



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ

ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ

**Εκτίμηση της τρωτότητας της ακτογραμμής του κόλπου του Μιραμπέλου-
ΒΑ Κρήτη**

Μεταπτυχιακή εργασία

Μαρία Καζαντζάκη

Αθήνα, 2022



HAROKOPIO UNIVERSITY

HAROKOPIO UNIVERSITY

DEPARTMENT OF GEOGRAPHY

POSTGRADUATE PROGRAMME APPLIED GEOGRAPHY AND
SPATIAL PLANNING

COURSE GEO-INFORMATICS

Shoreline vulnerability assessment of Mirabelo Gulf-NE Crete

Master Thesis

Maria Kazantzaki

Athens, 2022



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ

ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Δρ. Ευθύμιος Καρύμπαλης (Επιβλέπων)

Καθηγητής, Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Δρ. Ελένη Φιλιππάκη

**Ερευνήτρια Γ', Ινστιτούτο Νανοεπιστήμης και Νανοτεχνολογίας,
Εθνικό Κέντρο Έρευνας Φυσικών Επιστημών «Δημόκριτος»**

Δρ. Ισαάκ Παρχαρίδης

Καθηγητής, Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Η Μαρία Καζαντζάκη

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.
- 3)** Όπου υφίστανται δικαιώματα άλλων δημιουργών έχουν διασφαλιστεί όλες οι αναγκαίες άδειες χρήσης ενώ το αντίστοιχο υλικό είναι ευδιάκριτο στην υποβληθείσα εργασία.

Στην
Οικογένειά μου

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της παρούσας Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας, θεωρώ υποχρέωσή μου να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν στην επίτευξη των στόχων της εργασίας και στην περάτωσή της. Ειδικότερα ευχαριστώ θερμά:

Τον Καθηγητή του Χαροκόπειου Πανεπιστημίου Δρ. Ευθύμιο Καρύμπαλη, για τη διαρκή συμπαράστασή του, ως Επιβλέπων, κατά τη διάρκεια της εκπόνησής της και τον ευχαριστώ θερμά για την άψογη συνεργασία μας καθώς και για την καθοδήγηση, τις υποδείξεις και παρατηρήσεις του, με τις οποίες συνέβαλε ουσιαστικά στην παρουσίαση των αποτελεσμάτων της εργασίας.

Τα μέλη της Εξεταστικής Επιτροπής μου, Δρ. Ελένη Φιλιππάκη - Ερευνήτρια Γ' του Εθνικού Κέντρου Έρευνας Φυσικών Επιστημών «Δημόκριτος» και τον Καθηγητή του Χαροκόπειου Πανεπιστημίου Δρ. Ισαάκ Παρχαρίδη, για την τιμή που μου κάνουν να συμμετάσχουν στην εξέταση της Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας, για την καθοδήγηση και τη βοήθεια που μου πρόσφεραν κατά τη διάρκεια της υλοποίησής της και για τις όποιες παρατηρήσεις και υποδείξεις τους.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές του Χαροκόπειου Πανεπιστημίου που συνέβαλαν ουσιαστικά στη διεύρυνση των γνώσεών μου κατά τη διάρκεια των σπουδών μου καθώς και τον Δρ. Ιωάννη Μπασιάκο - Ερευνητή Α' του Εθνικού Κέντρου Έρευνας Φυσικών Επιστημών «Δημόκριτος» για το συμβουλευτικό του ρόλο και τον συνάδελφο Δρ. Ευάγγελο Τσάκαλο του Εργαστηρίου Φωταύγειας για τη συνεργασία και τη βοήθειά του σε θέματα που αφορούν στην ανάλυση των αποτελεσμάτων.

Πίνακας Περιεχομένων

Εισαγωγή	1
ΚΕΦ.1: Παράκτια ζώνη	5
1.1. Κατηγοριοποίηση της παράκτιας ζώνης	6
1.2. Η σημασία της παράκτιας ζώνης.....	7
1.3. Πιέσεις που υφίσταται η παράκτια ζώνη.....	9
ΚΕΦ.2: Παράκτια διάβρωση.....	11
2.1. Αιτίες παράκτιας διάβρωσης	13
2.2. Διάβρωση ευρωπαϊκών ακτών	14
2.2.1. Διάβρωση των ελληνικών ακτογραμμών.....	16
ΚΕΦ.3: Άνοδος της μέσης θαλάσσιας στάθμης	18
3.1. Μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης στη Μεσόγειο	20
3.1.1. Μεταβολή της ελληνικής ακτογραμμής λόγω ευστατικής ανόδου	22
ΚΕΦ.4: Εκτίμηση της παράκτιας επικινδυνότητας.....	27
4.1. Δείκτης Παράκτιας Τρωτότητας – Coastal Vulnerability Index (CVI)	28
ΚΕΦ.5: Περιοχή μελέτης.....	36
5.1. Μορφολογία και κλίμα	37
5.2. Η γεωλογική και παλαιογεωγραφική εξέλιξη τη Κρήτης	38
5.2.1. Η παλαιογεωγραφική εξέλιξη της Κρήτης	38
5.2.2. Η γεωλογική δομή της Κρήτης	43
5.2.3. Η γεωλογία της παράκτιας ζώνης του Κόλπου του Μιραμπέλου	47
5.2.4. Τεκτονικό καθεστώς της παράκτιας ζώνης του κόλπου του Μιραμπέλου.....	50
ΚΕΦ.6: Εκτίμηση του βαθμού επικινδυνότητας της παράκτιας ζώνης του κόλπου του Μιραμπέλου	53
6.1. Ανάπτυξη βάσης δεδομένων.....	54
6.1.1. Γεωλογία- Γεωμορφολογία	55
6.1.2. Παράκτια κλίση	58
6.1.3. Ρυθμός μεταβολής ακτογραμμής	61
6.1.4 Σχετική μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης	65
6.1.5 Μέσο Σημαντικό Ύψος Κύματος.....	67
6.1.6. Μέσο εύρος παλίρροιας	70
6.2. Υπολογισμός του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας - CVI	72
ΚΕΦ.7: Εκτίμηση απώλειας χρήσεων γης κατά μήκος της ακτογραμμής του κόλπου του Μιραμπέλου έπειτα από άνοδο της θαλάσσιας στάθμης κατά 0,5 m, 1 m και 2 m.	75
7.1. Χρήσεις γης κατά μήκος της παράκτιας ζώνης του κόλπου του Μιραμπέλου	75
7.2. Σενάρια ανόδου της θαλάσσιας στάθμης.....	76

7.2.1. Σενάριο 1: Εκτίμηση των εκτάσεων που αναμένεται να κατακλυσθούν έπειτα από άνοδο της θαλάσσιας στάθμης κατά 0,5 m.	77
7.2.2. Σενάριο 2: Εκτίμηση των εκτάσεων που αναμένεται να κατακλυσθούν έπειτα από άνοδο της θαλάσσιας στάθμης κατά 1 m.	79
7.2.3. Σενάριο 3: Εκτίμηση των εκτάσεων που αναμένεται να κατακλυσθούν έπειτα από την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης κατά 2 m.	81
ΚΕΦ.8: Μέτρα προστασίας των ακτών από τη διάβρωση	85
8.1. Ήπιες μέθοδοι προστασίας των ακτών	85
8.2. Βαρέας μορφής έργα προστασίας των ακτών	87
ΚΕΦ.9: Ολοκληρωμένη διαχείριση παράκτιων ζωνών	93
Συμπεράσματα	96
Βιβλιογραφικές αναφορές	99

Περίληψη στα Ελληνικά

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση της παράκτιας επικινδυνότητας του κόλπου του Μιραμπέλου-ΒΑ Κρήτη στην άνοδο της μέσης θαλάσσιας στάθμης λόγω κλιματικής αλλαγής. Για τον σκοπό αυτό, έγινε ο υπολογισμός του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας-CVI, αξιοποιώντας δεδομένα από τον γεωλογικό χάρτη της περιοχής μελέτης, το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM), τη σχετική μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης, αεροφωτογραφίες για την εκτίμηση του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής, τον Άτλαντα Ανέμου και Κύματος των Ελληνικών Θαλασσών-Σύστημα Ποσειδών καθώς και δεδομένα για το μέσο εύρος παλίρροιας.

Όλες οι μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του δείκτη CVI επεξεργάστηκαν με το λογισμικό ArcGIS 10.5 και δημιουργήθηκε μία βάση δεδομένων στην οποία καταγράφηκε η τιμή των επιμέρους παραμέτρων που ορίζουν τα χαρακτηριστικά της ακτογραμμής του κόλπου του Μιραμπέλου. Η απεικόνιση των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε μέσω του ArcMap, όπου όλες οι μεταβλητές του CVI προβλήθηκαν επάνω στην ακτογραμμή, έχοντας την αντίστοιχη διαβάθμιση ως προς την τρωτότά τους στους παράκτιους κινδύνους.

Επιπλέον, έγινε εκτίμηση των επιπτώσεων από ενδεχόμενη μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης μελετώντας 3 διαφορετικά σενάρια ανόδου -κατά 0,5 m, 1 m και 2 m, με βασικό κριτήριο την τοπογραφία της ευρύτερης περιοχής του κόλπου αλλά και τις χρήσεις γης που υφίστανται στην περιοχή. Τα αποτελέσματα της έρευνας κατέδειξαν ότι το τμήμα της ακτογραμμής που εμφανίζει τον υψηλότερο βαθμό επικινδυνότητας ανέρχεται σε 7,8 km, ενώ τμήμα μήκους 13,33 km εμφανίζει μέτριο βαθμό επικινδυνότητας. Επιπλέον, η συνολική απώλεια χρήσεων γης έπειτα από άνοδο της θαλάσσιας στάθμης κατά 0,5 m, 1 m και 2 m ανέρχεται σε 93 km², 102 km², 137 km² αντίστοιχα, γεγονός το οποίο αναμένεται να οδηγήσει σε άμεσες επιπτώσεις τόσο στο φυσικό περιβάλλον όσο και στις κοινωνικο-οικονομικές δραστηριότητες που φιλοξενεί η περιοχή.

Λέξεις κλειδιά: Παράκτια επικινδυνότητα, Δείκτης Παράκτιας Τρωτότητας, Άνοδος θαλάσσιας στάθμης, Κρήτη, Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών

Abstract

Purpose of this research dissertation is to investigate the vulnerability of the Mirabello Gulf (NE Crete) due to sea level rise. In this regard, the Coastal Vulnerability Index (CVI) was calculated, using data from geological maps, past relative sea level fluctuations, mean tide range, aerial photographs, the Digital Elevation Model (DEM) as well as the wind and wave Atlas for the hellenic seas-Poseidon System.

The ArcGIS 10.5 software was used to calculate the CVI index. A database consequently was created containing a risk value for each data variable. The vulnerability index along the coastline was presented using the ArcMap.

Furthermore, for the study area an impact assessment was performed, based on three different sea level rise scenarios (0.5 m, 1 m and 2 m) using as main criterion the topography of the area and land use. The research results revealed that 7,8 km of the coastal zone of Mirabello Gulf experience high vulnerability while 13,33 km of the coastal zone is classified as of “moderate” vulnerability. In addition, a total land of 95 km², 102 km² and 137 km² will be flooded in the case of 0.5 m, 1 m and 2 m sea level rise respectively, something that will exacerbate the already existing environmental and socio-economic impacts.

Keywords: Coastal vulnerability, CVI, Sea level rise, Crete, ArcGIS

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Η μεταβολή της μέσης παγκόσμιας θαλάσσιας στάθμης από το 2000 έως σήμερα και η εκτιμώμενη άνοδός της έως το 2300 (Orpenheimer et al., 2019).	1
Εικόνα 2: Διάβρωση των ελληνικών ακτών λόγω ανόδου της θαλάσσιας στάθμης. Με πορτοκαλί χρώμα εμφανίζονται οι παραλίες της Ελλάδας που έχει υπολογιστεί η διάβρωση που έχουν υποστεί (τροποποιημένο από: Πούλος και Καρδισιά, 2017, Alexandrakis et al., 2013).....	3
Εικόνα 3:Παράκτια ζώνη (τροποποιημένο από Christopherson and Thomsen, 2015).	5
Εικόνα 4: Σχηματική απεικόνιση της παράκτιας ζώνης βάσει των μορφολογικών χαρακτηριστικών της και των κυματικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα σε αυτή (Καρύμπαλης, 2010).....	6
Εικόνα 5: Απεικόνιση του πληθυσμού, εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης, που κατοικεί εντός 50 km από την ακτογραμμή κατά το έτος 2001 (Πηγή: Eurostat, 2011).	8
Εικόνα 6: Επιπτώσεις των ανθρώπινων παρεμβάσεων στην παράκτια ζώνη (He and Silliman, 2019).....	9
Εικόνα 7: Επιπτώσεις από εκτιμώμενη μελλοντική άνοδο της μέσης θαλάσσιας στάθμης στη Venice Beach της Καλιφόρνια (Courtesy Climate Central).	10
Εικόνα 8: Παράκτια διάβρωση η οποία επέρχεται από φυσικά αίτια, όπως άνοδο της θαλάσσιας στάθμης –αριστερή εικόνα (Pettit, 2019) και πλημμυρικά φαινόμενα-δεξιά εικόνα (Hannam, 2016).....	13
Εικόνα 9: Ανθρώπινες παρεμβάσεις στην παράκτια ζώνη (https://www.agriniculture.gr/ , http://greenagenda.gr/).....	14
Εικόνα 10: Χάρτης με το καθεστώς διάβρωσης που επικρατεί στις ευρωπαϊκές ακτογραμμές (τροποποιημένο από: http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/coastal-erosion-patterns-in-europe-1 ; Eurosion, 2004b)	15
Εικόνα 11: Χάρτης κατηγοριοποίησης των ελληνικών ακτογραμμών βάσει των ακτών που έχουν υποστεί διάβρωση, πρόσχωση και καμία επίδραση (τροποποιημένο από Alexandrakis et al., 2013).....	17
Εικόνα 12: Ευστατική καμπύλη για τα τελευταία 450.000 χρόνια (Άνω Πλειστόκαινο-Ολόκαινο) όπου έλαβαν χώρα οι τέσσερις πρόσφατοι κύκλοι παγετωδών-μεσοπαγετωδών περιόδων (Peron, 2009).	18
Εικόνα 13: Μεταβολή της παγκόσμιας θαλάσσιας στάθμης κατά τη χρονική περίοδο 2000 έως σήμερα και πρόβλεψη της μελλοντικής θαλάσσιας στάθμης έως το 2300 (Orpenheimer et al., 2019).....	19
Εικόνα 14: Άνοδος της θαλάσσιας στάθμης κατά τη διάρκεια του Ολοκαίνου (Lambeck and Bard, 2000; Sivan et al., 2001).....	20
Εικόνα 15: Ευστατικές μεταβολές στη Μεσόγειο για την περίοδο 1999-2006 (πηγή: https://www.grida.no/resources/5892).	22
Εικόνα 16: Παράκτια επικινδυνότητα των ακτογραμμών του Αιγαίου για μια ενδεχόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης μεγαλύτερης των 3.5 mm/y (Αλεξανδράκης, 2009).....	23
Εικόνα 17: Περιοχή μελέτης.....	36
Εικόνα 18: Τοπογραφικός χάρτης της Κρήτης (https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Crete_topo.png&oldid=596100838)	37
Εικόνα 19: Ο ελλαδικός χώρος κατά τη διάρκεια του Ανώτερου Μειοκαίνου(https://biogeographybiol313.weebly.com/uploads/2/2/1/5/22154302/05-trichas.pdf).	39

