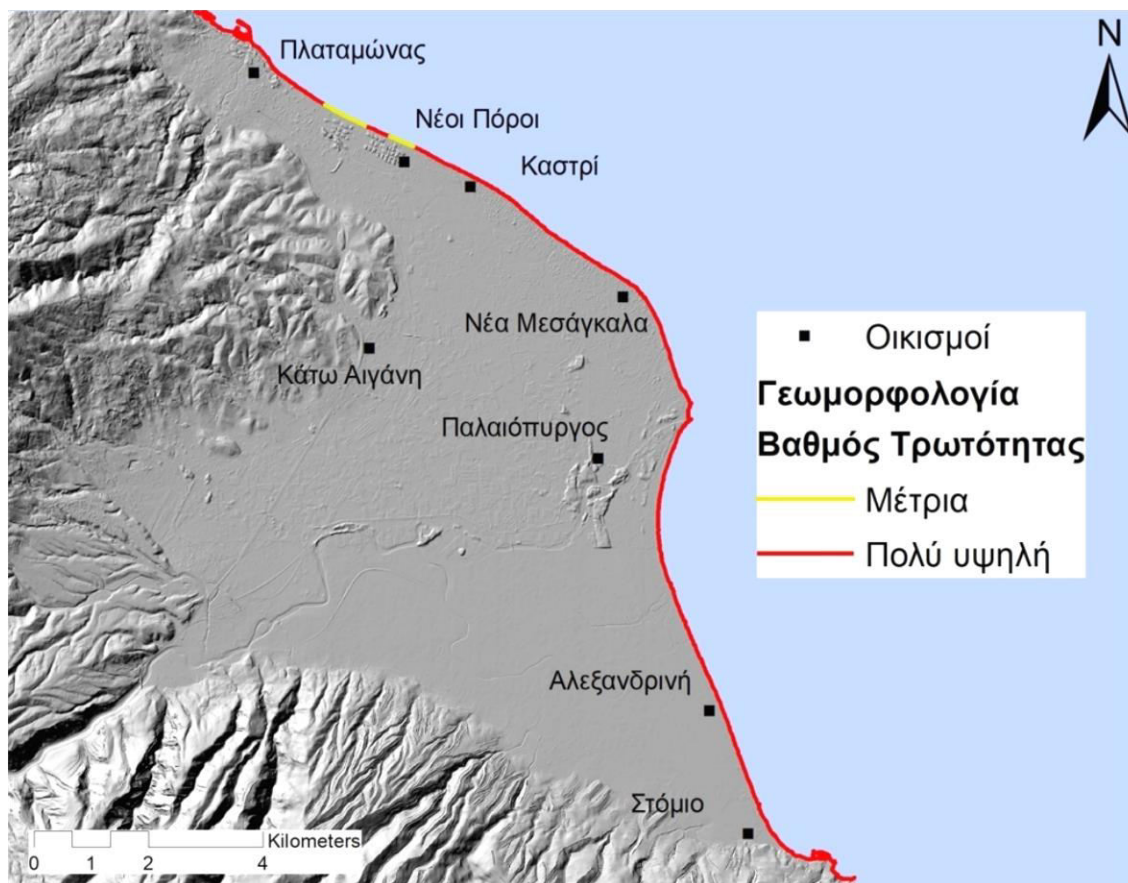
Υπολογίστηκαν οι έξι απαιτούμενες μεταβλητές με χρήση του λογισμικού ArcGIS 10.4 και δημιουργήθηκε βάση δεδομένων στην οποία καταγράφηκε η τιμή των επιμέρους παραμέτρων που ορίζουν τα χαρακτηριστικά των υπό εξέταση ακτογραμμών. Τα δεδομένα για τον παράγοντα της γεωλογίας αντλήθηκαν από τον γεωλογικό χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε. (1974) κλίμακας 1:50000. Η μορφολογική κλίση των παράκτιων περιοχών προέκυψε από την επεξεργασία του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους (DEM), με διάσταση εικονοστοιχείου 25m, το οποίο παραχωρήθηκε από την Εθνικό Κτηματολόγιο και Χαρτογράφηση Α.Ε. Η σχετική μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης προέκυψε από τον συνδυασμό της επίδρασης του ευστατισμού, της ισοστασίας και των τεκτονικών κινήσεων που λαμβάνουν χώρα στην εκάστοτε περιοχή.

Για την αποτελεσματική απεικόνιση των αποτελεσμάτων από τη συλλογή και επεξεργασία δεδομένων στο ArcMap, έγινε προβολή των επιμέρους δεικτών του CVI (Coastal Vulnerability Index) επάνω στην ακτογραμμή, με την αντίστοιχη διαβάθμιση ως προς την τρωτότητά τους στους παράκτιους κινδύνους. Θα παρατεθούν παρακάτω έξι (6) χάρτες, ένας για κάθε μεταβλητή, οι οποίοι θα απεικονίζουν τα δεδομένα για κάθε δείκτη. Ο τελικός χάρτης θα απεικονίζει την τελική τιμή του CVI, μετά το συνυπολογισμό και των έξι μεταβλητών, η οποία προκύπτει από τον τύπο που παρατέθηκε παραπάνω.

Πίνακες που δείχνουν το μήκος της ακτογραμμής που καταλαμβάνει η κάθε κλάση για τους δείκτες που περιλαμβάνουν πάνω από μία, παρατίθενται μαζί με τους χάρτες με σκοπό την αναλυτικότερη παρουσίαση των δεδομένων που προέκυψαν. Οι μεταβλητές του μέσου ύψους κύματος, της σχετικής μεταβολής της θαλάσσιας στάθμης και του μέσου εύρους παλίρροιας είναι ενιαίοι για όλο το μήκος της ακτογραμμής που καλύπτει τη περιοχή μελέτης. Ο υπολογισμός έγινε από τον πίνακα δεδομένων του ArcMap με τη δημιουργία στήλης “length” και έπειτα τη χρήση του εργαλείου “Statistics” ανά κλάση. Επίσης, πραγματοποιήθηκε μια στρογγυλοποίηση στο 3 δεκαδικό κάθε αριθμού προς ευκολία ανάγνωσης των αποτελεσμάτων. Το συνολικό μήκος της ακτογραμμής που μελετήθηκε είναι 25,120 χλμ.

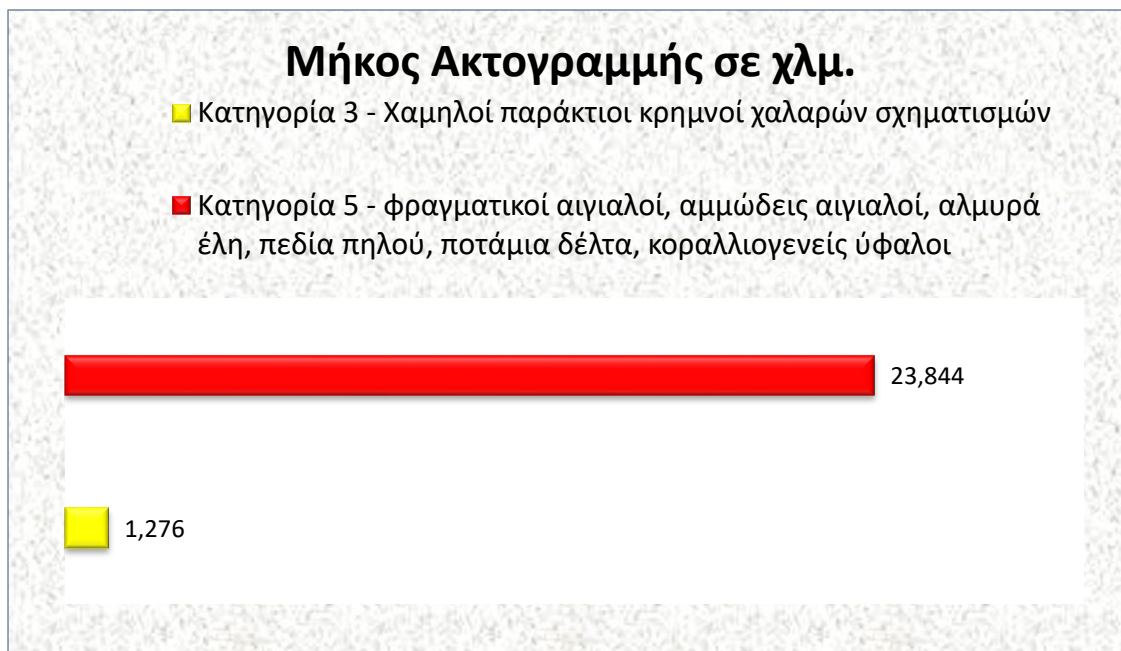
10. Αποτελέσματα

10.1 Γεωμορφολογία



Χάρτης 6: Ταξινόμηση της τρωτότητας της ακτογραμμής ως προς τη παράμετρο της γεωμορφολογίας.