Εικόνα 20: Ο ελλαδικός χώρος κατά τη διάρκεια του Πλειοκαίνου (https://biogeographybiol313.weebly.com/uploads/2/2/1/5/22154302/05-trichas.pdf).....	41
Εικόνα 21: Ο ελλαδικός χώρος κατά τη διάρκεια του Πλειστοκαίνου (https://biogeographybiol313.weebly.com/uploads/2/2/1/5/22154302/05-trichas.pdf).....	42
Εικόνα 22: Τεκτονικά καλύμματα της Κρήτης (Μοιραλιώτης, 2012).	45
Εικόνα 23: Γεωλογικός χάρτης της Κρήτης: (a) Μέλαμπες, (b) Καμάρες-Μαγκαρικάρι, (c) Καλοί Λιμένες-Λέντας, (d) Πετροκεφάλι-Κουσές, (e) Ανώγεια-Γωνιές (f) Όρος Δίκη (Πεύκος-Καλάμι- Συκολόγος), (g) Κριτσά, (h) Καλό Χωριό-Παχειά Άμμος (τροποποιημένο από Creutzburg and Seidel, 1975).	46
Εικόνα 24: Γεωλογικός χάρτης με την περιοχή μελέτης – παράκτια ζώνη του κόλπου του Μιραμπέλου (τροποποιημένο από http://www.apdkritis.gov.gr/).....	48
Εικόνα 25: Τα ρήγματα της Κρήτης (https://www.tovima.gr/2021/10/06/society/kriti-poia-einai-ta-pio-epikindyna-rigmata-apokalyptikoi-xartes/).....	51
Εικόνα 26: Γεωμορφολογικός χάρτης του κόλπου του Μιραμπέλου.....	55
Εικόνα 27: Χάρτης παράκτιας επικινδυνότητας – Γεωμορφολογία.	57
Εικόνα 28: Χάρτης ψηφιακού μοντέλου εδάφους της παράκτιας ζώνης του κόλπου του Μιραμπέλου.....	59
Εικόνα 29: Χάρτης παράκτιας επικινδυνότητας – Παράκτια κλίση.....	60
Εικόνα 30: Χάρτης απεικόνισης των ψηφιοποιημένων ακτογραμμών των ετών 1945 και 2018 μέσω του ArcGis.	62
Εικόνα 31: Υπολογισμός του ρυθμού προέλασης/διάβρωσης της ακτογραμμής του κόλπου του Μιραμπέλου μέσω του “Digital Shoreline Analysis System – DSAS” στο λογισμικό ArcGIS.....	63
Εικόνα 32: Χάρτης παράκτιας επικινδυνότητας – Προέλαση/υποχώρηση ακτογραμμής.....	64
Εικόνα 33: Χάρτης απεικόνισης των ενεργών ρηγμάτων στον ελλαδικό χώρο (Pavlidis et al., 2007).....	66
Εικόνα 34: Χάρτης παράκτιας επικινδυνότητας – Σχετική μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης... 67	
Εικόνα 35: Χάρτης απεικόνισης του μέσου σημαντικού ύψους κύματος για τον ελλαδικό χώρο.(Πηγή: Άτλαντας ανέμου και κύματος των Ελληνικών θαλασσών).	68
Εικόνα 36: Χάρτης παράκτιας επικινδυνότητας – Μέσο σημαντικό ύψος κύματος.	69
Εικόνα 37: Χάρτης ημερήσιου παλιρροιακού εύρους (πηγή: http:// www.poseidon.hcmr.gr / sealevel_forecast).	71
Εικόνα 38: Χάρτης παράκτιας επικινδυνότητας – Μέσο εύρος παλίρροιας.	72
Εικόνα 39: Ταξινόμηση της ακτογραμμής του κόλπου του Μιραμπέλου ως προς την παράκτια επικινδυνότητα εφαρμόζοντας τον Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας (CVI).	73
Εικόνα 40: Χρήσεις γης που απαντώνται στην παράκτια ζώνη του κόλπου του Μιραμπέλου (https://geodata.gov.gr/dataset/corine-2000).	76
Εικόνα 41: Ζώνη κατάκλυσης ανά χρήση γης, έπειτα από άνοδο της θαλάσσιας στάθμης κατά 0,5 m.....	78
Εικόνα 42: Ζώνη κατάκλυσης ανά χρήση γης, έπειτα από άνοδο της θαλάσσιας στάθμης κατά 1 m.....	80
Εικόνα 43: Ζώνη κατάκλυσης ανά χρήση γης, έπειτα από άνοδο της θαλάσσιας στάθμης κατά 2 m.....	82
Εικόνα 44: Τεχνητή αναπλήρωση της ακτής με άμμο στα περίχωρα της Μελβούρνης στην Αυστραλία (Καρύμπαλης, 2010).	86
Εικόνα 45: Κατασκευή κυματοθραύστη στο λιμάνι της πόλης Colombo, Sri Lanka (πηγή: http://english.scio.gov.cn/m/in-depth/2019-01/24/content_74404601_3.htm).	88
Εικόνα 46: Βυθιζόμενοι κυματοθραύστες (Κουτσουβέλα, 2010).....	89

Εικόνα 47: Πλωτοί κυματοθραύστες (πηγή: http://www.coastalwiki.org/wiki/Floating_breakwaters).	90
Εικόνα 48: Κατασκευή προβόλων στην παραλία της Indianola, United States (πηγή: https://www.cbi.tamucc.edu/CHRGIS/Indianola-Beach/)	91
Εικόνα 49: Τοίχος προστασίας της ακτής στο Brighton Beach, Melbourne (πηγή: https://www.abc.net.au/news/2020-01-08/bluestone-seawall-at-brighton-beach-in-melbourne-2009-1/11799148?nw=0).....	92

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Διεργασίες που καθορίζουν το ισοζύγιο των ιζημάτων του παράκτιου χώρου (Καρύμπαλης, 2010).....	12
Πίνακας 2: Εκτίμηση του ποσοστού των ακτογραμμών που θα βρίσκονται υπό καθεστώς διάβρωσης κατά την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης (EUROSION, 2004).....	26
Πίνακας 3: Δείκτες εκτίμησης της παράκτιας τρωτότητας από ενδεχόμενη μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης (Abuodha και Woodroffe, 2006).....	29
Πίνακας 4: Κατάταξη των ακτών σε κατηγορίες τρωτότητας (από πολύ χαμηλής έως πολύ υψηλής) για κάθε έναν από τους παράγοντες – μεταβλητές που λαμβάνει υπόψη ο Δείκτης Παράκτιας Τρωτότητας -CVI (Karymbalis et al., 2012).....	34
Πίνακας 5: Κατάταξη των ακτών σε κατηγορίες τρωτότητας (από πολύ χαμηλής έως πολύ υψηλής) για κάθε έναν από τους παράγοντες – μεταβλητές που λαμβάνει υπόψη ο Δείκτης Παράκτιας Τρωτότητας -CVI (Karymbalis et al., 2012).....	54
Πίνακας 6: Εκτάσεις, ανά χρήση γης, που αναμένεται να κατακλυσθούν από αναμενόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης κατά 0.5 m (km ²).	79
Πίνακας 8: Εκτάσεις, ανά χρήση γης, που αναμένεται να κατακλυσθούν από αναμενόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης κατά 1 m (km ²).	81
Πίνακας 9: Εκτάσεις, ανά χρήση γης, που αναμένεται να κατακλυσθούν από αναμενόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης κατά 2 m (km ²).	83

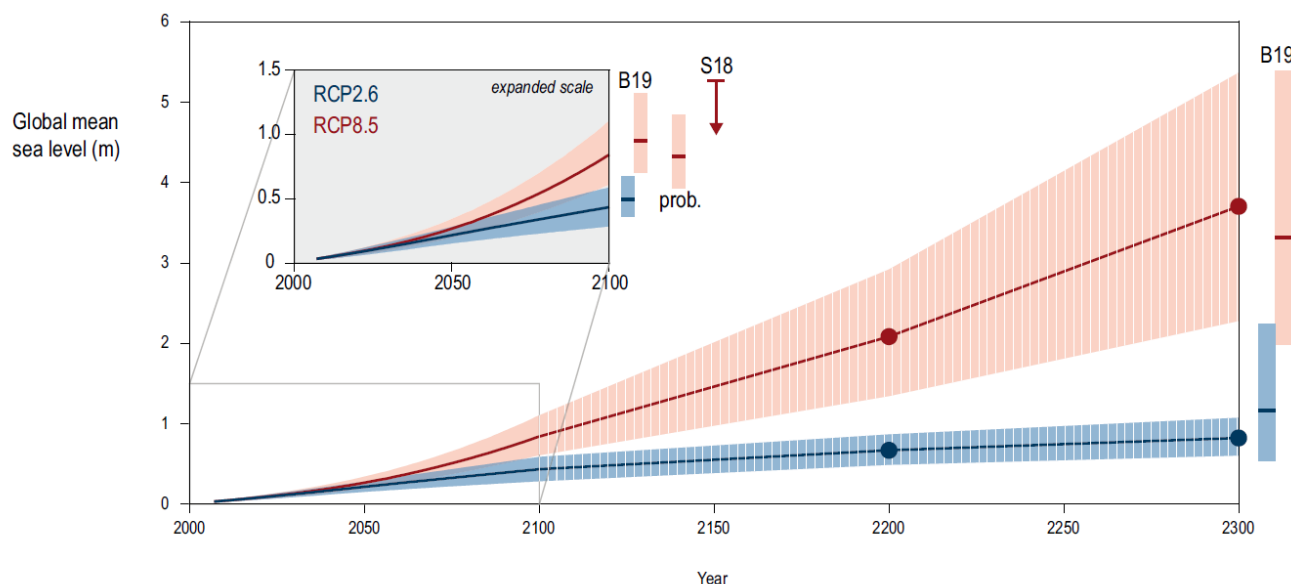
Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Βαθμός παράκτιας επικινδυνότητας της γεωμορφολογίας συναρτήσει του μήκους της ακτογραμμής.....	58
Διάγραμμα 2: Βαθμός επικινδυνότητας της παράκτιας κλίσης συναρτήσει του μήκους της ακτογραμμής.....	61
Διάγραμμα 3: Βαθμός παράκτιας επικινδυνότητας του κόλπου του Μιραμπέλου για την παράμετρο του ρυθμού προέλασης/υποχώρησης συναρτήσει του μήκους της ακτογραμμής..	65
Διάγραμμα 4: Βαθμός παράκτιας επικινδυνότητας του κόλπου του Μιραμπέλου συναρτήσει του μήκους της ακτογραμμής του.	74
Διάγραμμα 5: Έκταση (km ²), ανά χρήση γης, που αναμένεται να κατακλυσθεί για κάθε σενάριο ανόδου της θαλάσσιας στάθμης.....	84

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι παράκτιες ζώνες θεωρούνται από τα πιο ευμετάβλητα φυσικά συστήματα γεωμορφών, η διαχρονική εξέλιξη και διαμόρφωση των οποίων επηρεάζονται από μία σειρά παραγόντων όπως ο κυματισμός, οι παλίρροιες, οι αιολικές διεργασίες, ο ευστατισμός, οι κατακόρυφες τεκτονικές και ισοστατικές κινήσεις και η ιζηματογένεση. Τις τελευταίες δεκαετίες, έχει απασχολήσει ιδιαίτερα τους επιστήμονες το φαινόμενο ανόδου της θαλάσσιας στάθμης ως αποτέλεσμα της κλιματικής αλλαγής.

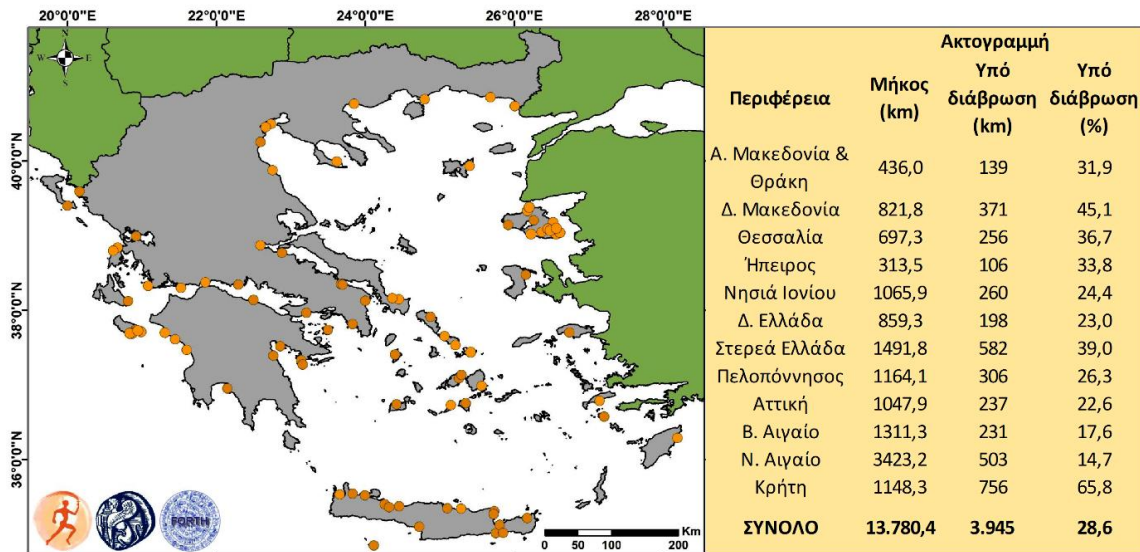
Ο ρυθμός ανόδου της μέσης παγκόσμιας θαλάσσιας στάθμης υπολογίζεται στα 1–2 mm/year (Bindoff et al., 2007), ωστόσο, σύμφωνα με τις εκτιμήσεις της Διακυβερνητικής Οργάνωσης για τις Κλιματικές Αλλαγές (IPCC), του Οργανισμού Περιβαλλοντικής Προστασίας της Αμερικής (EPA) καθώς και της Εθνικής Ακαδημίας Επιστημών προβλέπεται ότι αναμένεται να επιταχυνθεί στο βραχυπρόθεσμο μέλλον (Church et al., 2001; IPCC, 2014; Oppenheimer et al., 2019; Pfeffer et al., 2008) (εικόνα 1).



Εικόνα 1: Η μεταβολή της μέσης παγκόσμιας θαλάσσιας στάθμης από το 2000 έως σήμερα και η εκτιμώμενη άνοδός της έως το 2300 (Oppenheimer et al., 2019).

Το φαινόμενο της ανόδου της θαλάσσιας στάθμης αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες διαμόρφωσης της παράκτιας ζώνης γι' αυτό και οι επιπτώσεις της είναι ιδιαίτερης σημασίας για κάθε τόπο. Ενδεχόμενη άνοδος της θαλάσσιας στάθμης αναμένεται να οδηγήσει σε διάβρωση ακτογραμμών, σε σημαντικά πλημμυρικά φαινόμενα παράκτιων περιοχών χαμηλού αναγλύφου, στην καταστροφή υγροτόπων και στην υφαλμύριση λιμνοθαλασσών και παράκτιων λιμνών, έχοντας άμεσες κοινωνικο-οικονομικές επιπτώσεις αλλά και γεωμορφολογικές προεκτάσεις κατά μήκος της παράκτιας ζώνης, η οποία φιλοξενεί πληθώρα δραστηριοτήτων και υποδομών (Σιαφάκας, 2003).

Το φαινόμενο έχει απασχολήσει σε μεγάλο βαθμό και τον ελλαδικό χώρο που εμφανίζει μία ιδιαίτερα ευάλωτη παράκτια ζώνη μεγάλου μήκους (σε σχέση με την έκτασή της) (εικόνα 2), η οποία φιλοξενεί σχεδόν όλα τα μεγάλα αστικά κέντρα και το 80% των βιομηχανικών και 90% των τουριστικών εγκαταστάσεων (Velegrakis et al., 2005; Monioudi et al., 2014). Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τον έντονο τεκτονισμό που επικρατεί αλλά και την πληθώρα παράκτιων περιοχών χαμηλού αναγλύφου που εντοπίζονται κατά μήκος της ελληνικής ακτογραμμής, καθιστούν τον ελλαδικό χώρο ακόμη πιο ευάλωτο σε μία ενδεχόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης, αφού πιθανή καταβύθιση μιας περιοχής θα μπορούσε να οδηγήσει στον περιορισμό ή ακόμη και την εξαφάνιση μεγάλου τμήματος του παράκτιου ζωτικού χώρου της.



Εικόνα 2: Διάβρωση των ελληνικών ακτών λόγω ανόδου της θαλάσσιας στάθμης. Με πορτοκαλί χρώμα εμφανίζονται οι παραλίες της Ελλάδας που έχει υπολογιστεί η διάβρωση που έχουν υποστεί (τροποποιημένο από: Πούλος και Καρδισιά, 2017, Alexandrakis et al., 2013).

Το φαινόμενο της διάβρωσης, λόγω αυξημένου ρυθμού ευστατικής ανόδου (Πούλος και Καρδισιά, 2017; Alexandrakis et al., 2013), παρουσιάζεται εντονότερο στις ακτές της Κρήτης. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με το γεωλογικό καθεστώς της περιοχής (παρουσία μεγάλης έκτασης αμμωδών ζωνών παραλίας), τη μορφολογία (χαμηλής υψομετρικής κλίσης) αλλά και το καθεστώς των ανέμων (Β-ΒΑ διευθύνσεως) που επικρατούν στο Αιγαίο Πέλαγος, έχουν ήδη οδηγήσει στη διάβρωση του 65,8 % των ακτών της (Alexandrakis et al., 2010; 2013) (εικόνα 2).

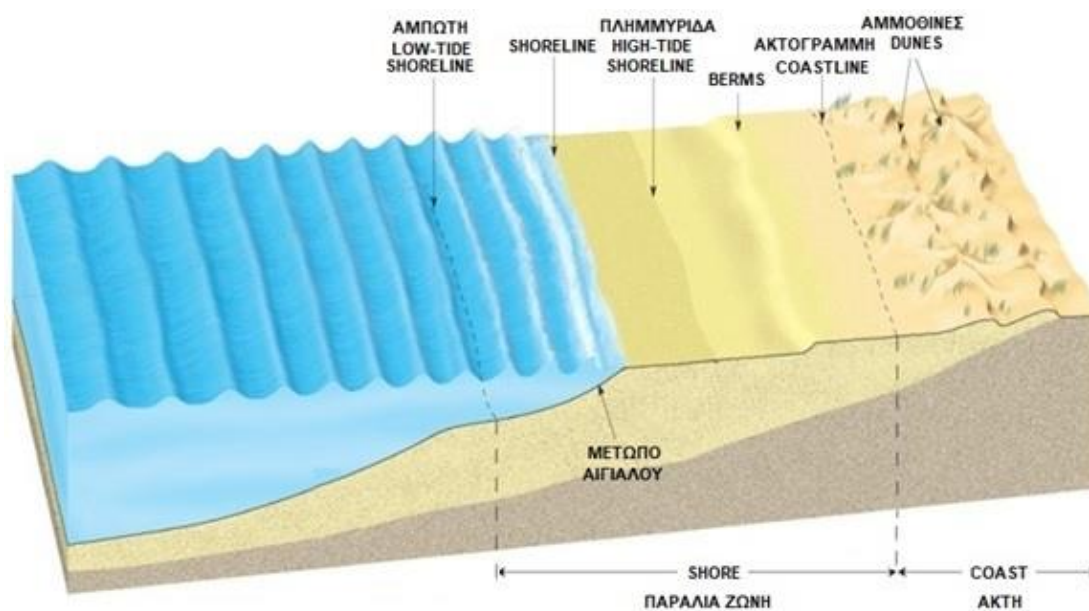
Στην παρούσα έρευνα γίνεται μία προσπάθεια διερεύνησης της παράκτιας επικινδυνότητας του κόλπου του Μιραμπέλου-ΒΑ Κρήτη στην άνοδο της μέσης θαλάσσιας στάθμης λόγω κλιματικής αλλαγής. Η εκτίμηση της επικινδυνότητας πραγματοποιείται μέσω του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας - CVI, ο οποίος θα συνδυάζει το μέσο ύψος κύματος, το μέσο εύρος παλίνρροιας, τη σχετική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης, τη γεωλογία, τη γεωμορφολογία, την παράκτια κλίση και τον ρυθμό μεταβολής της ακτογραμμής. Όλα τα δεδομένα θα επεξεργασθούν σε περιβάλλον

GIS και για κάθε παράμετρο θα παραχθούν επιμέρους θεματικοί χάρτες με την αντίστοιχη διαβάθμιση ως προς την επικινδυνότητά τους κατά μήκος της ακτογραμμής του κόλπου, οι οποίοι θα συνδυαστούν προκειμένου να προκύψει ο τελικός χάρτης παράκτιας επικινδυνότητας της περιοχής έρευνας.

Επιπλέον, διερευνάται η εξέλιξη της ακτογραμμής του κόλπου μέσω τριών διαφορετικών σεναρίων ενδεχόμενης μελλοντικής ανόδου της θαλάσσιας στάθμης -κατά 0,5 m, 1 m και 2 m, με βασικά κριτήρια την τοπογραφία και τις χρήσεις γης της περιοχής έρευνας και πραγματοποιήθηκε αποτύπωση των τμημάτων γης που αναμένεται να απωλεσθούν για κάθε διαφορετικό σενάριο ανόδου της θαλάσσιας στάθμης.

ΚΕΦ.1: Παράκτια ζώνη

Η παράκτια ζώνη αποτελεί τη μεταβατική περιοχή μεταξύ χέρσου και θαλάσσιας επιφάνειας και περιλαμβάνει ένα υποθαλάσσιο τμήμα και ένα χερσαίο, τα οποία διαχωρίζονται από την ακτογραμμή που λειτουργεί ως φυσικό όριο μεταξύ τους (εικόνα 3). Το υποθαλάσσιο τμήμα οριοθετείται από την ακτογραμμή έως την ισοβαθή των 10 m, ενώ για το χερσαίο τμήμα δεν υπάρχει ακριβής προσδιορισμός και ως όριο τίθεται το σημείο όπου σταματούν οι θαλάσσιες διεργασίες και εμφανίζονται οι χερσαίες αποθέσεις. Η ακτογραμμή είναι μία δυναμικώς μεταβαλλόμενη γραμμή της οποίας η διαχρονική εξέλιξη εξαρτάται από πολλούς παράγοντες (ισοστασία, ευστατισμός, τεκτονικές κινήσεις, δράση του φαινομένου του κυματισμού και της παλίρροιας κλπ) γι' αυτό και το πλάτος της παράκτιας ζώνης είναι διαρκώς μεταβαλλόμενο τόσο σε βάθος χρόνου όσο και στο χρονικό πλαίσιο ενός εικοσιτετραώρου (Καρύμπαλης, 2004; 2010).

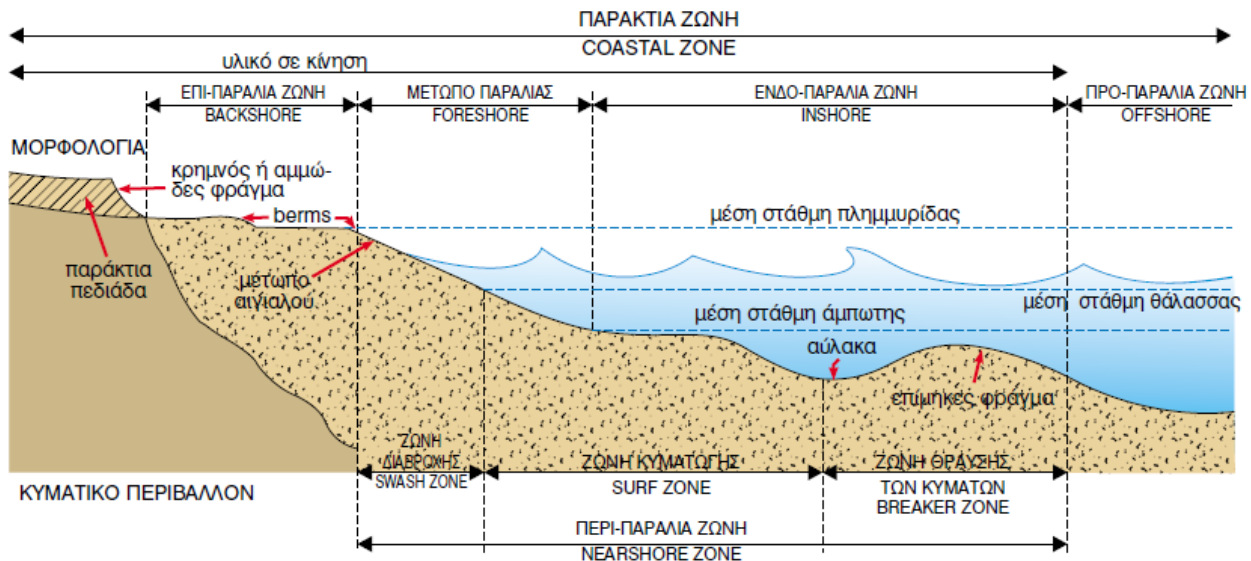


Copyright © 2009 Pearson Prentice Hall, Inc.

Εικόνα 3:Παράκτια ζώνη (τροποποιημένο από Christopherson and Thomsen, 2015).

1.1. Κατηγοριοποίηση της παράκτιας ζώνης

Η παράκτια ζώνη διαίρεται σε επιμέρους περιοχές (εικόνα 4) βάσει των μορφολογικών και ιζηματολογικών χαρακτηριστικών της καθώς και των κυματικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα σε αυτή (Καρύμπαλης, 2004; 2010).



Εικόνα 4: Σχηματική απεικόνιση της παράκτιας ζώνης βάσει των μορφολογικών χαρακτηριστικών της και των κυματικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα σε αυτή (Καρύμπαλης, 2010).

α) Κατηγοριοποίηση της παράκτιας ζώνης βάσει των μορφολογικών χαρακτηριστικών της

- επι-παράλια ζώνη (backshore)
- το μέτωπο της παραλίας (foreshore)
- ενδο-παράλια ζώνη (inshore)
- προ-παράλια ζώνη (offshore)

β) Κατηγοριοποίηση της παράκτιας ζώνης βάσει των κυματικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα σε αυτή

- ζώνη διαβροχής (swash zone)
- ζώνη κυματαγωγής (surf zone)
- ζώνη θραύσης των κυμάτων (breaker zone)

γ) Κατηγοριοποίηση της παράκτιας ζώνης βάσει ιζηματολογικών χαρακτηριστικών της

-Αιγιαλίτιδα ζώνη (beach zone):

το τμήμα της χέρσου που εκτείνεται από τη μέση χαμηλή θαλάσσια στάθμη (μέση στάθμη της άμπωτης) έως το όριο όπου σταματούν οι κυματικές διεργασίες (berms) και ξεκινούν οι χερσαίες αποθέσεις.

-Ζώνη του μετώπου της παραλίας (shoreface zone):

το τμήμα που εκτείνεται από τη μέση χαμηλή θαλάσσια στάθμη (μέση στάθμη της άμπωτης) έως το βάθος αλληλεπίδρασης του θαλασσινού νερού με τον πυθμένα λόγω κυματισμού.

-Προ-παράλια μεταβατική ζώνη (offshore transition zone):

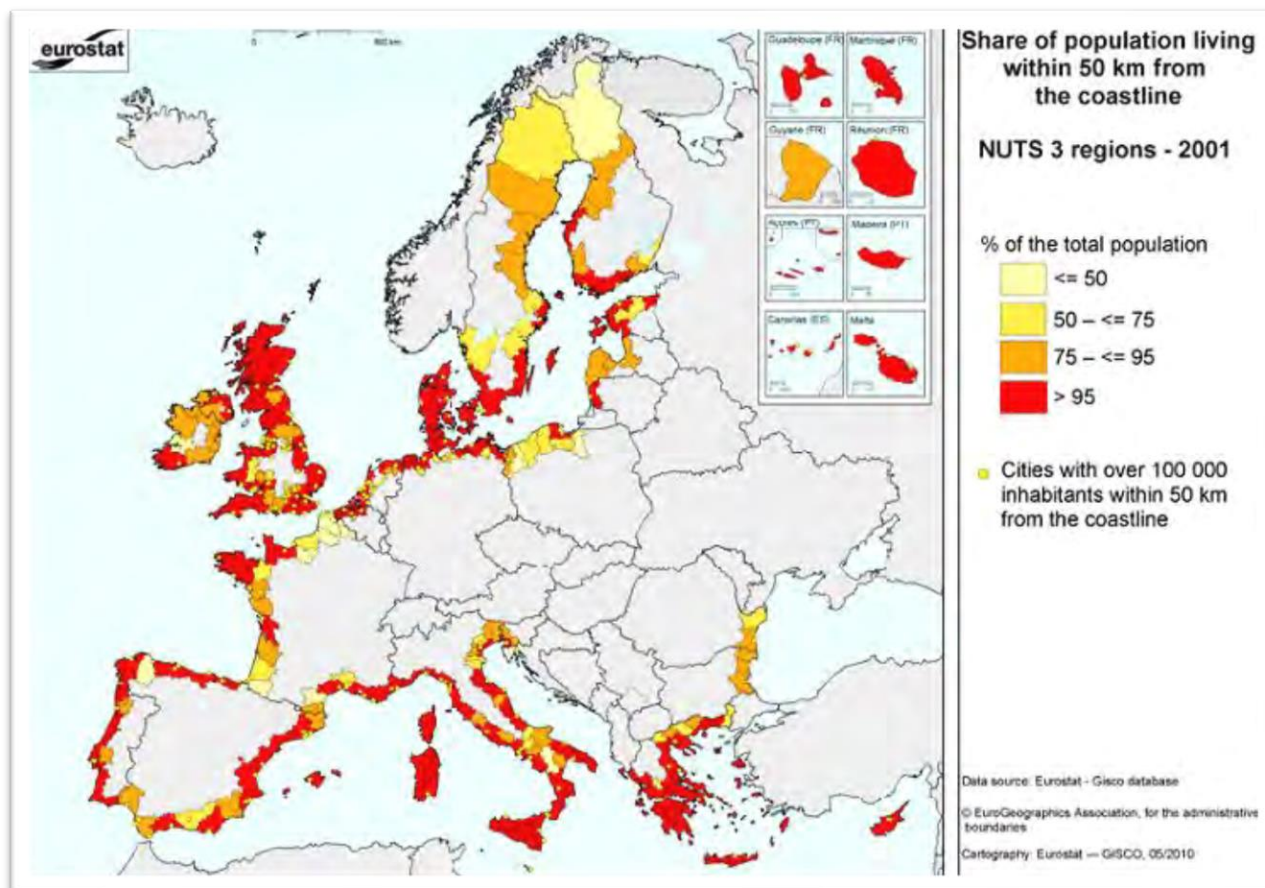
το τμήμα που εκτείνεται από το σημείο αλληλεπίδρασης του θαλασσινού νερού με τον πυθμένα λόγω κυματισμού έως τη μέση βάση των κυμάτων καταιγίδας.

-Προ-παράλια ζώνη (offshore zone):

το τμήμα που εκτείνεται κάτω από τη μέση βάση των κυμάτων καταιγίδας.