Η Γεωμορφολογία της περιοχής δε παρουσιάζει σημαντικές διαφοροποιήσεις σε όλο το μήκος την ακτογραμμής του δέλτα, τουλάχιστον όσον αφορά τις κατηγορίες που έχουν οριστεί για τον υπολογισμό του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας. Σχεδόν όλο το μήκος της ακτογραμμής ανήκει στη κατηγορία πέντε (5), (φραγματικοί αιγιαλοί, αμμώδεις αιγιαλοί, αλμυρά έλη, πεδία πηλού, ποτάμια δέλτα, κοραλλιογενείς ύφαλοι) εκτός από ένα μικρό κομμάτι της ακτογραμμής το οποίο τοποθετήθηκε στη κατηγορία τρία (3), (χαμηλοί παράκτιοι κρημνοί χαλαρών σχηματισμών) λόγω παρουσίας αμμοθινών. Συνήθως τα ποτάμια δέλτα παρουσιάζουν υψηλή τρωτότητα στο μεγαλύτερο μέρος τους λόγω της γεωμορφολογίας τους. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η κατηγοριοποίηση της ακτογραμμής και το μήκος που διαθέτει η κάθε κλάση.

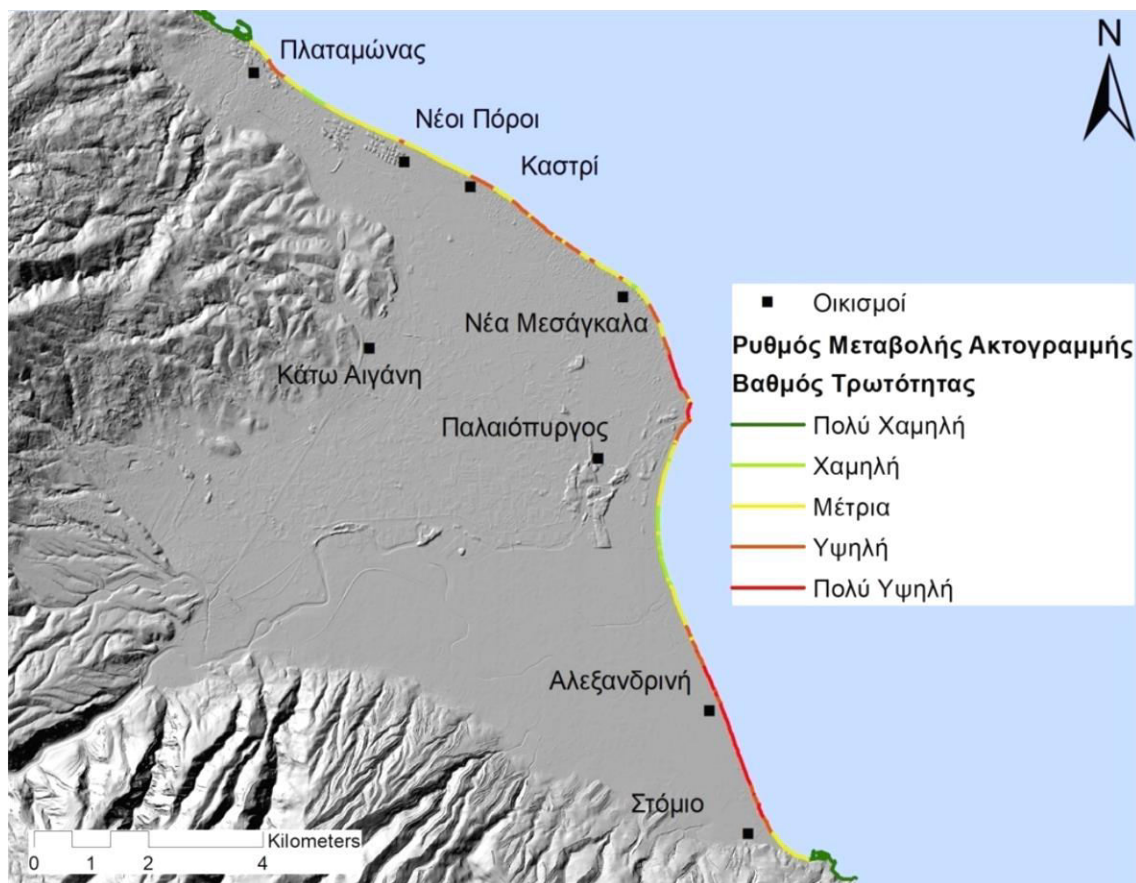


Διάγραμμα 5: Ταξινόμηση της τρωτότητας της ακτογραμμής ως προς τη παράμετρο της γεωμορφολογίας.

Πίνακας 9: Ταξινόμηση της τρωτότητας της ακτογραμμής ως προς τη παράμετρο της γεωμορφολογίας.

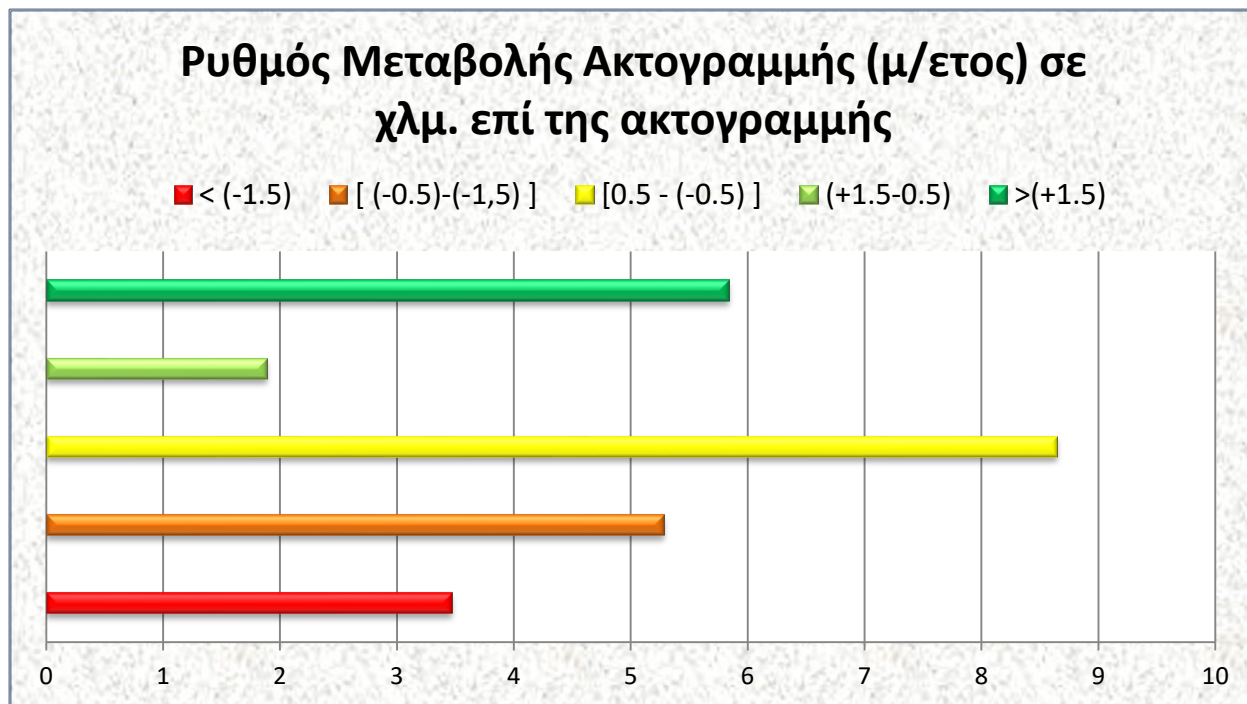
Γεωμορφολογία		
Βαθμός Τρωτότητας	Μήκος ακτογραμμής σε χλμ.	Ποσοστό (%)
Μέτρια	1,276	5,08
Πολύ Υψηλή	23,844	94,92

10.2 Ρυθμός Μεταβολής Ακτογραμμής



Χάρτης 7: Ταξινόμηση της τρωτότητας της ακτογραμμής ως προς τη παράμετρο του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής.

Ο υπολογισμός του ποσοστού της ακτογραμμής που υποχωρεί και προελαύνει έγινε με τη χρήση του Raster Calculator. Η πρόσφατη ακτογραμμή, η οποία ψηφιοποιήθηκε από το basemap (2016), μετατράπηκε σε αρχείο raster και υπολογίστηκε σημειακά η μεταβολή από την ακτογραμμή του 1996, η οποία ψηφιοποιήθηκε από αεροφωτογραφίες. Έπειτα το αρχείο raster που παράχθηκε μετατράπηκε σε διανυσματικό επάνω στο οποίο και έγινε η ζωνοποίηση ανάλογα με την απόσταση των σημείων. Παρατηρείται πως το μεγαλύτερο ποσοστό της ακτογραμμής έχει υποστεί μεταβολή της τάξεως του μισού μέτρου (+) ή (-), δηλαδή εμφανίζει τρωτότητα κατηγορίας τρία (3). Το μεγαλύτερο ποσοστό υποχώρησης παρατηρείται στην περιοχή των εκβολών και στο νότιο τμήμα του δέλτα. Το γεγονός αυτό δύναται να οφείλεται στην επέκταση του αστικού δομημένου περιβάλλοντος το οποίο συνήθως μειώνει τη στερεοπαροχή του ποταμού σε φερτές ύλες.

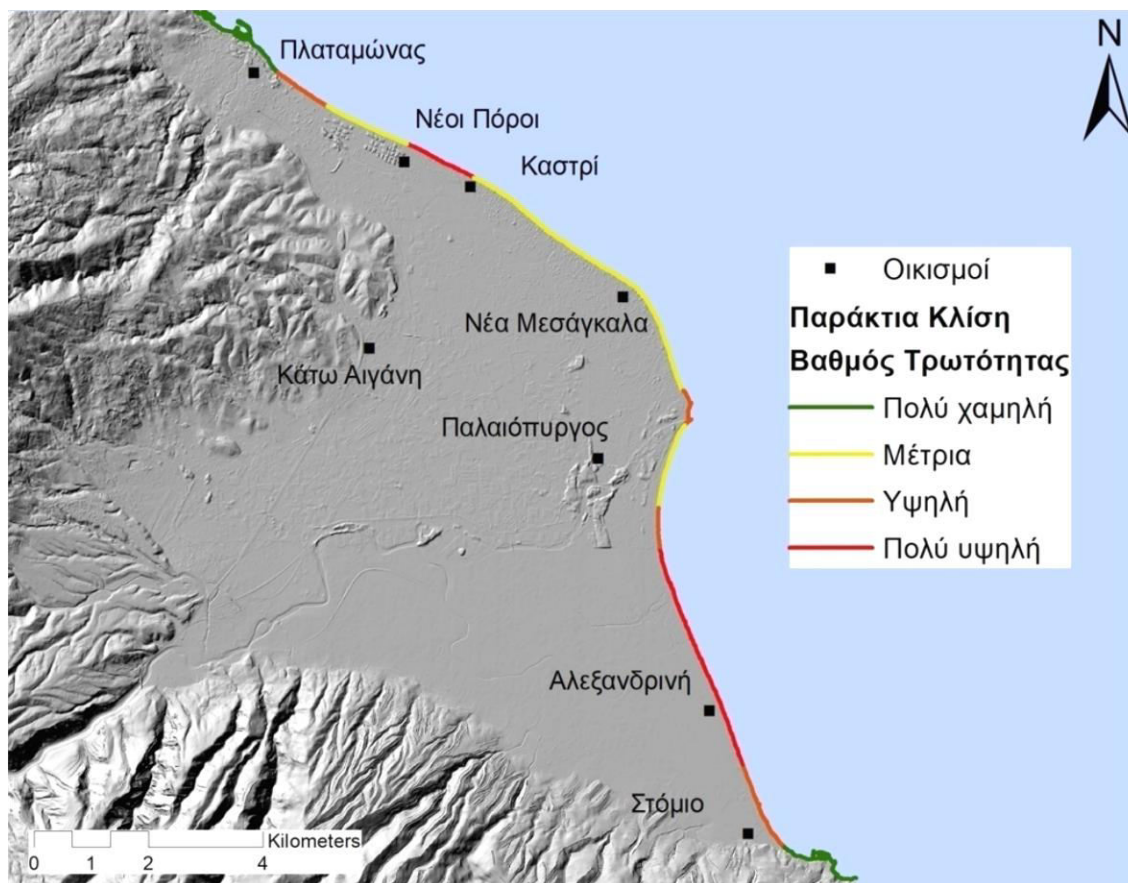


Διάγραμμα 6: Ταξινόμηση της τρωτότητας της ακτογραμμής ως προς τη παράμετρο του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής.

Πίνακας 10: Ταξινόμηση της τρωτότητας της ακτογραμμής ως προς τη παράμετρο του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής.

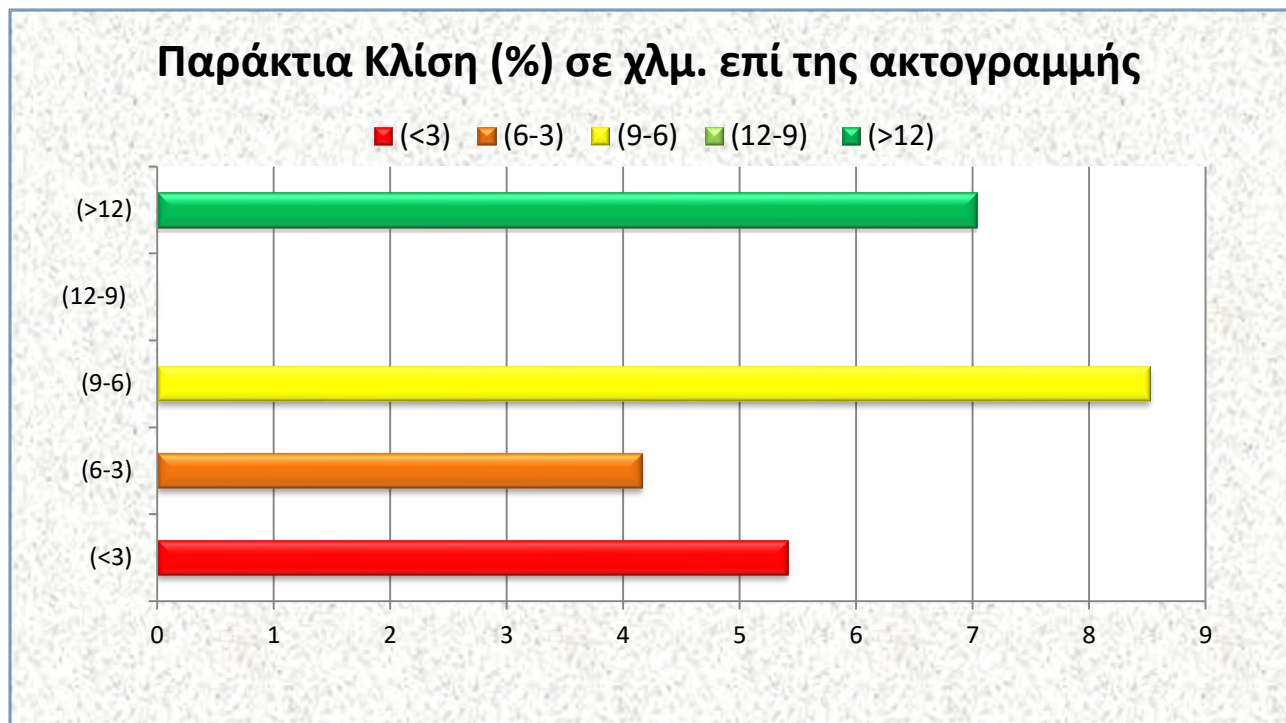
Ρυθμός Μεταβολής ακτογραμμής σε μέτρα/έτος		
Βαθμός Τρωτότητας	Μήκος ακτογραμμής σε χλμ.	Ποσοστό (%)
Πολύ Χαμηλή	5,838	23,24
Χαμηλή	1,888	7,52
Μέτρια	8,647	34,42
Υψηλή	5,283	21,03
Πολύ Υψηλή	3,465	13,79

10.3 Παράκτια Κλίση



Χάρτης 8: Ταξινόμηση της τρωτότητας της ακτογραμμής ως προς τη παράμετρο της παράκτιας κλίσης.

Η παράκτια κλίση της περιοχής παίζει σημαντικό ρόλο στην εκτίμηση του μεγέθους της τρωτότητας που παρουσιάζεται έναντι της μεταβολής της θαλάσσιας στάθμης. Περιοχές ήπιας τοπογραφίας και χαμηλής μορφολογικής κλίσης διατρέχουν σαφώς μεγαλύτερο κίνδυνο. Τέτοιου τύπου είναι και η περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας η οποία ως ποτάμιο δέλτα θεωρείται υψηλής τρωτότητας. Παρακάτω παρατίθεται πίνακας με διάγραμμα στα οποία φαίνεται αναλυτικά η κατηγοριοποίηση των κλίσεων που απαντώνται στην ακτογραμμή του δέλτα. Μεγάλο μέρος της ακτογραμμής κατατάσσεται στις κατηγορίες τρία (3) και πέντε(5), δηλαδή μέτριας και πολύ υψηλής τρωτότητας.