1.2. Η σημασία της παράκτιας ζώνης

Οι παράκτιες ζώνες θεωρούνται περιοχές ιδιαίτερης σημασίας τόσο από οικολογικής όσο και από κοινωνικο-οικονομικής και πολιτιστικής πλευράς, αφού κατά μήκος τους απαντάται αφενός πλούσια βιοποικιλότητα και αφετέρου πληθώρα δραστηριοτήτων και υποδομών (Κοκκώσης, 2006). Ανέκαθεν αποτελούσαν περιοχές ελκυστικές για τον άνθρωπο (εικόνα 5), γι' αυτό και ο μισός περίπου πληθυσμός της γης κατοικεί κατά μήκος αυτών (Shi, 2001) έχοντας αναπτύξει πληθώρα δραστηριοτήτων κυρίως σχετιζόμενων με τον τουριστικό τομέα.



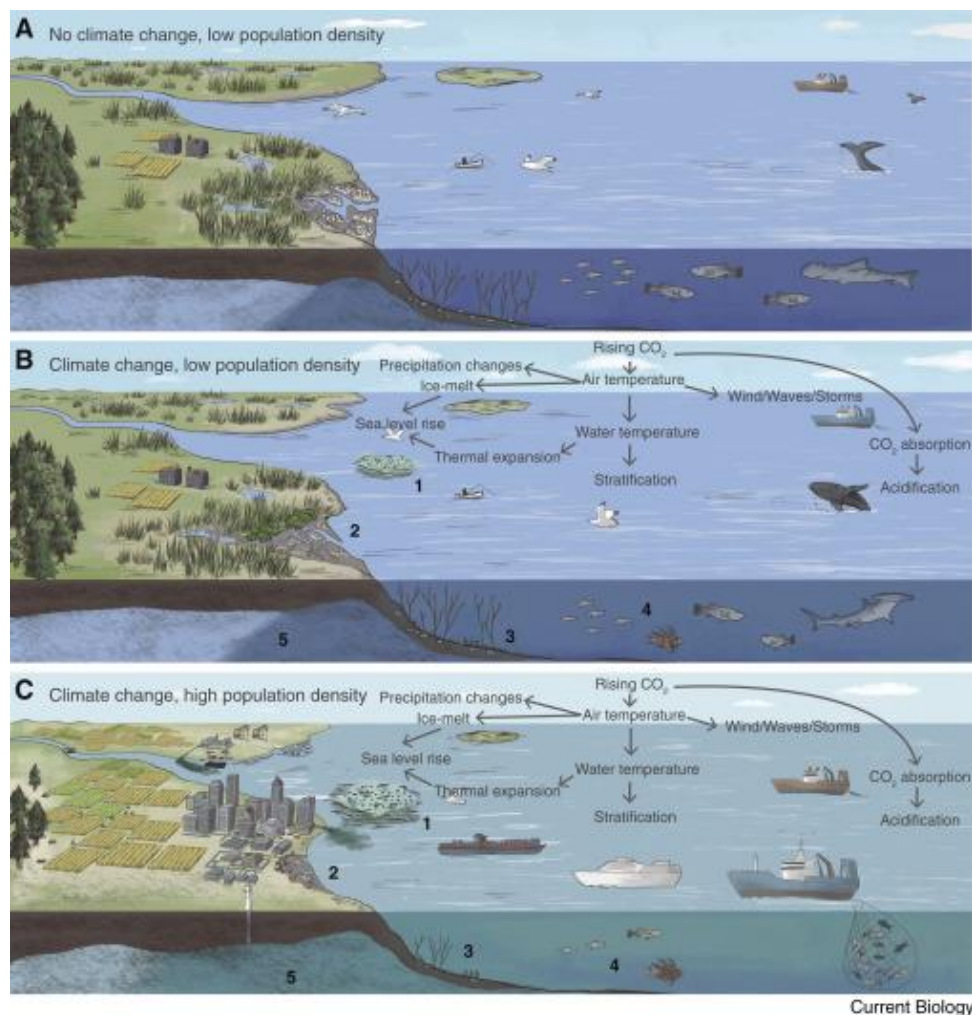
Εικόνα 5: Απεικόνιση του πληθυσμού, εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης, που κατοικεί εντός 50 km από την ακτογραμμή κατά το έτος 2001 (Πηγή: Eurostat, 2011).

Δεδομένου ότι η ελληνική ακτογραμμή καλύπτει περίπου το ένα τέταρτο της συνολικής έκτασης του ευρωπαϊκού παράκτιου χώρου (ΥΠΕΧΩΔΕ, 1997), περιλαμβάνει πλούσια φυσικά οικοσυστήματα υψηλής παραγωγικότητας (γεωργικές καλλιέργειες, ιχθυοκαλλιέργειες κ.α.), τουριστικές υποδομές και δραστηριότητες, δραστηριότητες βιομηχανικού χαρακτήρα αλλά και δεδομένου ότι τα μεγαλύτερα αστικά κέντρα της Ελλάδας εντοπίζονται στον παράκτιο χώρο, γίνεται αντιληπτό ότι η παράκτια ζώνη είναι ιδιαίτερης σημασίας για τον ελλαδικό χώρο αφού το μεγαλύτερο μέρος της οικονομικής ευημερίας του προέρχεται από αυτήν. Τις τελευταίες δεκαετίες έχει παρατηρηθεί αυξημένος ρυθμός συγκέντρωσης του πληθυσμού στις παράκτιες ζώνες, το οποίο έχει αποτελέσει αντικείμενο μελέτης διαφόρων ερευνητών, διότι οι παράκτιες ζώνες αποτελούν ιδιαίτερα επιρρεπή οικοσυστήματα στις μεταβολές (παράκτια διάβρωση, μετατόπιση ακτογραμμής, απώλεια υγροτόπων και ορυζώνων κλπ) λόγω κλιματικής αλλαγής.

Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την ολοένα αυξανόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης εντείνει το πρόβλημα, αφού απειλείται άμεσα ο παράκτιος ζωτικός χώρος τους οδηγώντας σε άμεσες κοινωνικο-οικονομικές επιπτώσεις.

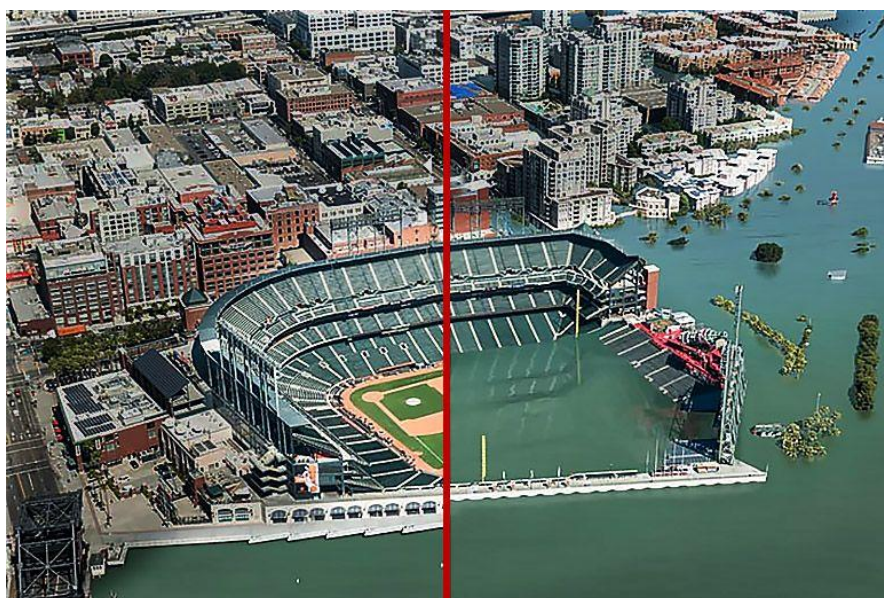
1.3. Πιέσεις που υφίσταται η παράκτια ζώνη

Η παράκτια ζώνη είναι ένα ιδιαίτερα ευάλωτο φυσικό σύστημα το οποίο επηρεάζεται σημαντικά τόσο από τις φυσικές όσο και από τις ανθρωπογενείς πιέσεις που ασκούνται σε αυτό.



Εικόνα 6: Επιπτώσεις των ανθρώπινων παρεμβάσεων στην παράκτια ζώνη (He and Silliman, 2019).

Οι κυριότερες ανθρωπογενείς πιέσεις (Βελεγράκης, 2008) που ασκούνται στην παράκτια ζώνη είναι (εικόνα 6): η αλλαγή χρήσεων γης, η κατασκευή τεχνικών έργων, η κατασκευή υποδομών που σχετίζονται με τον τουριστικό τομέα, η ρύπανση με απορρίμματα και απόβλητα, οι υπεραντλήσεις υδάτων και η υπεραλίευση, η εντατική γεωργία και κτηνοτροφία καθώς και η αποψίλωση των δασών τα οποία έχουν άμεσες επιπτώσεις στην παράκτια ζώνη όπως μεταβολή της σύστασης των ιζημάτων της, την ανάπτυξη του φαινομένου του ευτροφισμού αλλά και την υποβάθμιση των υπόγειων υδροφορέων και των φυσικών οικοσυστημάτων της (χλωρίδα, πανίδα). Από τις κυριότερες φυσικές διεργασίες (Δουκάκης, 2007; Karymbalis, 2012; Karymbalis et al., 2014) που λαμβάνουν χώρα στην παράκτια ζώνη και έχουν σοβαρές επιπτώσεις σε αυτή είναι το φαινόμενο της διάβρωσης, η πρόσχωση των ακτών, οι κυματικές καταιγίδες, τα κύματα τσουνάμι σε περιοχές σεισμικά ενεργές, πλημμυρικά φαινόμενα στις εκβολές ποταμών και το φαινόμενο ανόδου της μέσης θαλάσσιας στάθμης (εικόνα 7), λόγω κλιματικής αλλαγής, η οποία εντείνει τη διάβρωση του παράκτιου χώρου. Συνεπώς, γίνεται αντιληπτό ότι είναι απαραίτητη η συνεχής παρακολούθηση των ανθρωπογενών και φυσικών πιέσεων που ασκούνται στην παράκτια ζώνη προκειμένου να επιτευχθεί η ορθή και ολοκληρωμένη διαχείρισή τους.



Εικόνα 7: Επιπτώσεις από εκτιμώμενη μελλοντική άνοδο της μέσης θαλάσσιας στάθμης στη Venice Beach της Καλιφόρνια (Courtesy Climate Central).

ΚΕΦ.2: Παράκτια διάβρωση

Ως παράκτια διάβρωση νοείται η σταδιακή οπισθοχώρηση της ακτογραμμής σε ικανό βάθος χρόνου έτσι ώστε το αποτέλεσμα της μέτρησης να μην επηρεάζεται από τις επιδράσεις των κυματικών καταιγίδων, της δυναμικής των ιζημάτων και του καιρού (Eurosion, 2004a). Αποτελεί μία μη αναστρέψιμη φυσική διεργασία, η οποία δύναται να οδηγήσει σε σοβαρές περιβαλλοντικές και κοινωνικο-οικονομικές επιπτώσεις κατά μήκος της παράκτιας ζώνης. Ο βαθμός εκδήλωσης του φαινομένου και οι επιπτώσεις του εξαρτώνται από το ισοζύγιο μεταξύ των διεργασιών του παράκτιου και χερσαίου χώρου. Όταν ο παράκτιος χώρος βρίσκεται σε ισορροπία επικρατεί σταθερότητα στην ακτογραμμή, όταν όμως ο παράκτιος χώρος δεν μπορεί πλέον να ισορροπήσει την παραγόμενη ενέργεια που δέχεται από τα κύματα και τους υδάτινους όγκους, επέρχεται μεταφορά των ιζημάτων του προς το θαλάσσιο περιβάλλον και κατά συνέπεια μετατόπιση της ακτογραμμής και απώλεια εδάφους (Anthony, 2005; Καρύμπαλης, 2010). Ουσιαστικά, το ισοζύγιο των ιζημάτων του παράκτιου χώρου εξαρτάται από δύο διεργασίες (πίνακας 1):

- α) την προσφορά ιζήματος στην ακτή
- β) την απομάκρυνση ιζήματος από την ακτή και μεταφορά του προς τον θαλάσσιο χώρο

Πίνακας 1: Διεργασίες που καθορίζουν το ισοζύγιο των ιζημάτων του παράκτιου χώρου (Καρύμπαλης, 2010).

Προσφορά ιζήματος στην ακτή	Μεταφορά ιζήματος προς το θαλάσσιο περιβάλλον
Παράκτια μεταφορά	Παράκτια μεταφορά
Ποτάμια στερεοπαροχή	Παγίδευση ιζήματος σε υποθαλάσσια κανάλια
Διάβρωση παράκτιων κρημνών	Αμμοληψία
Μεταφορά ιζήματος από τη θάλασσα	Μεταφορά ιζήματος μέσω της αιολικής δράσης
Μεταφορά ιζήματος μέσω της αιολικής δράσης	
Τεχνητός εμπλουτισμός	

Ο βαθμός της παράκτιας διάβρωσης διαφέρει από περιοχή σε περιοχή και εξαρτάται από τους ακόλουθους τοπικούς παράγοντες (Δουκάκης, 2005):

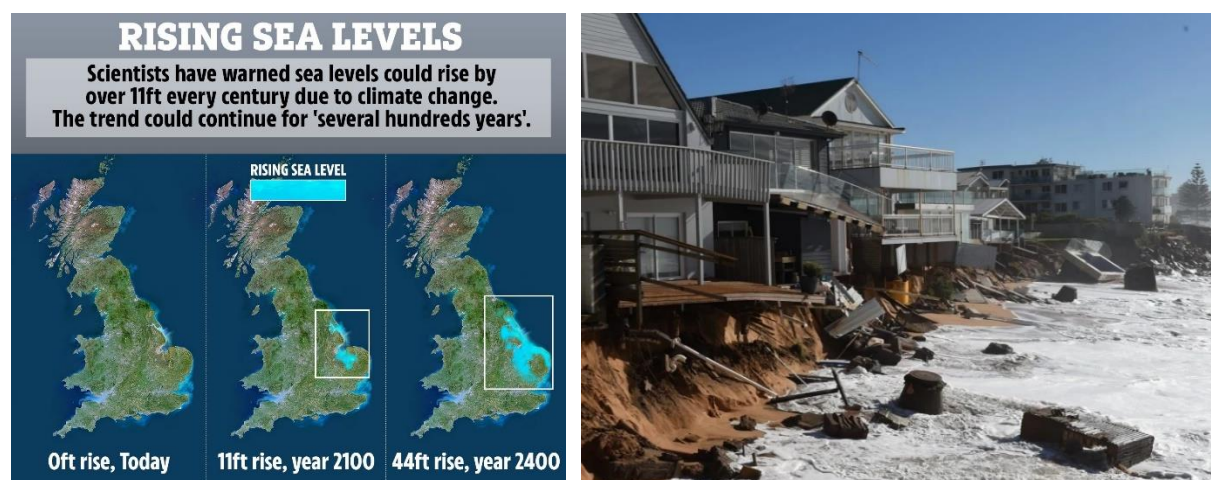
- Τη γεωλογία της περιοχής
- Τη μορφολογία της
- Την τοπογραφία της
- Τα αποθέματα ιζημάτων στην περιοχή
- Τις επικρατούσες κλιματικές και κυματικές συνθήκες
- Τη συχνότητα και ένταση των ακραίων καιρικών και κυματικών φαινομένων

2.1. Αιτίες παράκτιας διάβρωσης

Η παράκτια διάβρωση οφείλεται τόσο σε φυσικά όσο και σε ανθρωπογενή αίτια (Ozhan, 2002).