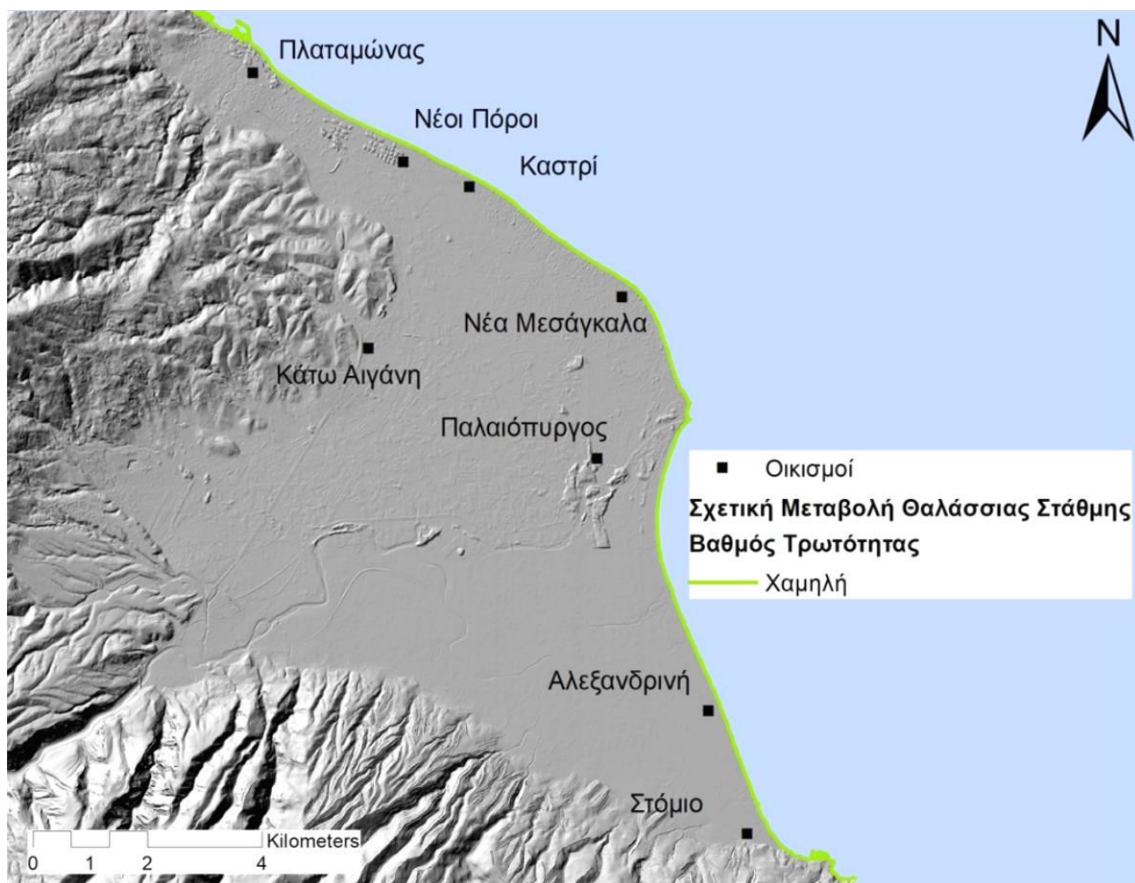


Διάγραμμα 7: Ταξινόμηση της τρωτότητας της ακτογραμμής ως προς τη παράμετρο της παράκτιας κλίσης.

Πίνακας 11: Ταξινόμηση της τρωτότητας της ακτογραμμής ως προς τη παράμετρο της παράκτιας κλίσης.

Παράκτια κλίση (%)		
Βαθμός Τρωτότητας	Μήκος ακτογραμμής σε χλμ.	Ποσοστό (%)
Πολύ Χαμηλή	7,030	27,99
Μέτρια	8,520	33,92
Υψηλή	4,157	16,55
Πολύ Υψηλή	5,413	21,55

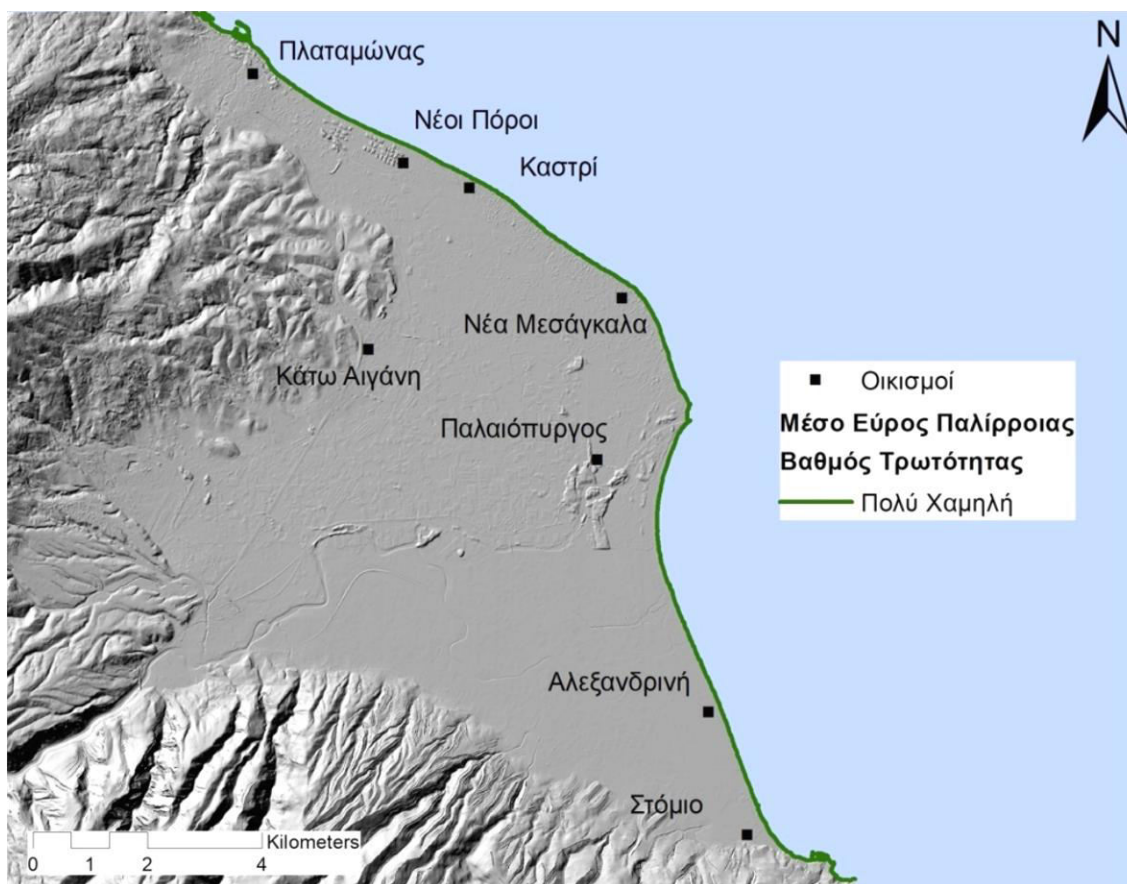
10.4 Σχετική Μεταβολή Θαλάσσιας στάθμης



Χάρτης 9: Ταξινόμηση της τρωτότητας της ακτογραμμής ως προς τη παράμετρο της σχετικής μεταβολής της θαλάσσιας στάθμης.

Η σχετική μεταβολή της στάθμης της θάλασσας διατηρείται ίδια σε όλο το μήκος της ακτογραμμής. Συνήθως δε παρατηρούνται εναλλαγές σε περιοχές μελέτης αυτού του εύρους. Η τιμή που δόθηκε στη συγκεκριμένη παράμετρο είναι δύο (2), δηλαδή πρόκειται για περιοχή χαμηλής τρωτότητας όσον αφορά τη σχετική μεταβολή της στάθμης της θάλασσας. Η άνοδος τοποθετείται στη κατηγορία 1,8-2,5 χιλιοστά/έτος, η οποία αποτελεί την μέση άνοδο της θαλάσσιας στάθμης (παγκοσμίως) λόγω ευστατισμού για τη περίοδο 1850-1950 (Gaki-Papanastassiou et al, 2010).

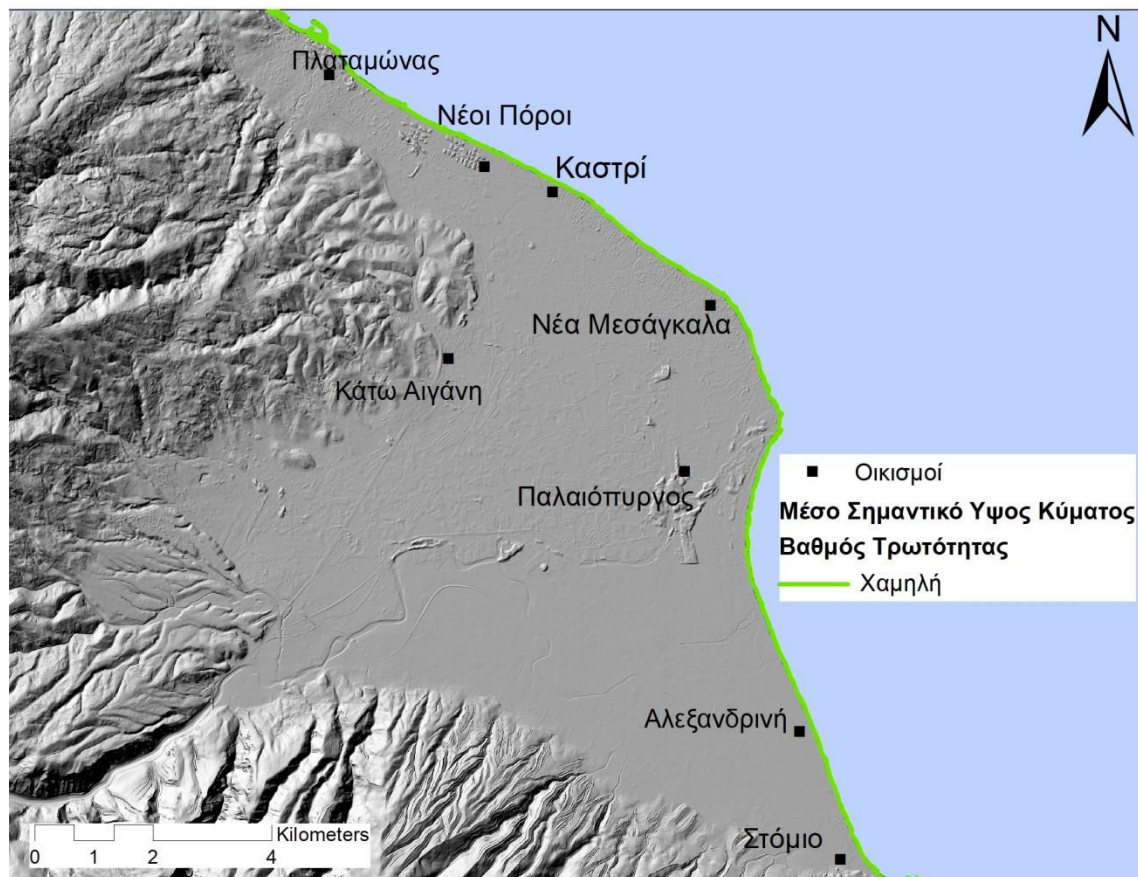
10.5 Μέσο Εύρος παλίρροιας



Χάρτης 10: Ταξινόμηση της τρωτότητας της ακτογραμμής ως προς τη παράμετρο του μέσου εύρους παλίρροιας.

Το μέσο εύρος παλίρροιας είναι κοινό για το σύνολο της περιοχής μελέτης. Συνήθως δε παρατηρούνται διαφοροποιήσεις σε περιοχές τόσο περιορισμένης έκτασης. Οι τιμές του μέσου παλιρροιακού εύρους που χρησιμοποιήθηκαν, σύμφωνα με τον Tsimplis (1994), περιγράφουν κατά βάση τη μετεωρολογική παλίρροια καθώς η αστρονομική παλίρροια έχει ιδιαίτερα μικρές στον ελληνικό χώρο. Συνεπώς, προκύπτει πως η περιοχή των εκβολών του Πηνειού ποταμού εμφανίζει πολύ χαμηλή τρωτότητα ως προς τον παράγοντα του μέσου παλιρροιακού εύρους. Το σύνολο του μήκους της ακτογραμμής αναπαρίσταται με σκούρο πράσινο το οποίο αντιστοιχεί στη τιμή ένα (1).

10.6 Μέσο σημαντικό ύψος κύματος



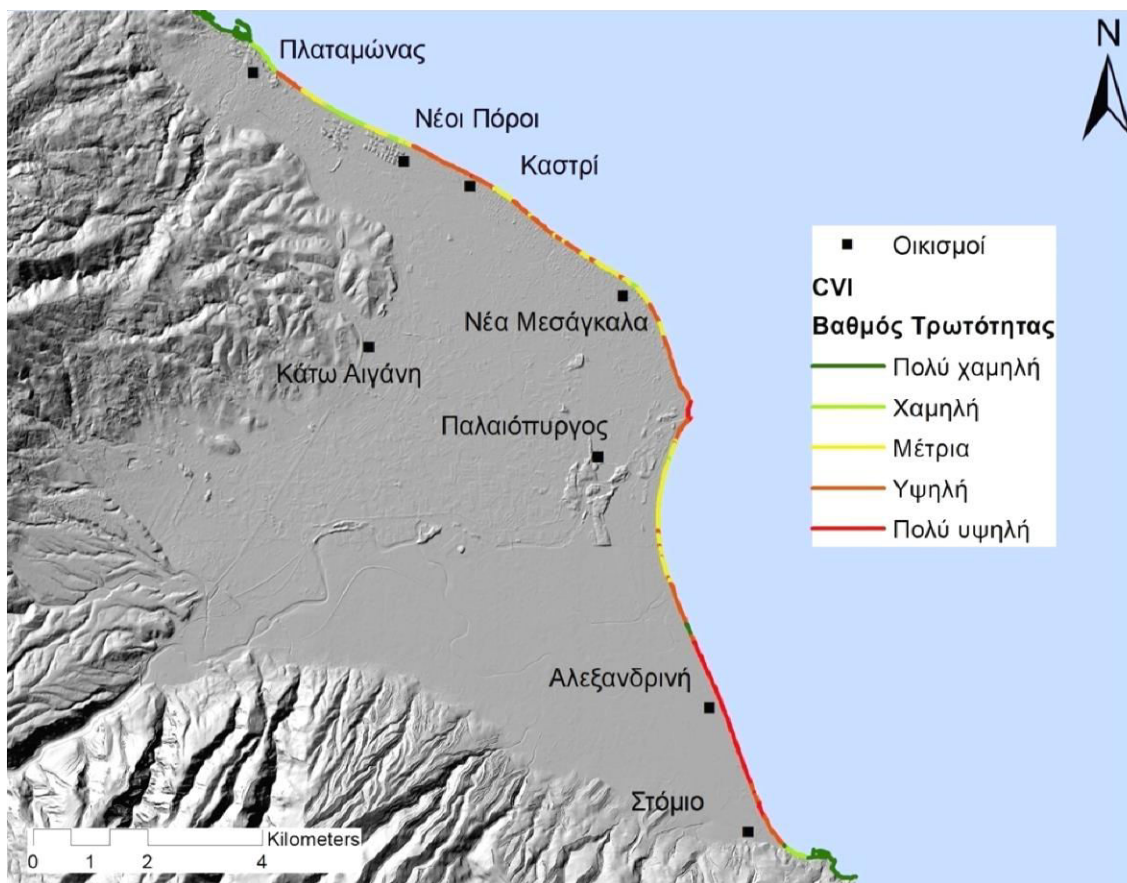
Χάρτης 11: Ταξινόμηση της τρωτότητας της ακτογραμμής ως προς τη παράμετρο του μέσου σημαντικού ύψους κύματος.

Το μέσο ύψος κύματος επίσης παρουσιάζει ενιαία τιμή σε όλο το μήκος της ακτογραμμής. Σύμφωνα με τον «Άτλαντα Ανέμου και Κύματος των Ελληνικών Θαλασσών» του ΕΛ.Κ.Θ.Ε, το μέσο ύψος κύματος ανέρχεται στα 0,4-0,5 μέτρα για τη περιοχή μελέτης. Το μέγεθος αυτό αντιστοιχεί στη κατηγορία δύο (2) του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας. Κλειστές θάλασσες όπως το αιγαίο πέλαγος εμφανίζουν σχετικά μικρότερες τιμές από αυτές που συναντώνται σε ανοιχτές θάλασσες. Η ακτογραμμή αναπαρίσταται με το ανοικτό πράσινο που αντιστοιχεί στην κατηγορία δύο (2).

10.7 Δείκτης Παράκτιας Τρωτότητας (CVI)

Στον παρακάτω χάρτη απεικονίζεται η τρωτότητα της παράκτιας περιοχής του δέλτα στη κλιματική αλλαγή. Το τελικό αποτέλεσμα προήλθε από την εφαρμογή του τύπου υπολογισμού του δείκτη παράκτιας τρωτότητας. Για τον υπολογισμό, ο οποίος έγινε με τη χρήση εργαλείου «Raster Calculator», χρειάστηκε να μετατραπούν τα διανυσματικά δεδομένα των ακτογραμμών σε ψηφιδωτά. Συνεπώς, η τελική ακτογραμμή που φέρει τα δεδομένα για την απεικόνιση του δείκτη μετατράπηκε και πάλι σε διανυσματική.

Η ανάγνωση του χάρτη δηλώνει πως το μεγαλύτερο τμήμα της ακτογραμμής παρουσιάζει μέτρια έως πολύ υψηλή τρωτότητα. Οι περιοχές που δε δείχνουν να απειλούνται τόσο είναι τα άκρα του δέλτα, στο ΒΔ και ΝΑ μέρος του. Σε εκείνες τις περιοχές συναντώνται και κάποια τεχνητά λιμάνια τα οποία μειώνουν το ρυθμό απόθεσης και απομάκρυνσης υλικού καθώς και παράκτιες αμμόδεις θίνες που θεωρείται ότι προστατεύουν την ακτή.



Χάρτης 12: Ταξινόμηση της τρωτότητας της ακτογραμμής μετά την εφαρμογή του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας (CVI).



Διάγραμμα 8: Ταξινόμηση της τρωτότητας της ακτογραμμής μετά την εφαρμογή του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας (CVI).