Τα κυριότερα φυσικά αίτια (εικόνα 8) είναι:

- Η άνοδος της θαλάσσιας στάθμης (σχετική άνοδος της μέσης θαλάσσιας στάθμης -RSLR)
- Ο κυματισμός (όπως κυματισμοί μεγάλου ύψους και καμπυλότητας)
- Οι άνεμοι (όπως θύελλες)
- Τα παράκτια και θαλάσσια ρεύματα (όπως longshore currents, rip currents)
- Πλημμυρικά φαινόμενα και παλίρροιες
- Τα τεκτονικά χαρακτηριστικά της περιοχής (όπως σεισμοί, ανύψωση ή καθίζηση τεκτονικών πλακών)
- Καθίζηση ή ιζηματική συμπίεση



Εικόνα 8: Παράκτια διάβρωση η οποία επέρχεται από φυσικά αίτια, όπως άνοδο της θαλάσσιας στάθμης –αριστερή εικόνα (Pettit, 2019) και πλημμυρικά φαινόμενα-δεξιά εικόνα (Hannam, 2016).

Τα κυριότερα ανθρωπογενή αίτια (εικόνα 9) είναι:

- Οι τεχνικές παρεμβάσεις και η κατασκευή διαχειριστικών έργων σε παράκτιες λεκάνες απορροής (όπως αρδευτικά φράγματα) (Poulos et al., 2008; Poulos and Chronis, 2001)
- Η κατασκευή παράκτιων έργων (όπως κυματοθραύστες), τα αναχώματα και οι επιχωματώσεις (Mertzanis et al., 2012)

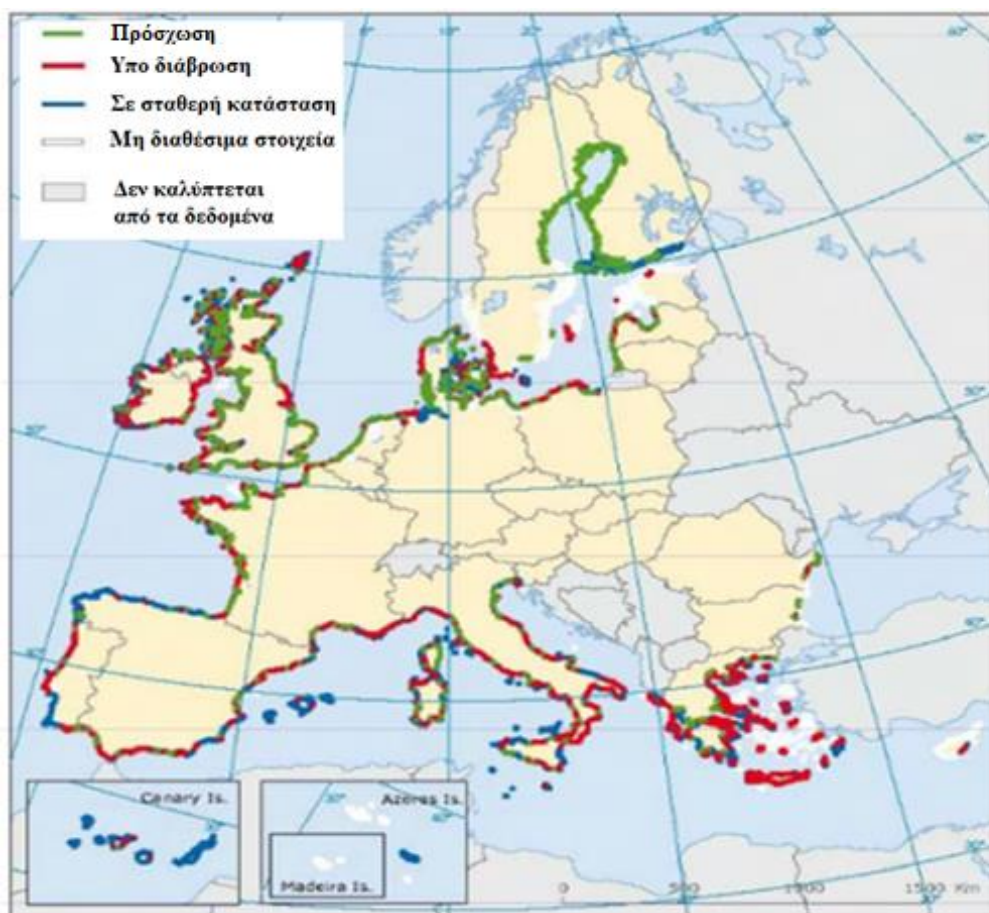
- Η κατασκευή παράκτιων έργων (όπως δρόμων, λιμανιών) (Marchand, 2010)
- Οι υπεραντλήσεις των παράκτιων και υπόγειων υδροφορέων
- Οι αμμοληψίες (Karsimalis et al., 2005)
- Έντονη αστική ανάπτυξη κατά μήκος της ενεργούς παράκτιας ζώνης, πολύ κοντά στην ακτογραμμή (Loizidou and Iacovou, 1999)



Εικόνα 9: Ανθρώπινες παρεμβάσεις στην παράκτια ζώνη
(<https://www.agriniculture.gr/>, <http://greenagenda.gr/>)

2.2. Διάβρωση ευρωπαϊκών ακτών

Η παράκτια διάβρωση είναι ένα παγκόσμιο φαινόμενο το οποίο έχει επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό και τις ευρωπαϊκές ακτογραμμές, αφού εκτιμάται ότι περίπου το ένα πέμπτο αυτών βρίσκεται υπό διάβρωση με ρυθμό που κυμαίνεται από 0,5 έως 2 m/year (EuroSION, 2004b). Εντονότερο εμφανίζεται το πρόβλημα στις μεσογειακές ακτές συμπεριλαμβανομένων και των ελληνικών ακτών όπου το ποσοστό της ακτογραμμής που έχει υποστεί διάβρωση φτάνει το 28,6% (εικόνα 10). Υψηλά ποσοστά διάβρωσης παρατηρούνται επίσης στις ακτογραμμές της Λετονίας (32.8%), της Κύπρου (37.8%) και της Πολωνία (55%) (CoPraNet, 2004).



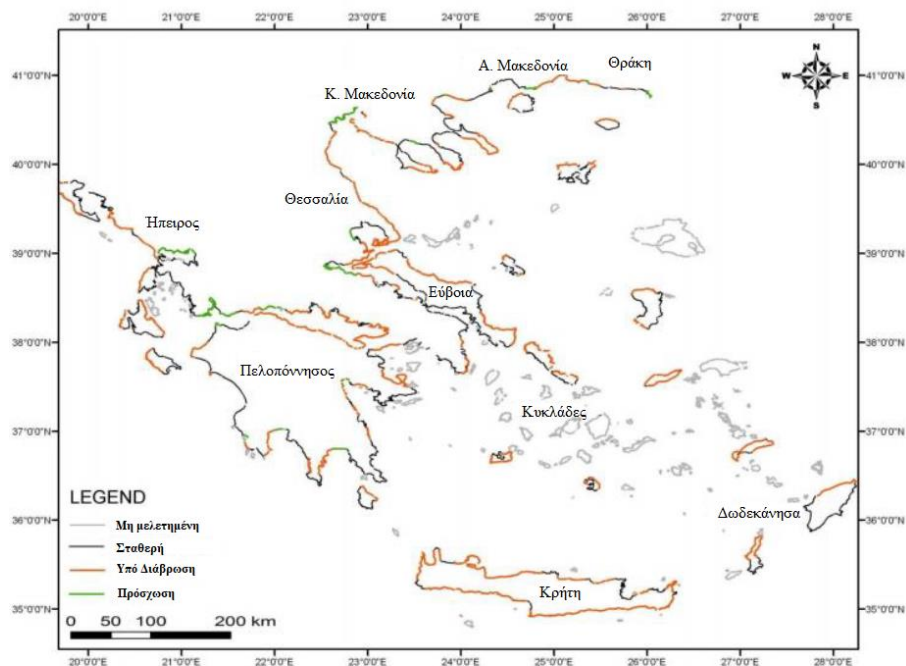
Χώρα	Ποσοστό (%) της ακτογραμμής που έχει υποστεί διάβρωση	Χώρα	Ποσοστό (%) της ακτογραμμής που έχει υποστεί διάβρωση
Βέλγιο	25,5	Ιταλία	22,8
Κύπρος	37,8	Λεττονία	32,8
Δανία	13,2	Λιθουανία	24,3
Εσθονία	2,0	Κάτω Χώρες	10,5
Φιλανδία	0,04	Πολωνία	55,0
Γαλλία	24,9	Πορτογαλία	28,5
Γερμανία	12,8	Ισπανία	11,5
Ελλάδα	28,6	Σουηδία	2,4
Ιρλανδία	19,9	Μεγ. Βρετανία	17,3

Εικόνα 10: Χάρτης με το καθεστώς διάβρωσης που επικρατεί στις ευρωπαϊκές ακτογραμμές (τροποποιημένο από: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/coastal-erosion-patterns-in-europe-1>; Eurosion, 2004b)

Παρόλο που είναι πολλοί οι παράγοντες που συμβάλουν στην υποχώρηση των ακτών, ως βασικότερη αιτία εμφανίζεται η άνοδος της θαλάσσιας στάθμης (Leatherman, 2001), αφού ακόμη και μικρή άνοδος αυτής δύναται να οδηγήσει σε σοβαρές επιπτώσεις στην παράκτια ζώνη, ειδικότερα σε περιοχές χαμηλού αναγλύφου όπου οι κλίσεις είναι αρκετά μικρές.

2.2.1. Διάβρωση των ελληνικών ακτογραμμών

Ο ελλαδικός χώρος λόγω της μορφολογίας του παρουσιάζει μία ιδιαίτερα εκτεταμένη παράκτια ζώνη, η οποία είναι η μεγαλύτερη της Μεσογείου με μήκος που φτάνει τα 18.000 km. Οι ελληνικές ακτογραμμές αντιστοιχούν περίπου στο 24% του συνόλου των ευρωπαϊκών ακτογραμμών και καλύπτουν περίπου το 34% της συνολικής έκτασης της Ελλάδας (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2006: 9). Στον παρακάτω χάρτη (εικόνα 11) εμφανίζονται οι ελληνικές ακτογραμμές βάσει αυτών που έχουν υποστεί διάβρωση, αυτών που έχουν υποστεί πρόσχωση και αυτών που έχουν παραμείνει ανεπηρέαστες.

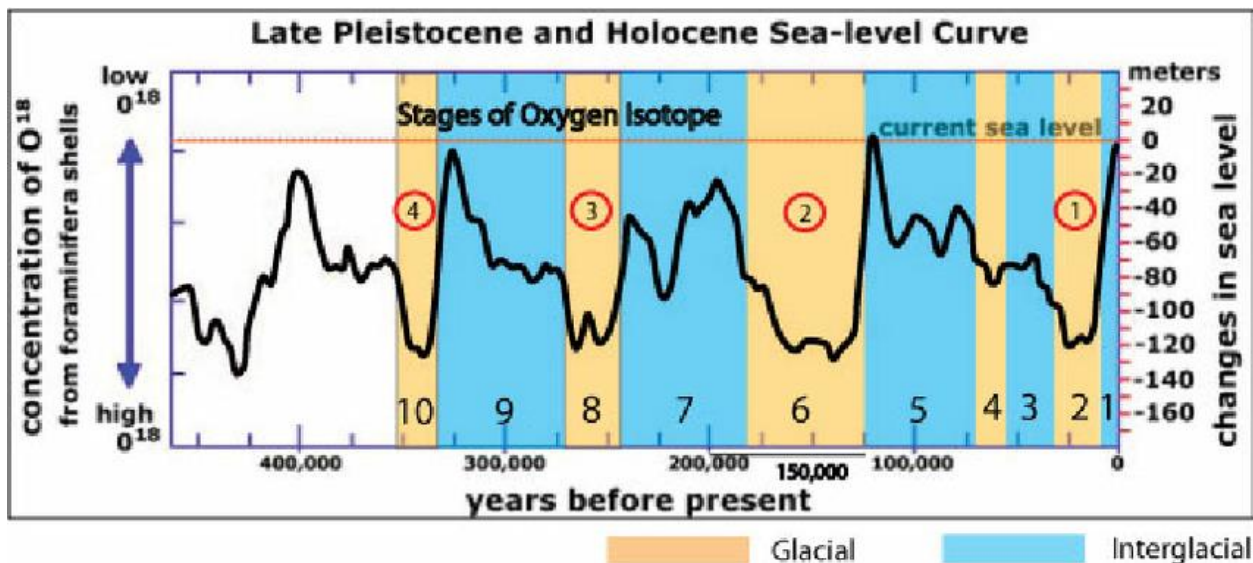


Εικόνα 11: Χάρτης κατηγοριοποίησης των ελληνικών ακτογραμμών βάσει των ακτών που έχουν υποστεί διάβρωση, πρόσχωση και καμία επίδραση (τροποποιημένο από Alexandrakis et al., 2013).

Παρατηρώντας τον παραπάνω χάρτη αντιλαμβανόμαστε ότι το φαινόμενο της διάβρωσης είναι εντονότερο της ακτές της Κρήτης όπου περίπου το 65,8% της ακτογραμμής της βρίσκεται υπό καθεστώς διάβρωσης καθώς και στα νησιά του Αιγαίου όπου, δεδομένου του μεγέθους των νησιών, η απειλούμενη έκταση εμφανίζεται να είναι αρκετά μεγάλη (Eurosion, 2004c).

ΚΕΦ.3: Άνοδος της μέσης θαλάσσιας στάθμης

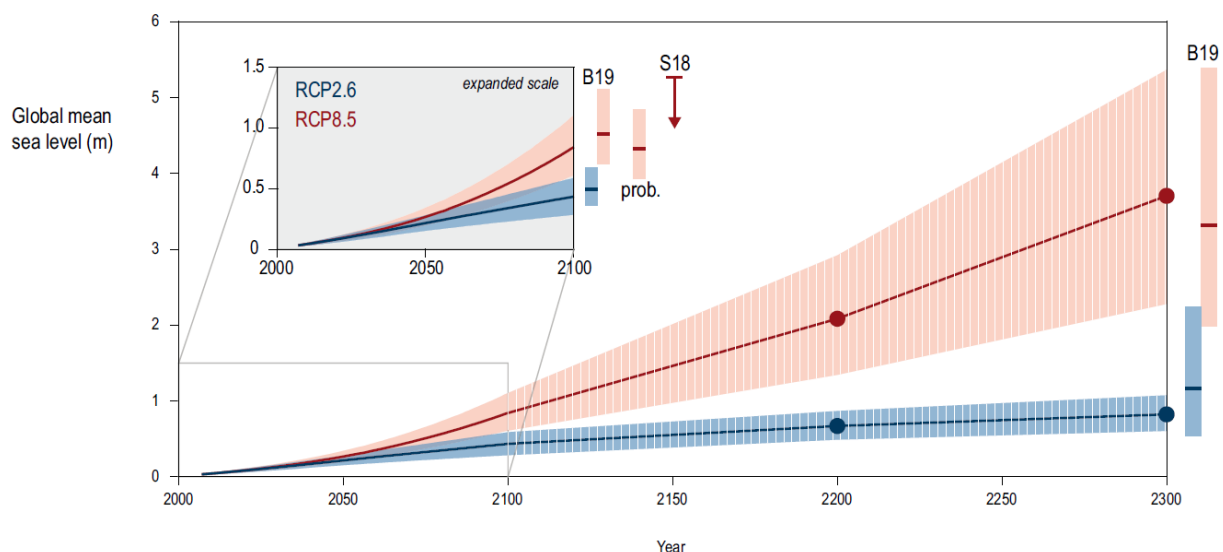
Από το παρελθόν έως σήμερα, η θαλάσσια στάθμη έχει υποστεί αρκετές μεταβολές οι οποίες οφείλονται κατά κύριο λόγο στις αυξομειώσεις του όγκου του θαλασσινού νερού, λόγω των αλλαγών των κλιματολογικών συνθηκών του πλανήτη. Στην ιστορία της γης έχουν καταγραφεί πολλές παγετώδεις (πτώση της θαλάσσιας στάθμης) και μεσο-παγετώδεις περιόδους (άνοδος της θαλάσσιας στάθμης) οι οποίες συνθέτουν την ευστατική καμπύλη της (εικόνα 12). Σε τοπικό επίπεδο οι μεταβολές της θαλάσσιας στάθμης, πέραν του ευστατισμού, οφείλονται τόσο σε τεκτονικές όσο και ισοστατικές κινήσεις. Ωστόσο, είναι δύσκολο να διακρίνουμε αν οι μεταβολές μιας παράκτιας περιοχής οφείλονται σε ευστατικά ή σε τοπικά αίτια, διότι στις περισσότερες περιπτώσεις προκύπτουν ως αποτέλεσμα συνδυασμού των διεργασιών αυτών (Καρύμπαλης, 2010).



Εικόνα 12: Ευστατική καμπύλη για τα τελευταία 450.000 χρόνια (Άνω Πλειστόκαινο-Ολόκαινο) όπου έλαβαν χώρα οι τέσσερις πρόσφατοι κύκλοι παγετωδών-μεσοπαγετωδών περιόδων (Peron, 2009).

Παρατηρώντας την παραπάνω ευστατική καμπύλη (εικόνα 12) γίνεται αντιληπτό ότι κατά τη μεσοπαγετώδη περίοδο των 400 ka το επίπεδο της θαλάσσιας στάθμης κυμαινόταν σε παρόμοιο επίπεδο με το σημερινό (Bowen 2009; Rohling et al., 2010), όπως επίσης και κατά τις μεσοπαγετώδεις περιόδους των 320 ka (MIS 9c), των 237 ka (MIS 7e) και των 197 ka (MIS 7a)

(Rabineau et al., 2006). Κατά τη μεσοπαγετώδη περίοδο των 125 ka (MIS 5) το επίπεδο της θαλάσσιας στάθμης βρισκόταν λίγο πιο πάνω από το σημερινό (Korpp et al., 2009), περίοδος όπου η θερμοκρασία στους πόλους της γης ήταν κατά 4–6°C υψηλότερη από τη σημερινή (Otto-Bliesner et al., 2006). Από το τέλος της τελευταίας παγετώδους περιόδου μέχρι τα 6 ka παρατηρήθηκε αύξηση του ρυθμού ανόδου της θαλάσσιας στάθμης ο οποίος κυμαινόταν από 10 έως 20 mm/y (Rohling et al., 2010). Κατά την τελευταία παγετώδη περίοδο έως τη μέγιστη στάθμη της θερμής ολοκαινικής περιόδου, το επίπεδο της μέσης θαλάσσιας στάθμης αυξήθηκε κατά 120 m (Siddall et al., 2003; Peltier and Fairbanks, 2006). Από τα 14 έως τα 7 ka ο ρυθμός ανόδου της θαλάσσιας στάθμης ήταν ~11 mm/y (Bard et al., 1996), ενώ από τα 6 ka έως τα 2-3 ka ο ρυθμός ανόδου έπεσε στο 1 mm/y (Lambeck 1995). Από τη χρονική περίοδο αυτή έως τον 19^ο αιώνα δεν παρατηρήθηκαν μεγάλες μεταβολές της θαλάσσιας στάθμης. Τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρείται αύξηση του ρυθμού ανόδου της θαλάσσιας στάθμης, ο οποίος είναι της τάξης του 1.8 mm/year (Bindoff et al., 2007), ενώ δορυφορικές μετρήσεις των τελευταίων 15 ετών εκτιμούν ότι ο ρυθμός ανόδου έχει ανέλθει στα 3 mm/year (Bindoff et al., 2007).

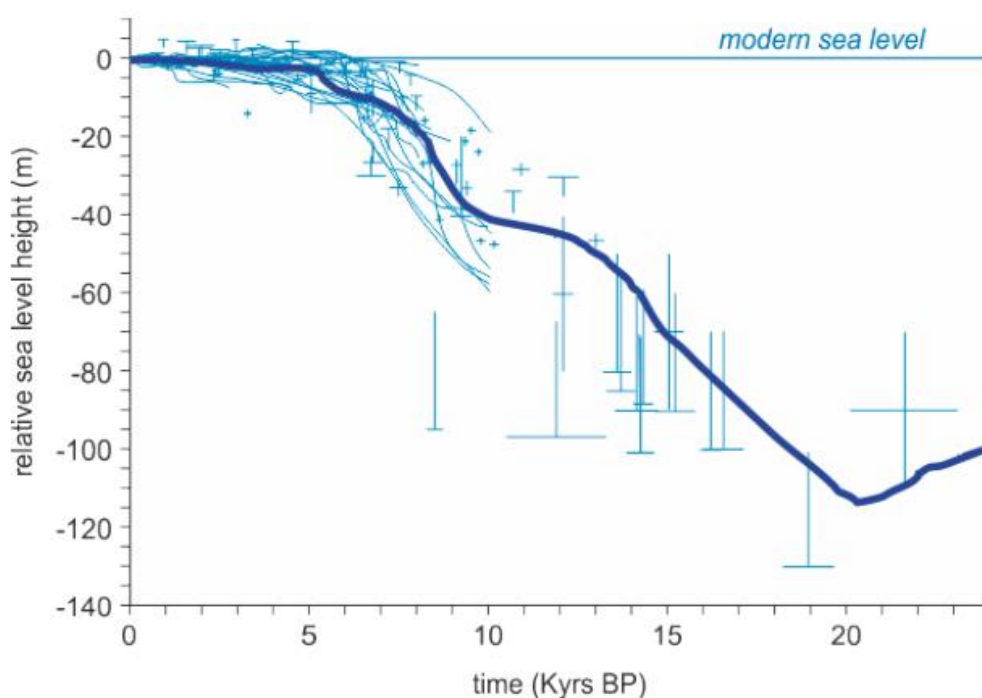


Εικόνα 13: Μεταβολή της παγκόσμιας θαλάσσιας στάθμης κατά τη χρονική περίοδο 2000 έως σήμερα και πρόβλεψη της μελλοντικής θαλάσσιας στάθμης έως το 2300 (Oppenheimer et al., 2019).

Ο σημερινός ρυθμός ανόδου της μέσης παγκόσμιας θαλάσσιας στάθμης εκτιμάται ότι είναι 1–2 mm/year (Bindoff et al., 2007), ωστόσο αναμένεται να παρουσιάσει αύξηση έως το 2100 (εικόνα 13), λόγω κλιματικής αλλαγής, με τη στάθμη της να ξεπερνά τα 0.5 m και ρυθμό ανόδου 5.5 mm/year (IPCC 2007; Καρύμπαλης, 2010).

3.1. Μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης στη Μεσόγειο

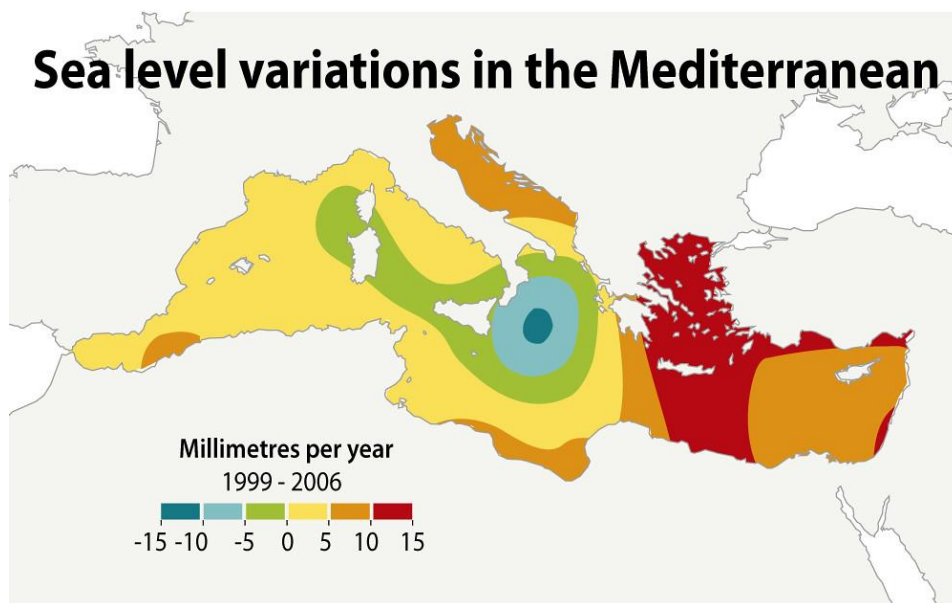
Κατά τη διάρκεια του Ολοκαίνου (τα τελευταία 12.000 χρόνια) έως και τα 6 ka παρατηρείται μία αυξητική τάση της θαλάσσιας στάθμης στη Μεσόγειο (εικόνα 14), η οποία οφείλεται κυρίως στο λιώσιμο των πάγων (Mörner, 2005; Lambeck, 1995; Lambeck and Bard, 2000), ενώ από τα 5 ka έως τα 3 ka η άνοδος της θαλάσσιας στάθμης είναι πολύ μικρή λόγω της ανακατανομής του θαλασσινού νερού. Εδώ η συνεισφορά από το λιώσιμο των πάγων είναι πολύ μικρή, της τάξης του 1m.



Εικόνα 14: Άνοδος της θαλάσσιας στάθμης κατά τη διάρκεια του Ολοκαίνου (Lambeck and Bard, 2000; Sivan et al., 2001)

Κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα καταγράφηκε ρυθμός ανόδου της θαλάσσιας στάθμης ο οποίος κυμαινόταν από 1.1 έως 1.3 mm/y. Γενικότερα, η θαλάσσια στάθμη στη Μεσόγειο ακολουθεί τις παγκόσμιες μεταβολές, ωστόσο έχουν παρατηρηθεί κάποιες διακυμάνσεις οι οποίες οφείλονται κυρίως σε τοπικά αίτια. Η μεγαλύτερη τιμή ανόδου της θαλάσσιας στάθμης που έχει καταγραφεί στη Μεσόγειο είναι 1.9 ± 0.2 mm/y στην Αλεξάνδρεια της Αιγύπτου (Tsimplis and Baker, 2000; Marcos and Tsimplis, 2008).

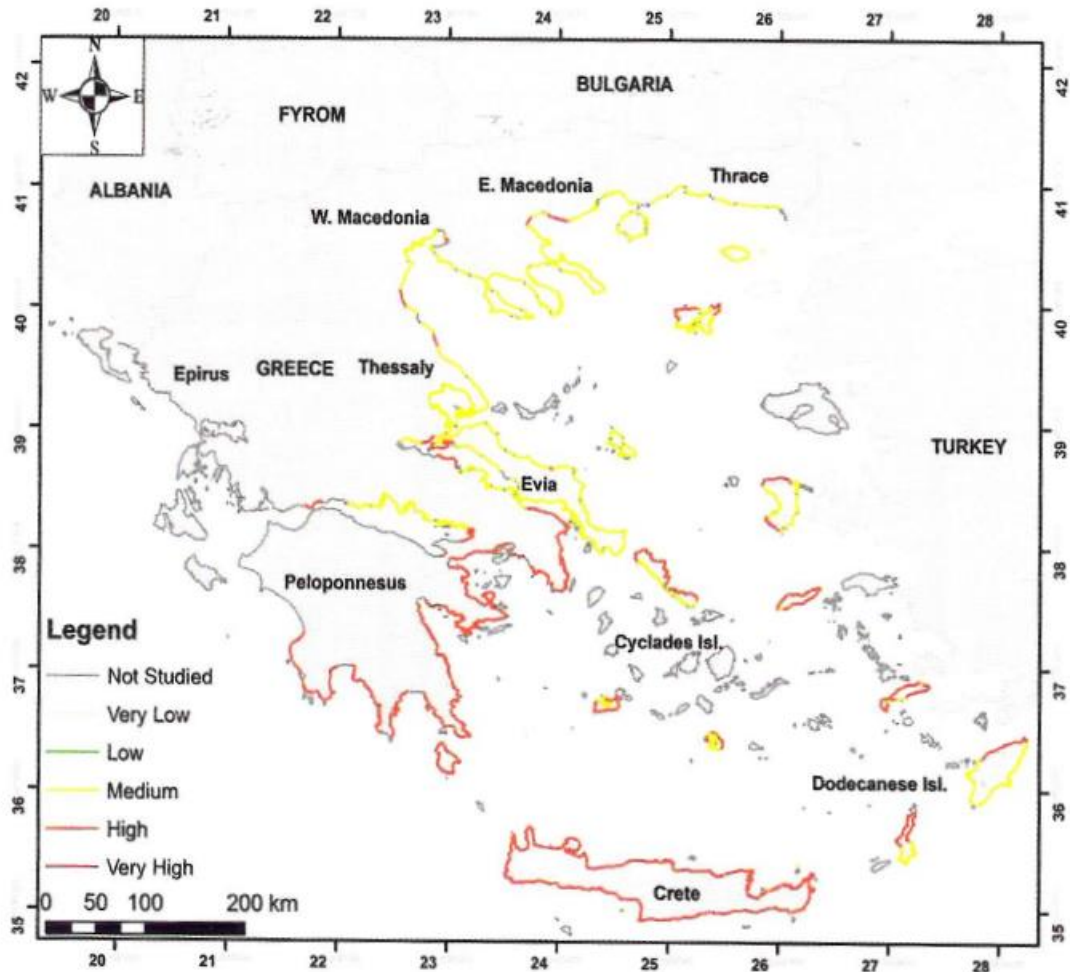
Στον χάρτη της εικόνας 15 απεικονίζονται οι μεταβολές της θαλάσσιας στάθμης στη Μεσόγειο για την περίοδο 1999-2006, όπου είναι εμφανές ότι υπάρχει μία τάση ανόδου της θαλάσσιας στάθμης κυρίως στην Ανατολική Μεσόγειο με έναν μέσο ρυθμό που φτάνει τα 12 mm/y. Συγκεκριμένα, ο ελλαδικός χώρος εμφανίζει τον υψηλότερο ρυθμό ανόδου, όπου η μέγιστη τιμή του φτάνει ακόμη και τα 15 mm/y. Συνεπώς, λαμβάνοντας υπόψη την ανοδική τάση που εμφανίζει η θαλάσσια στάθμη κατά τις τελευταίες δεκαετίες σε συνδυασμό με τις προβλέψεις για μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης από 0.2-2 m έως το 2100 (υποκεφάλαιο 1.2), είναι απαραίτητη η διερεύνηση των περιοχών υψηλής επικινδυνότητας λόγω ευστατικής ανόδου, καθώς απειλείται άμεσα ο παράκτιος ζωτικός τους χώρος.



Εικόνα 15: Ευστατικές μεταβολές στη Μεσόγειο για την περίοδο 1999-2006 (πηγή: <https://www.grida.no/resources/5892>).

3.1.1. Μεταβολή της ελληνικής ακτογραμμής λόγω ευστατικής ανόδου

Στον ελλαδικό χώρο εκτιμάται ότι ο ρυθμός ανόδου της θαλάσσιας στάθμης έως το 2099 θα κυμανθεί μεταξύ 2.2 mm/γ και 6.5 mm/γ (IPCC, 2014), ενώ σε ένα πιο ακραίο σενάριο ίσως φτάσει μεταξύ 16 έως και 22 mm/γ (Παπανικολάου κ.α., 2011). Για ένα πιθανολογικό σενάριο ανόδου της θαλάσσιας στάθμης πάνω από 3.5 mm/γ, όπως προβλέπει η IPCC (2014) για τα επόμενα έτη, σχεδόν όλες οι ακτογραμμές του Αιγαίου θα απειλούνται από την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης (εικόνα 16), αφού κατατάσσονται ως μέτριας-υψηλής επικινδυνότητας (Αλεξανδράκης, 2009).