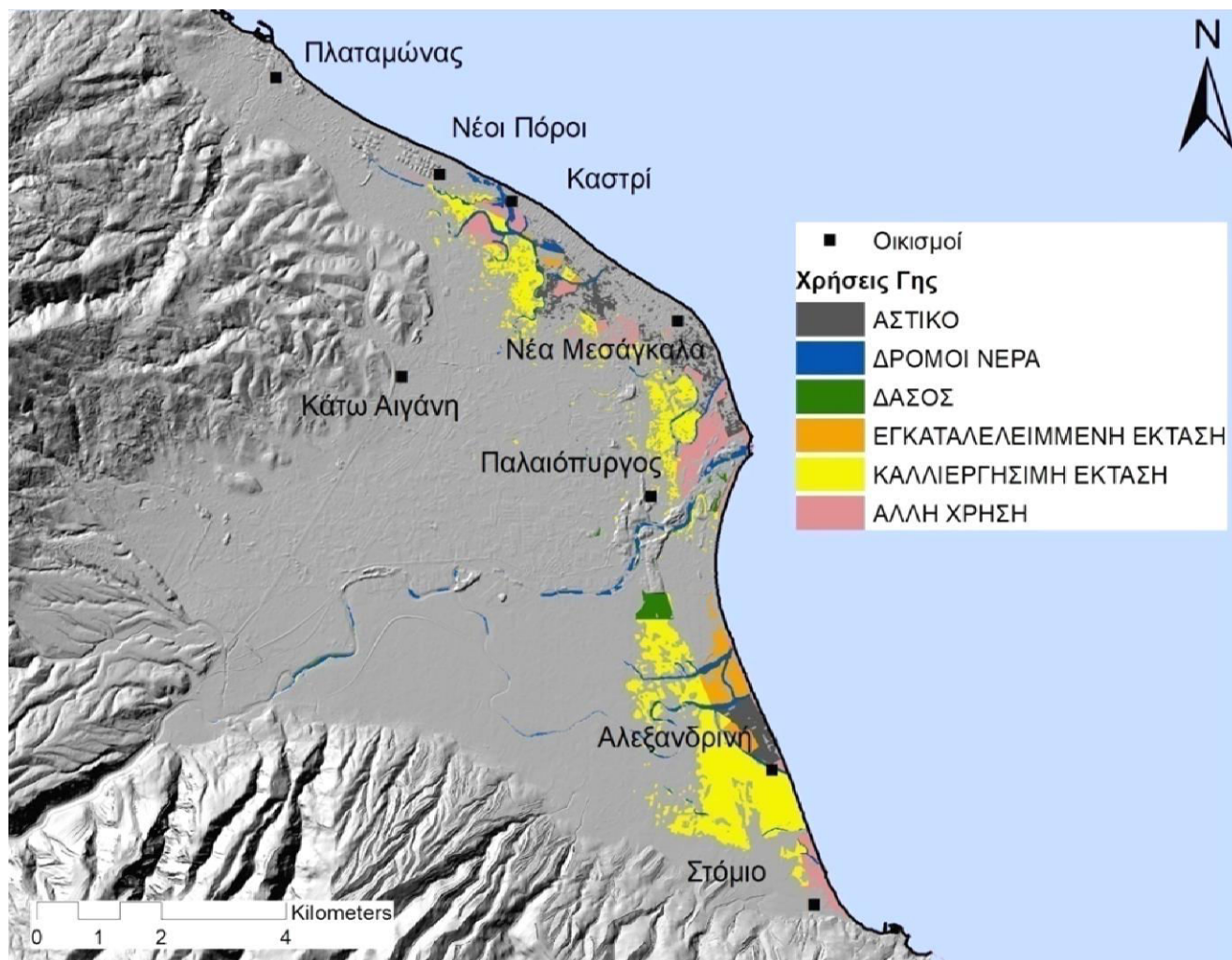
Πίνακας 12: Ταξινόμηση της τρωτότητας της ακτογραμμής μετά την εφαρμογή του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας (CVI).

Δείκτης Παράκτιας Τρωτότητας		
Βαθμός Τρωτότητας	Μήκος Ακτογραμμής σε χλμ.	Ποσοστό (%)
Πολύ Χαμηλή	6,058	24,12
Χαμηλή	2,409	9,59
Μέτρια	5,534	22,03
Υψηλή	7,672	30,54
Πολύ Υψηλή	3,447	13,72

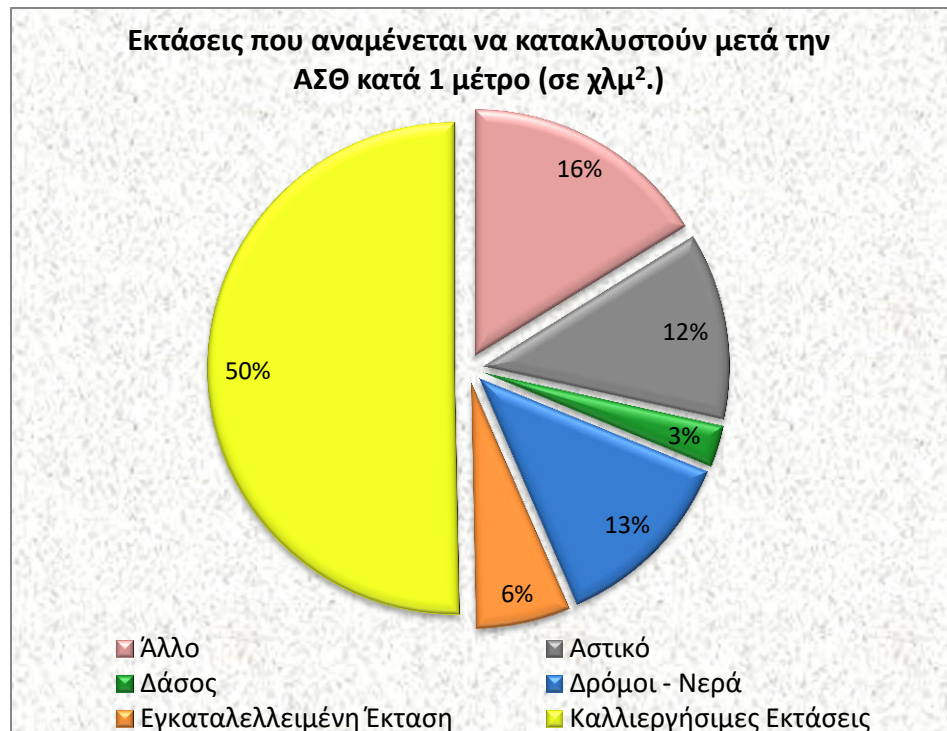
11. Απώλειες Χρήσεων γης με Σενάριο Ανόδου Μέσης Στάθμης Θάλασσας κατά ένα μέτρο

Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας αναμένεται να επηρεάσει σημαντικά της παράκτιες και νησιωτικές περιοχές οι οποίες είναι αρκετά ευάλωτες. Μια ενδεχόμενη άνοδος της στάθμης της θάλασσας θα οδηγήσει στην απώλεια γης και κατάκλιση περιοχών μεγάλης κοινωνικο-οικονομικής σημασίας. Το γεγονός αυτό δεν θα επηρεάσει μόνο τις παράκτιες ζώνες και την οικιστική ανάπτυξη, αλλά θα επηρεάσει και τα παράκτια οικοσυστήματα των υδροβιοτόπων. Σύμφωνα με την IPCC (2007) το 33% των υδροβιοτόπων μέχρι το 2080 θα μετατραπεί σε ανοιχτή θάλασσα. Χαμηλές παράκτιες πεδινές εκτάσεις θα πλημμυρίσουν ενώ έντονα θα είναι και τα διαβρωτικά φαινόμενα. Θα προκληθεί υποβάθμιση της ποιότητας του υδροφόρου ορίζοντα, λόγω της αυξημένης αλατότητας του νερού που θα εισέλθει, ενώ σε ποτάμια και λίμνες η εισχώρηση των θαλάσσιων υδάτων θα προκαλέσει επίσης σοβαρές επιπτώσεις στα οικοσυστήματα.

Οι χρήσεις γης αντλήθηκαν από το ILOTS του Ο.Π.Ε.Κ.Ε.Π.Ε (Οργανισμός Πληρωμών και Ελέγχου Κοινοτικών Ενισχύσεων Προσανατολισμού και Εγγυήσεων) το οποίο υπάγεται στο Υπουργείο Εσωτερικών και Διοικητικής Ανασυγκρότησης. Με τη προβολή του σεναρίου αυτού αναμένεται όπως προαναφέρθηκε να κατακλυστούν ορισμένες περιοχές του δέλτα. Με τη χρήση ΣΓΠ και συγκεκριμένα του ArcMap έγινε υπολογισμός και αναπαράσταση των περιοχών αυτών με τη βοήθεια του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους (DEM).



Χάρτης 13: Ζώνη κατάκλυσης ανά χρήση γης, μετά από ενδεχόμενη άνοδο της ΜΣΘ κατά 1 μέτρο.