Εικόνα 16: Παράκτια επικινδυνότητα των ακτογραμμών του Αιγαίου για μια ενδεχόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης μεγαλύτερης των 3.5 mm/y (Αλεξανδράκης, 2009).

Ωστόσο, για την αξιόπιστη εκτίμηση της παράκτιας επικινδυνότητας μιας περιοχής από ενδεχόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη όχι μόνο ο ρυθμός ανόδου της αλλά και η τεκτονική δραστηριότητα μιας περιοχής, η μεταβολή των στερεοπαροχών καθώς και η μορφολογία, το υψόμετρο της ακτής και η σύσταση των πετρωμάτων της (Παπανικολάου κ.α., 2011).

Επιπλέον, βασικός παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη, στα δελταϊκά περιβάλλοντα, είναι η συμπύκνωση των δελταϊκών ιζημάτων, η οποία λαμβάνει χώρα με την πάροδο του χρόνου. Το

φαινόμενο οφείλεται στην ταχεία καθίζηση του εδάφους, η οποία προκύπτει λόγω συμπίεσης των ιζημάτων και αφυδάτωσης. Αποτέλεσμα της διαδικασίας αυτής είναι η σταδιακή απώλεια γης, η οποία σε συνδυασμό με μία ενδεχόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης, δύναται να οδηγήσει σε σημαντικό περιορισμό του παράκτιου ζωτικού χώρου των δέλτα έχοντας άμεσες κοινωνικο-οικονομικές επιπτώσεις στις περιοχές που τα φιλοξενούν. Έρευνες σε δελταϊκά περιβάλλοντα (Parcharidis et al., 2011; Tragaki et al., 2018) έχουν δείξει ότι εμφανίζουν υψηλά ποσοστά αύξησης της θαλάσσιας στάθμης λόγω της ταχείας καθίζησης του εδάφους, το οποίο σε συνδυασμό με τη χαμηλή μορφολογική κλίση τους, τα κατατάσσει στις περιοχές υψηλής επικινδυνότητας στην άνοδο της θαλάσσιας στάθμης.

Τεκτονική δραστηριότητα – ρυθμός ανόδου θαλάσσιας στάθμης

Η Ελλάδα παρουσιάζει έντονη τεκτονική δραστηριότητα, η οποία συνδέεται άμεσα με φαινόμενα ανύψωσης-βύθισης της χέρσου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την υπερεκτίμηση (αν πρόκειται για βύθιση της χέρσου) ή την υποεκτίμηση (αν πρόκειται για ανύψωση της χέρσου) της σχετικής ανόδου της θαλάσσιας στάθμης.

Μεταβολή των στερεοπαροχών – ρυθμός ανόδου θαλάσσιας στάθμης

Στις εκβολές μεγάλων ποταμών παρατηρείται είτε πρόσχωση λόγω εναπόθεσης ιζήματος στη δελταϊκή ζώνη, όπου στην περίπτωση αυτή ο ρυθμός ανόδου της θαλάσσιας στάθμης θα είναι ηπιότερος, είτε οπισθοχώρηση της δελταϊκής ακτογραμμής λόγω μείωσης της στρεοπαροχής του ποταμού, όπου ο ρυθμός ανόδου θα είναι εντονότερος.

Επικινδυνότητα μιας περιοχής – ρυθμός ανόδου θαλάσσιας στάθμης

Η μορφολογία, το υψόμετρο και η σύσταση των πετρωμάτων της παράκτιας ζώνης καθορίζουν κατά κύριο λόγο την τρωτότητά της στην άνοδο της θαλάσσιας στάθμης. Καθοριστικό ρόλο στον βαθμό διάβρωσης μιας περιοχής παίζει η σύσταση των πετρωμάτων της, όπου σε συμπαγή πετρώματα εμφανίζεται να είναι χαμηλός, ενώ σε πιο μαλακά εδάφη αρκετά υψηλός. Στον ελλαδικό χώρο, η επικινδυνότητα των περιοχών στην άνοδο της θαλάσσιας

στάθμης διακρίνεται σε παράκτιες περιοχές υψηλής, μέσης και χαμηλής επικινδυνότητας ως εξής:

- Παράκτιες περιοχές υψηλής επικινδυνότητας στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας: απαντώνται δελταϊκές αποθέσεις όπου είναι χαλαρά μη συνεκτικά ιζήματα και το απόλυτο υψόμετρο της περιοχής είναι χαμηλό.
- Παράκτιες περιοχές μέσης επικινδυνότητας στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας: απαντώνται νεογενή και τεταρτογενή μαλακά ιζήματα όπου το απόλυτο υψόμετρο της περιοχής είναι συνήθως χαμηλό.
- Παράκτιες περιοχές χαμηλής επικινδυνότητας στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας: απαντώνται βραχώδεις σχηματισμοί, κυρίως αλπικά πετρώματα.

Συνεπώς, κατά την εκτίμηση της μεταβολής της θαλάσσιας στάθμης, θα πρέπει όλοι οι παραπάνω παράγοντες να λαμβάνονται υπόψη, ώστε να διεξάγονται ορθά και αξιόπιστα συμπεράσματα σχετικά με τον ρυθμό ανόδου της.

Στον ελλαδικό χώρο, εκτιμάται ότι το 25.2% του συνολικού μήκους των ακτογραμμών θα βρίσκεται υπό διάβρωση, λόγω ευστατικής ανόδου, με την Κρήτη να εμφανίζει το υψηλότερο ποσοστό. Περίπου το 65.8% της συνολικής ακτογραμμής της Κρήτης απειλείται με διάβρωση, το οποίο αντιστοιχεί σε έκταση ~756 km από το σύνολο των 1148 km μήκους της (πίνακας 2). Έπειτα ακολουθούν οι ακτογραμμές του Ιονίου, του Β. Αιγαίου και τέλος του Ν. Αιγαίου (EUROSION, 2004).

Πίνακας 2: Εκτίμηση του ποσοστού των ακτογραμμών που θα βρίσκονται υπό καθεστώς διάβρωσης κατά την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης (EUROSION, 2004).

Περιοχή	Μήκος ακτο- γραμμής, km)	Μήκος ακτογραμμής (km) υπό διάβρωση
Β. Αιγαίο	1311	231 (17.6%)
Ν. Αιγαίο	3423	503 (14.7%)
Ιόνιο	1056	260 (24.6%)
Κρήτη	1148	756 (65.8%)
Σύνολο	6938	1750 (25.2%)

Λαμβάνοντας υπόψη την οπισθοχώρηση της ακτογραμμής κατά το παρελθόν και πιθανή άνοδο της μέσης θαλάσσιας στάθμης κατά 1m, εκτιμάται ότι έως το 2100 (Δουκάκης, 2007), ο μέσος ετήσιος ρυθμός μεταβολής της ακτογραμμής για έναν μεγάλο αριθμό παράκτιων περιοχών του ελλαδικού χώρου θα είναι της τάξης του -1 m/γ. Ο ρυθμός αυτός υποδηλώνει τάσεις έντονης διάβρωσης το οποίο θα έχει ως αποτέλεσμα σοβαρές επιπτώσεις στις παράκτιες εγκαταστάσεις και υποδομές των περιοχών αυτών αλλά και περιορισμό σε μεγάλο βαθμό του παράκτιου ζωτικού χώρου τους.

ΚΕΦ.4: Εκτίμηση της παράκτιας επικινδυνότητας

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της παράκτιας επικινδυνότητας η οποία οφείλεται σε ενδεχόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης. Απώτερος στόχος τους είναι η αναγνώριση και εκτίμηση των επιπτώσεων της ευστατικής ανόδου στην παράκτια ζώνη και ο τρόπος διαχείρισης των επιπτώσεων αυτών μέσω λήψης κατάλληλων μέτρων για την προστασία τους.

Οι κυριότερες μέθοδοι εκτίμησης της παράκτιας επικινδυνότητας βασίζονται σε παραμετρικά/αναλυτικά (Edelman 1972; Bruun 1988; Dean 1991 models) και μορφοδυναμικά μοντέλα (SBEACH, Leont'yeu and XBeach; Anastasiou and Sylaios, 2016), στην εφαρμογή στατικών μοντέλων κατάκλισης, 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) καθώς και σε δεδομένα μετατόπισης ακτογραμμών βάσει ιστορικών διαγραμμάτων.

Ωστόσο, η πρόβλεψη της εξέλιξης της παράκτιας ζώνης έπεται από ενδεχόμενη ευστατική άνοδο δεν δύναται πάντοτε να ποσοτικοποιηθεί, γι' αυτό σε αρκετές περιπτώσεις γίνεται εκτίμηση της σχετικής επικινδυνότητας των διαφόρων παράκτιων περιβαλλόντων ως προς την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης. Για την επίτευξη αυτού χρησιμοποιούνται οι παράγοντες που σχετίζονται με την εξέλιξη και διαμόρφωση των παράκτιων ζωνών όπως: το γεωλογικό καθεστώς που επικρατεί στην εκάστοτε παράκτια ζώνη, η κλίση της, ο ρυθμός μετατόπισης της ακτογραμμής, ο ρυθμός μεταβολής της θαλάσσιας στάθμης, το κυματικό καθεστώς και το καθεστώς ανέμων αλλά και οι παλίρροιες. Κάθε παράγοντας κατηγοριοποιείται ως προς την επικινδυνότητά του (χαμηλή, μεσαία και υψηλή επικινδυνότητα) και στη συνέχεια συνεκτιμούνται συνολικά προκειμένου να χρησιμοποιηθούν για την κατηγοριοποίηση της παράκτιας ζώνης ανάλογα με την επικινδυνότητά της (Καρύμπαλης κ.α., 2008). Η κατηγοριοποίηση αυτή αποτελεί ένα πολύ σημαντικό εργαλείο για την ορθή διαχείριση των παράκτιων ζωνών που απειλούνται με ευστατική άνοδο, καθώς παρέχει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τους φυσικούς κινδύνους

που αναμένεται να αντιμετωπίσουν οι παράκτιες ζώνες έπειτα από ενδεχόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης.

Μια από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες μεθόδους εκτίμησης της παράκτιας επικινδυνότητας μιας περιοχής λόγω ευστατικής ανόδου είναι ο υπολογισμός του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας - CVI (Δουκάκης, 2007), ο οποίος έχει εφαρμοστεί εκτενώς σε μελέτες που σχετίζονται με την ευαλωτότητα παράκτιων ζωνών στην άνοδο της θαλάσσιας στάθμης και είναι παρόμοιος με παλαιότερες προσεγγίσεις των Gornitz et al. (1991) και Thieler and Hammar-Klose (1999).

4.1. Δείκτης Παράκτιας Τρωτότητας – Coastal Vulnerability Index (CVI)

Ο Δείκτης Παράκτιας Τρωτότητας (CVI) αποτελεί ένα μαθηματικό μοντέλο το οποίο δημιουργήθηκε για την ανάδειξη των παράκτιων περιοχών που αναμένεται να κατακλυστούν από ενδεχόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης (Gornitz et al, 1994; Thieler and Hammar-Klose, 1999; Hammar-Klose and Thieler, 2001). Έχουν αναπτυχθεί διάφοροι δείκτες παράκτιας τρωτότητας με τον πιο ευρέως εφαρμοσμένο να είναι αυτόν που προτάθηκε από τους Thieler και Hammar-Klose (1999). Ο δείκτης έχει εφαρμοστεί από πολλούς ερευνητές (Dwarakish et al., 2009; Gaki-Papanastassiou et al., 2011; Gorokhovich et al., 2014; Mujabar et al., 2013; Karymbalis et al., 2014) προκειμένου να εκτιμηθούν οι παράκτιες περιοχές που κινδυνεύουν από ενδεχόμενη άνοδο της στάθμης και έχουν κατά καιρούς προταθεί αρκετές τροποποιήσεις αυτού (Boruff et al., 2005; Abuodha and Woodroffe, 2006; Fraile Jurado, 2011), ανάλογα με τις ανάγκες της κάθε έρευνας (πίνακας 3).

Πίνακας 3: Δείκτες εκτίμησης της παράκτιας τρωτότητας από ενδεχόμενη 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, προσαρμοστικότητα και χρήσεις γης.	Carter (1990)
Δείκτης Τρωτότητας (Vulnerability Index)	Μ. Βρετανία	Συχνότητα εκδήλωσης διαταραχών στην ακτή, χρόνος αποκατάστασης.	Pethick και Crooks (2000)

Ο δείκτης CVI λαμβάνει υπόψη του έξι μεταβλητές (εξ.1) οι οποίες παίζουν κυρίαρχο ρόλο στη διαμόρφωση και εξέλιξη της παράκτιας ζώνης (Gornitz et al., 1991).

[εξ. 1]

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

Όπου, a: Γεωλογία – Γεωμορφολογία, b: Παράκτια κλίση, c: Σενάρια ανόδου στάθμης θάλασσας, d: Ρυθμός μεταβολής ακτογραμμής, e: Μέσο σημαντικό ύψος κύματος, f: Μέσο εύρος παλίρροιας

Οι μεταβλητές που χρησιμοποιεί ο δείκτης CVI είναι η γεωμορφολογία, η παράκτια κλίση, η σχετική μεταβολής της θαλάσσιας στάθμης, η μετατόπιση της ακτογραμμής, το μέσο σημαντικό ύψος κύματος και το παλιρροιακό εύρος.

- Γεωμορφολογία: η μεταβλητή αυτή περιλαμβάνει τα γεωλογικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης και των επιμέρους τμημάτων της. Είναι ποιοτική μεταβλητή γι' αυτό και εκτιμάται η σχετική αντίδραση της ακτογραμμής στην άνοδο της θαλάσσιας στάθμης (Παναγιωτίδης και Χατζημπίρος, 2004). Ο βαθμός με τον οποίο επιδρά η γεωμορφολογία στην εκτίμηση του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας, εξαρτάται από την παράκτια κλίση. Κάθε παράκτια περιοχή, ανάλογα με τη σύσταση, την κλίση και τη συνοχή των πετρωμάτων της, αλλά και την επικρατούσα βλάστηση, επηρεάζεται σε διαφορετικό βαθμό από τη διάβρωση λόγω ανόδου της θαλάσσιας στάθμης, της δράσης του κυματισμού και γενικά των ακραίων καιρικών φαινομένων. Γενικά, οι *βραχώδεις ακτές*, οι *ακτές με παγετώδεις βράχους* και οι *ακτές των φιόρδ* παρουσιάζουν τη μικρότερη επικινδυνότητα. Οι *αμμώδεις ακτές* συναντώνται συχνά στον ελλαδικό χώρο και εμφανίζουν αρκετά υψηλή επικινδυνότητα λόγω της κοκκομετρίας τους - λεπτόκοκκα υλικά τα οποία θρυμματίζονται εύκολα. Παρόμοιας επικινδυνότητας είναι και οι ακτές που βρίσκονται κοντά στις εκβολές μεγάλων ποταμών, όπου σχηματίζονται αρκετοί κόλποι, οι οποίοι είναι άμεσα εκτεθειμένοι στη δράση της παλίρροιας. Τα παράκτια αλμυρά έλη αν και εμφανίζουν έντονη βλάστηση, η οποία είναι ιδιαίτερα ανθεκτική στο θαλασσινό νερό, ωστόσο, εμφανίζουν μεγάλη επικινδυνότητα σε ενδεχόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης. Το ίδιο παρατηρείται και για τα κοραλλιογενή νησιά και τους

κοραλλιογενείς υφάλους, σχηματισμούς ιδιαίτερα εύθραυστους λόγω της σύστασής τους (ανθρακικό ασβέστιο).