Διάγραμμα 9: Έκταση περιοχών που αναμένεται να κατακλυσθούν (χλμ²), μετά από ενδεχόμενη άνοδο της ΜΣΘ κατά 1 μέτρο.

Πίνακας 13: Έκταση περιοχών που αναμένεται να κατακλυσθούν (χλμ²), μετά από ενδεχόμενη άνοδο της ΜΣΘ κατά 1 μέτρο.

Χρήση Γης	Έκταση σε χλμ ²	Ποσοστό (%)
Άλλη Χρήση	1,613	16,19
Αστικό	1,221	12,26
Δάσος	0,271	2,72
Δρόμοι – Νερά	1,230	12,35
Εγκαταλελειμμένη έκταση	0,614	6,16
Καλλιεργήσιμες εκτάσεις	5,011	50,31
Σύνολο	9,960	100

12. Συμπεράσματα

Μέσα από τη μελέτη του θεωρητικού υποβάθρου που πλαισιώνει τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των δεδομένων, γίνεται δυνατή η εξαγωγή κάποιων συμπερασμάτων σχετικά με τη περιοχή μελέτης. Όπως ειπώθηκε νωρίτερα οι δελταϊκοί σχηματισμοί αποτελούν ευαίσθητα και σχετικά ασταθή περιβάλλοντα έναντι της κλιματικής αλλαγής. Το γεγονός αυτό οφείλεται σε διάφορους παράγοντες μεταξύ των οποίων περιλαμβάνεται η μορφολογία, η σύσταση των εδαφών καθώς και η ανθρώπινη παρέμβαση. Η κλιματική αλλαγή είναι ένα υπαρκτό γεγονός το οποίο παρά τις προσπάθειες που γίνονται, είναι αμφίβολη η αντιστρεψιμότητα του, στο βαθμό που αφορά την ανθρώπινη παρέμβαση και όχι τη φυσική εξέλιξη και αλλαγή του κλίματος.

Κατά καιρούς έχουν προταθεί διάφορες μεθοδολογίες για την εκτίμηση της επικινδυνότητας και τρωτότητας των παράκτιων περιοχών σε κλίμακα χωρών, περιφερειών αλλά και μικρών περιοχών ιδιαίτερης φυσικο-γεωγραφικής, οικολογικής και κοινωνικο-οικονομικής σημασίας, με σκοπό την εκτίμηση των επιπτώσεων από την άνοδο της ΜΣΘ λόγω της κλιματικής αλλαγής. Μέσω της εκτίμησης αυτής, καθίσταται δυνατή η λήψη μέτρων σχετικών με την πρόληψη των ζημιών που ενδέχεται να προκληθούν. Η εφαρμογή των δεικτών αυτών σε εθνική κλίμακα βοηθά τον προκαταρκτικό εντοπισμό των επικινδύνων και/ή τρωτών περιοχών. Το πρώτο αυτό βήμα προσδιορισμού των παράκτιων περιοχών που αναμένεται να αντιμετωπίσουν μεγαλύτερο πρόβλημα έχει ιδιαίτερη σημασία για τη χάραξη σχεδίων αντιμετώπισης του κινδύνου της ανόδου της θαλάσσιας στάθμης. Μετά την αρχική εκτίμηση των πλέον τρωτών ακτών, ο σχεδιασμός και προγραμματισμός εστιάζεται σε συγκεκριμένες περιοχές ιδιαίτερου κοινωνικο-οικονομικού και περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος για τη λεπτομερέστερη μελέτη τους (Δανδουλάκη κ.α. 2018.).

Σε αυτή τη μελέτη εφαρμόστηκε ο Δείκτης Παράκτιας Τρωτότητας (Coastal Vulnerability Index – CVI), ο οποίος αποτελεί ένα δυναμικό, απλό, αντικειμενικό και εύχρηστο μαθηματικό εργαλείο προσδιορισμού της παράκτιας επικινδυνότητας σε σχέση με τις μελλοντικές μεταβολές της στάθμης της θάλασσας. Η προσέγγιση αυτή συνδυάζει την ευαισθησία της παράκτιας ζώνης στις μεταβολές με τη φυσική της δυνατότητα να προσαρμόζεται στις μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες. Στην ουσία, πρόκειται για έναν δείκτη που σκιαγραφεί με ποιοτικό τρόπο την ευαισθησία ενός συστήματος σε μια ενδεχόμενη άνοδο της στάθμης της θάλασσας (Δουκάκης, 2005).

Η μελέτη και παρατήρηση των χαρτών και διαγραμμάτων που παρήχθησαν σε αυτή τη διπλωματική, μαρτυρούν την υψηλή τρωτότητα που παρουσιάζει η περιοχή μελέτης σε αρκετά σημεία της. Μέρος του βορείου τμήματος, η περιοχή των εκβολών και μεγάλο τμήμα της νοτιότερης περιοχής του δέλτα παρουσιάζουν την υψηλότερη τρωτότητα έναντι των κινδύνων που δύνανται να προκληθούν από τη κλιματική αλλαγή. Οι μεταβλητές του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας που φάνηκε να επηρεάζουν σημαντικότερα την εξέλιξη του δέλτα είναι η γεωμορφολογία, ο ρυθμός μεταβολής της ακτογραμμής και η παράκτια κλίση.

Επίσης, στο πλαίσιο της εργασίας πραγματοποιήθηκε και υπολογισμός της περιοχής που αναμένεται να κατακλυστεί μετά από άνοδο της μέσης στάθμης της θάλασσας κατά ένα (1) μέτρο. Το σενάριο αυτό είναι ένα από τα απαισιόδοξα σενάρια της IPCC, η οποία υπολογίζει περίπου 1,2 μέτρα (5th Assessment report, 2014). Λόγω της φύσης του γεωμορφολογικού σχηματισμού που μελετάμε, είναι θεμιτό να προστεθεί ένα ποσοστό ανύψωσης επιπλέον αν συνυπολογισθεί η βύθιση του εδάφους λόγω της συμπίκνωσης των χαλαρών υλικών που συνθέτουν το δέλτα. Το αποτέλεσμα ήταν πως μεγάλο μέρος της δελταϊκής πεδιάδας θα χαθεί με ποσοστό 50% καλλιεργήσιμων εκτάσεων. Μια τέτοια έκβαση είναι βέβαιο πως θα παίζει καταλυτικό ρόλο στην οικονομική και κοινωνική εξέλιξη της περιοχής. Μεγάλο ποσοστό των κατοίκων που απασχολούνται στον πρωτογενή τομέα θα πληγούν σημαντικά. Η μετεγκατάσταση κατοίκων θα είναι επίσης αναγκαία καθώς το 12% της έκτασης που θα χαθεί αφορά αστικό περιβάλλον (υποδομές κατοικίας ή εργασίας).

Βιβλιογραφία

Ελληνική:

- Αλεξόπουλος Δ. Ι., Ματιάτος Ι., Δίλαλος Σ., Βασιλάκης Εμμ., Παναγόπουλος Α., Γκιώνης Γ. Πούλος Σ.(2014), *Διερεύνηση της ανάπτυξης του φρεάτιου υδροφόρου ορίζοντα της λεκάνης του Δέλτα Πηνειού Θεσσαλίας, με το συνδυασμό γεωφυσικών και υδρογεωλογικών στοιχείων*, πρακτικά συνεδρίου από το 10^ο Διεθνές Γεωγραφικό Συνέδριο, 22-24 Οκτωβρίου, Α.Π.Θ, Θεσσαλονίκη.
- Βουβαλίδης Κ., *Μαθήματα Φυσικής Γεωγραφίας*, ηλεκτρονικό βιβλίο.
- Γεωργίου Α., (2017), Υπολογισμός της παράκτιας επικινδυνότητας της νήσου Θάσου μέσω της χρήσης Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, Διπλωματική Εργασία, Χαροκόπειο παν., Τμήμα Γεωγραφίας, Αθήνα.
- Δανδουλάκη Μ., Καρύμπαλης Ε., Σκορδίλη Σ., (2018), *Σύγχρονα θέματα φυσικών και ανθρωπογενών καταστροφών*, Εκδόσεις ΚΨΜ, Αθήνα, 2018.
- Καρύμπαλης Θ.Ε. (2010), Παράκτια Γεωμορφολογία, Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα 2010.
- Καρύμπαλης Θ.Ε., Παπαδόπουλος Α., Χαλκιάς Χ., (2014), *Η Γεωγραφία του Παράκτιου και Νησιωτικού Χώρου*, Εκδόσεις Σταμούλης, Αθήνα 2014.
- Κοκκώσης Χ., (2006), “Ολοκληρωμένη Διαχείριση Παράκτιων Ζωνών”.
- Μπανέλα Μ., (2015), “Ανάπτυξη εργαλειοθήκης σε περιβάλλον Γ.Σ.Π. για τον υπολογισμό του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας”, Μεταπτυχιακή Ερευνητική Διατριβή, Μ.Π.Σ., Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα.
- Ξύξη Μ. (2004), “Μελέτη της Παράκτιας Εμβалότητας από τις Κλιματικές Αλλαγές”. Διπλωματική Εργασία, Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Οικονόμου, Α., (2005), “Η Παράκτια Ζώνη του Δέλτα Πηνειού Ποταμού: Ανάπτυξη και Προστασία Περιβάλλοντος”, Τεχνικά Χρονικά επιστημ. Εκδ. ΤΕΕ, *τεύχος Ι-2*.
- Παπανικολάου Μ., Παπανικολάου Δ., Βασιλάκης Ε., (2011), “Μεταβολές της Στάθμης της θάλασσας και επιπτώσεις στις ακτές”.
- Σκαρβέλης Σ., (2005), “Οικονομικές επιπτώσεις της ανόδου της θαλάσσιας στάθμης λόγω κλιματικής αλλαγής”, Μεταπτυχιακή Ερευνητική Διατριβή.
- Σιάφακας Β., (2003), “Επιπτώσεις των κλιματικών αλλαγών στις παράκτιες ζώνες. Παράκτια επικινδυνότητα σε περιοχές της Κω”, Διπλωματική Εργασία, Ε.Μ.Π., ΣΑΤΜ–Τομέας Τοπογραφίας, Αθήνα.
- Τρυπιτσίδης Α. (2010), “Κλιματική Αλλαγή και Πολεοδομία: Η απειλή της αύξησης της στάθμης της θάλασσας στις παράκτιες πόλεις- casestudy του Ναυπλίου και της Κατερίνης”, διπλωματική εργασία, ΤΜΧΠΠΑ, Βόλος.

Ξενόγλωσση:

- Abuodha PA, Woodroffe CD, (2006), "Assessing vulnerability of coasts to climate change: A review of approaches and their application to the Australian coast", In : Woodroffe CD, Bruce E, Puotinen M, Furness RA (eds), GIS for the Coastal Zone: A selection of Papers from Coast GIS 2006, Australian National Centre for Ocean Resources and Security University of Wollongong, Wollongong, Australia.
- Allen JC, Komar PD, (2006), "Climate controls on US west coast erosion processes", Journal of Coastal Research 22 : 511-529.
- Cazenave A, Nerem R.S, (2004), "Present day sea-level change: observations and causes", Reviews of Geophysics 42, 3.
- Chen, J.L., Wilson, C.R. & Tapley, B.D. (2006). "Satellite gravity measurements confirm accelerated melting of Greenland ice sheet", Science, 313, 1958-1960.
- Chen J.L, Wilson C.R, Tapley BD, Blankenship D.D, Young D, (2008), "Antarctic regional ice loss rates from GRACE", Earth and Planetary Science Letters 266 : 140-148
- DeNicola, E., Subramaniam, P.R. (2014). "Environmental attitudes and political partisanship", Public Health, 128, 404-409.
- Dolan R. and Davis, R., (1994), "Coastal Storm Hazards", Journal of Coastal Research, Issue No. 12: COASTAL HAZARDS: PERCEPTION, SUSCEPTIBILITY AND MITIGATION, Published by: Coastal Education & Research Foundation, Inc.
- EUROSION, 2004, Living with coastal erosion in Europe: Sediment and Space for Sustainability, in: *Coastal erosion – Evaluation of the need for action*, Directorate General Environment, European Commission.
- Fenoglio-Marc L, (2001), "Analysis and representation of regional sea-level variability from altimetry and atmospheric-oceanic data", Geophysical Journal International 145 : 1-18.
- FitzGerald D.M., Fenster M.F, Argow B.A, Buynevich I.V, (2008), "Coastal impacts due to sea-level rise", Annual Review of Earth and Planetary Sciences 36 : 601-647.
- Gaki - Papanastasiou K., Karymbalis E, Poulos E.S., Seni A., Zouva C., (2010), Coastal vulnerability assessment to sea-level rise based on geomorphological and oceanographical parameters: the case of Argolikos Gulf, Peloponnese, Greece, *Hellenic Journal of Geosciences*, vol.45.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), (2007), "Climate Change 2007: The Physical
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), (2013), Synthesis report
- Kontogianni, A., Tourkolias, C., Skourtos, M., Papanikolaou, M.(2012). "Linking sea level rise damage and vulnerability assessment: the case of Greece". In: Young, S.S., Silvern, S.E. (Eds.), "International Perspectives on Global Environmental Change". InTech Publishing, 375–398.

- Lenton T.M., Held H., Kriegler E., Hall J.W., Lucht W., Rahmstorf S., Schellnhuber H.J. (2008). "Tipping elements in the Earth's climate system", *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105 1786–1793.
- Leuliette EW, Nerem RS, Mitchum GT, (2004), "Calibration of TOPEX/Poseidon and Jason altimeter data to construct a continuous record of mean sea-level change", *Marine Geodesy* 27(1&2) : 79-94.
- Loukas, A., (2009) "Surface water quantity and quality assessment in Pinios river, Thessaly, Greece", *Desalination*, pp. 266–273, www.elsevier.com/locate/desal
- Marcos, M., Tsimplis MN, (2008), "Coastal sea-level trends in Southern Europe. *Geophysical Journal International* 175
- Marcos, M., Tsimplis, M.N. and Shaw, A.G. 2009. Sea level extremes in southern Europe. *Journal of Geophysical Research: Oceans* (1978–2012), 114(C1).
- Matiatos I., Paraskevopoulou V., Dassenakis M., Alexopoulos J.D., Panagopoulos A., Lazogiannis K., Poulos S., Arampatzis G., Ghionis G., Kotsopoulos S., Botsou F., Teou X., Sakellari A., Diamantis V., (2014), *Groundwater flow regime and quality assessment of the alluvial aquifer in the deltaic environment of River Pinios (Thessaly)*, 10th International Hydrogeological Congress of Greece (in press).
- McInnes K., Walsh K., Hubbert G., Beer T., (2001), "Impact of Sea-level Rise and Storm Surges on a Coastal Community", *Natural Hazards* 30: 187–207, (2003), Kluwer Academic Publishers: Netherlands.
- Mengel M., Feldmann J., Levermann A. (2016), "Linear sea-level response to abrupt ocean warming of major West Antarctic ice basin". *Nature Climate Change*, 6(1), 71-74.
- Mimura N, (1999) Vulnerability of island countries in the south Pacific to sea-level rise and climate change, *Climate Research* 12 : 137-143.
- Pacheco J.M., Vasconcelos V.V, Santos F.C. (2014). "Climate change governance, cooperation and self-organization". *Phys. Life Rev.* 11, 573-586.
- Parcharidis I., Kourkouli P., Karymbalis E., Foumelis M., Karathanassi V. (2013). "Time series synthetic aperture radar interferometry for ground deformation monitoring over a small scale tectonically active deltaic environment (Mornos, Central Greece)". *Journal of Coastal Research*, 29(2), 325–338.
- Pendleton EA, Thieler ER, Williams SJ, (2010), "Importance of coastal change variables in determining vulnerability to sea- /lake –level change". *Journal of Coastal Research* 26 : 176-183.
- Pouloupoulos S.G. (2016). "Introduction to Environment and Development". In: Pouloupoulos S. G., Inglezakis V. J. (Eds.) "Environment and Development: Basic Principles, Human Activities, and Environmental Implications". Elsevier, 1-43.
- Rignot E., Bamber J.L., van der Broeke M.R., Davis C., Li Y., van de Berg W., vanMeijgaard E. (2008). "Recent Antarctic ice mass loss from radar interferometry and regional climate modeling". *Nature Geoscience* 1, 106-110.

- Rosenzweig C, Koroly D, Vicarelli M, Neofotis P, Wu Q, Casassa G, Menzel A, Root TL, Estrella N, Seguin B, Tryjanowski P, Liu C, Rawlins S, Imeson A, (2008), “Attributing physical and biological impacts to anthropogenic climate change”, *Nature* 453 : 353-357.
- Soukisian T., Hatzinaki M., Korres G., Papadopoulos A., Kallos G., Anadranitsakis E., (2007), *Wave and wind Atlas of the Hellenic Seas, Hellenic Centre for Marine Research Publ., 300 pp.*
- Stroeve, J., Holland, M.M., Meier, W., Scambos, T. & Serreze, M. (2007). "Arctic sea ice decline: faster than forecast". *Geophysical Research Letters* 34.
- Strohecker K, (2008), “World sea-levels to rise 1,5 m by 2100: scientists, an environmental news network and Reuters publications”, available online at : <http://www.enn.com/wildlife/article/34702>.
- Tsimplis MN, Baker TF, (2000), “Sea-level drop in the Mediterranean Sea: an indicator of deep water salinity and temperature changes”, *Geophysical Research Letters* 27, 12.
- Tsimplis MN, Josey S, (2001), “Forcing the Mediterranean Sea by atmospheric oscillations over the North Atlantic”, *Geophysical Research Letters*.
- Wu S, Yarnal B, Fisher A, (2002), “Vulnerability of coastal communities to sea-level rise: a case study of Cape May County”, New Jersey, USA, *Climate Research* 22 : 255-270.