- Παράκτια κλίση: η μεταβλητή αυτή δίνει τη δυνατότητα εκτίμησης του κινδύνου κατάκλισης μιας παράκτιας περιοχής καθώς και της υποχώρησης της ακτογραμμής (Thieler and Hammar-Klose, 1999). Η κλίση μίας ακτής είναι άμεσα συνυφασμένη με τη φυσική αντοχή της αλλά και με την ταχύτητα υποχώρησής της σε ενδεχόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης. Ακτές με ήπια κλίση επηρεάζονται πολύ περισσότερο από ενδεχόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης συγκριτικά με ακτές που οι κλίσεις τους είναι πιο απότομες, αφού δρουν ως φυσικό εμπόδιο στην άνοδο της θαλάσσιας στάθμης.
- Σχετική άνοδος της θαλάσσιας στάθμης: η μεταβλητή αυτή λαμβάνει υπόψη τη σχετική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης της περιοχής και προέρχεται από διάφορες πηγές, όπως μετρήσεις παλιρροιογράφων. Για την εκτίμηση της σχετικής ανόδου της μέσης θαλάσσιας στάθμης έχουν τοποθετηθεί παλιρροιακοί σταθμοί είτε στην παράκτια ζώνη είτε μέσα στη θάλασσα, οι οποίοι μετρούν τις αυξομειώσεις της μέσης ετήσιας θαλάσσιας στάθμης. Μετρήσεις παλιρροιογράφων έχουν δείξει ότι η στιγμιαία θαλάσσια στάθμη μπορεί να μεταβληθεί έως και 10 m ημερησίως ενώ σε μηνιαία βάση η μεταβολή κατά μέσο όρο είναι της τάξης των μερικών cm. Σε ετήσια βάση, παραμένει σχεδόν σταθερή για αρκετές δεκαετίες. Ως Μέση Θαλάσσια Στάθμη υπολογίζεται ο μέσος όρος των ωριαίων υψών κατά τη διάρκεια ενός έτους (Ξύξη, 2004).
Για την εκτίμηση της παράκτιας επικινδυνότητας μιας περιοχής βάσει μεταβολής της θαλάσσιας στάθμης δεν λαμβάνονται υπόψη οι τοπικές ανυψώσεις, οι καθιζήσεις και οι ανθρωπογενείς παρεμβάσεις στον πυθμένα, αλλά η μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης λόγω της μεταβολής της παγκόσμιας θαλάσσιας στάθμης. Συνεπώς, γίνεται εκτίμηση της επικινδυνότητας για κάθε τμήμα της ακτογραμμής βάσει της καμπύλης των παγκόσμιων μεταβολών της θαλάσσιας στάθμης την οποία προσαρμόζουμε στις τοπικές συνθήκες (Σιαφάκας, 2003).

- Ρυθμός Μεταβολής της ακτογραμμής: η συγκεκριμένη μεταβλητή αναφέρεται στη διαχρονική μεταβολή του ορίου μεταξύ ξηράς και θάλασσας, που αποδίδεται στις διαδικασίες της διάβρωσης και της πρόσχωσης (Σαρταμπάκου, 2013). Κατά τις τελευταίες δεκαετίες ένα πολύ μεγάλο ποσοστό των αμμωδών παραλιών, παγκοσμίως, βρίσκεται υπό καθεστώς έντονης διάβρωσης. Στην εκτίμηση της παράκτιας επικινδυνότητας μιας περιοχής βάσει μεταβολής της θαλάσσιας στάθμης αυτό που λαμβάνεται υπόψη είναι ο βαθμός οπισθοχώρησης ή πρόσχωσης μιας ακτογραμμής. Για την εκτίμηση του ρυθμού μεταβολής μιας ακτογραμμής χρησιμοποιούνται δεδομένα (αεροφωτογραφίες, ορθοφωτοχάρτες, τοπογραφικά διαγράμματα κλπ) που παρουσιάζουν την ιστορική μετακίνηση της ακτογραμμής και γίνεται σύγκριση της μορφής που είχε κατά το παρελθόν σε διαφορετικά έτη με τη σημερινή ακτογραμμή (Σιαφάκας, 2003).

- Μέσο σημαντικό ύψος κύματος: η μεταβλητή αυτή λαμβάνει υπόψη το μέσο σημαντικό ύψος κύματος που χρησιμοποιείται ως δείκτης της ενέργειας των κυμάτων που προκαλεί τη μεταφορά και απόθεση των ιζημάτων στις ακτές. Σε περιοχές μικρής έκτασης συνήθως εμφανίζεται μικρό εύρος μέσου σημαντικού ύψους κύματος. Ιδιαίτερα επικίνδυνα για μία περιοχή είναι τα κύματα μεγάλου ύψους τα οποία παίζουν σημαντικό ρόλο στην επικινδυνότητα μιας περιοχής. Η ενέργεια των κυμάτων δεν μεταβάλλεται όσο αυτά ταξιδεύουν στα βαθιά νερά των ωκεανών, ωστόσο μόλις πλησιάσουν στα πιο ρηχά νερά τότε παρατηρείται εξασθένιση αυτών. Αν η εξασθένιση γίνει σταδιακά, τότε η επίδραση στην ακτή είναι ελάχιστη, αφού το κύμα φτάνει αποδυναμωμένο. Αντιθέτως, όταν το κύμα φτάνοντας στην ακτή δεν συναντήσει ρηχά νερά γίνεται ιδιαίτερα απειλητικό, αφού φτάνει με πολύ μεγάλη ενέργεια με αποτέλεσμα να κινδυνεύει η ακτή με κατακλυσμό (Σιαφάκας, 2003).

- Μέσο εύρος παλίρροιας: η μεταβλητή αυτή λαμβάνει υπόψη τη διαδοχική εναλλασσόμενη ανύψωση και πτώση του επιπέδου της θάλασσας σε σχέση με τη ξηρά, που είναι αποτέλεσμα της βαρυτικής έλξης που ασκείται στη γη από τον ήλιο και τη

σελήνη. Κατά τη διάρκεια της παλίρροιας η θαλάσσια στάθμη ανυψώνεται (πλημμυρίδα) και υποχωρεί (άμπωτη) δύο φορές τη μέρα. Το μέσο παλιρροιακό εύρος είναι η διαφορά μεταξύ της μέσης ανώτατης θαλάσσιας στάθμης (πλήμμης) της παλίρροιας και της μέσης κατώτατης στάθμης (ρηχίας) στη διάρκεια ενός έτους. Η επικινδυνότητα μιας περιοχής εξαρτάται από το μέσο εύρος της παλίρροιας. Όταν το μέσο εύρος παλίρροιας είναι μεγάλο, η ακτή απειλείται σε μικρότερο βαθμό με κατακλυσμό.

Για τον προσδιορισμό του δείκτη CVI αρχικά γίνεται ο προσδιορισμός των βασικών μεταβλητών που καθορίζουν την εξέλιξη της παράκτιας ζώνης (Gornitz et al., 1991). Έπειτα, γίνεται κατηγοριοποίηση των τιμών των βασικών μεταβλητών, ανάλογα με την τρωτότητά τους βάσει μιας κλίμακας από 1 έως 5 (όπου 1 η χαμηλότερη τρωτότητα και 5 η υψηλότερη) και τέλος, γίνεται σύνθεση των μεταβλητών σε έναν δείκτη προκειμένου να γίνει η εκτίμηση της συνολικής επικινδυνότητας της παράκτιας ζώνης σε ενδεχόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης.

Πίνακας 4: Κατάταξη των ακτών σε κατηγορίες τρωτότητας (από πολύ χαμηλής έως πολύ υψηλής) για κάθε έναν από τους παράγοντες – μεταβλητές που λαμβάνει υπόψη ο Δείκτης Παράκτιας Τρωτότητας -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 φιορδ (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

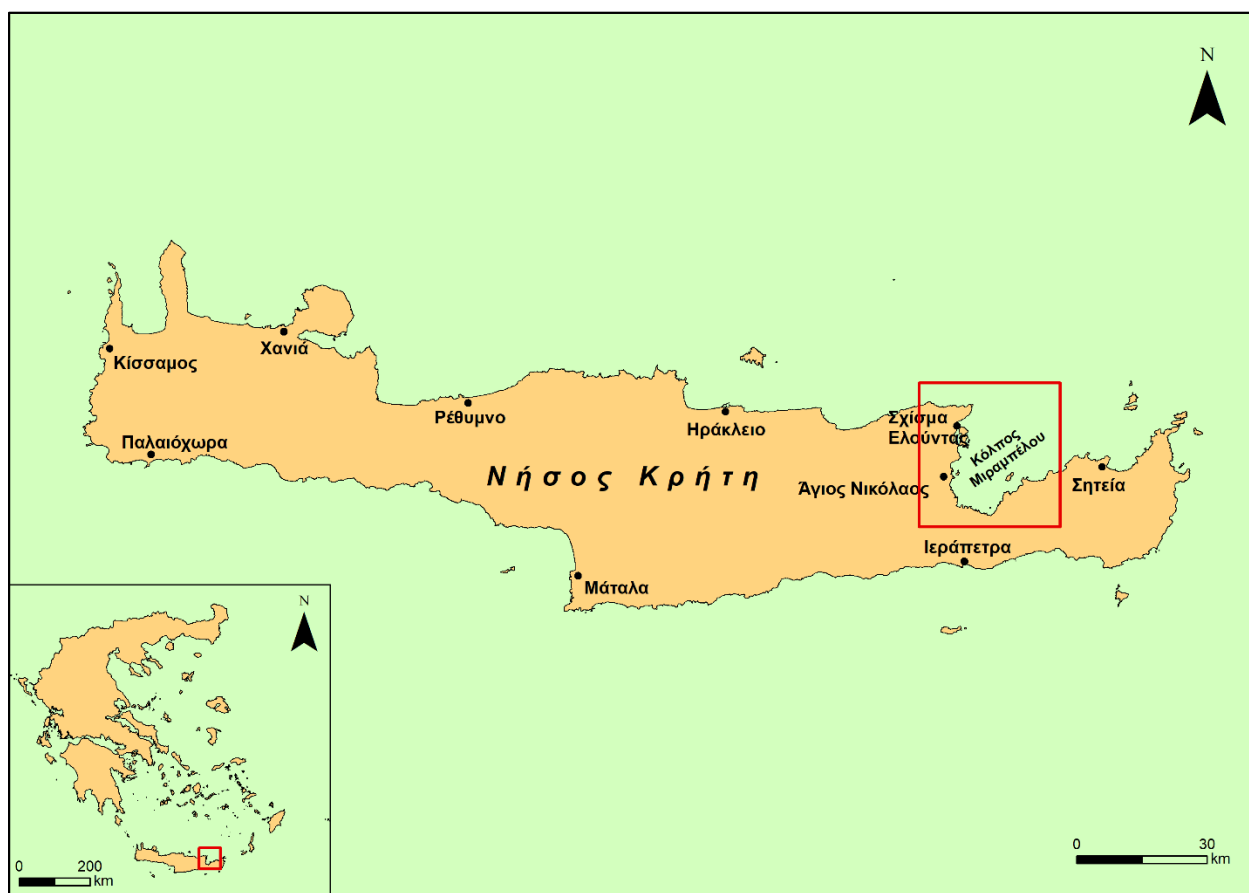
Στον παραπάνω πίνακα παρουσιάζεται η κατάταξη των ακτών ανάλογα με την τρωτότητά τους για κάθε μία από τις μεταβλητές που λαμβάνει υπόψη ο Δείκτης Παράκτιας Τρωτότητας (CVI). Η κατηγοριοποίηση έγινε βάσει κλίμακας από το 1 (πολύ μικρή τρωτότητα) έως το 5 (πολύ υψηλή τρωτότητα) και έπειτα από προσαρμογή στα δεδομένα των ελληνικών ακτών (Karymbalis et al., 2012).

Το βασικό πλεονέκτημα του δείκτη CVI είναι ότι κατηγοριοποιεί τιμές από διαφορετικές φυσικές και γεωλογικές μεταβλητές, οι οποίες επηρεάζουν άμεσα την παράκτια επικινδυνότητα μιας περιοχής και τις συνδυάζει ποσοτικά (Thieler&Hammar-Klose, 1999) βάσει μίας απλής κλίμακας βαθμονόμησης. Έτσι παρέχει τη δυνατότητα κατηγοριοποίησης τμημάτων της ακτογραμμής ως προς την τρωτότητά τους και σύγκρισης των αποτελεσμάτων διαφορετικών τμημάτων αυτής ή

και διαφορετικών περιοχών μεταξύ τους. Ωστόσο, είναι αρκετοί και οι περιορισμοί της μεθόδου καθώς συνδυάζει δεδομένα προερχόμενα από διαφορετικές πηγές όπως χάρτες, δορυφορικές εικόνες, αεροφωτογραφίες κλπ, τα οποία έχουν διαφορετική ανάλυση και ακρίβεια. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μεταφορά σφαλμάτων των επιμέρους μεταβλητών στο τελικό αποτέλεσμα (Δουκάκης, 2007) και επομένως τη διεξαγωγή εσφαλμένων συμπερασμάτων. Για τον λόγο αυτό, σε αρκετές περιπτώσεις κρίνεται απαραίτητη η περαιτέρω επεξεργασία των δεδομένων.

ΚΕΦ.5: Περιοχή μελέτης

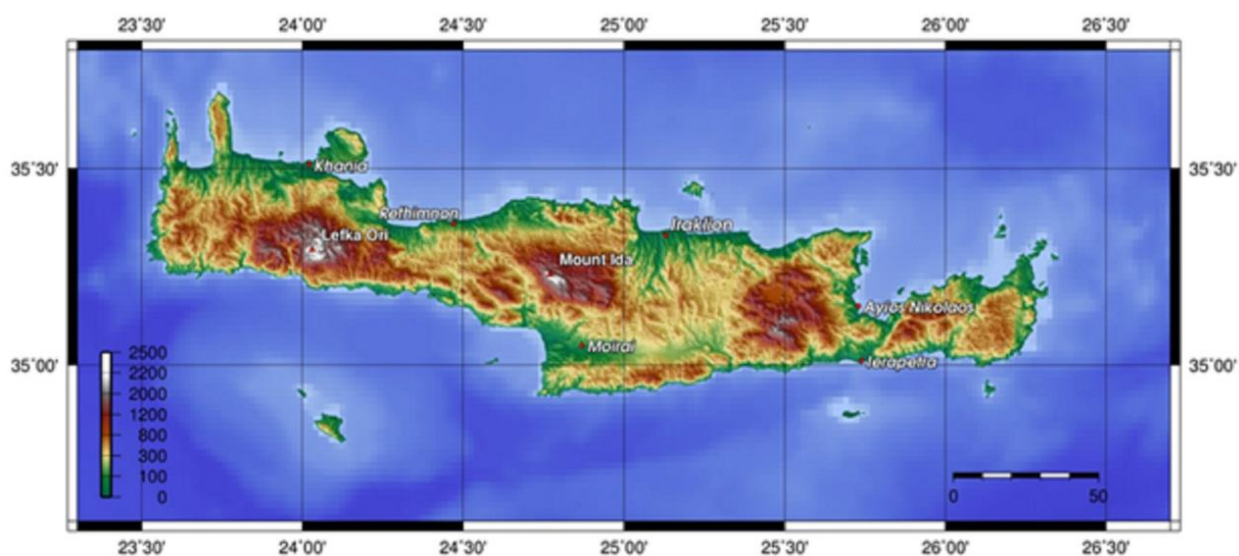
Η περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας είναι ο κόλπος του Μιραμπέλου (εικόνα 17) που βρίσκεται στον Νομό Λασιθίου της βορειοανατολικής Κρήτης. Η Κρήτη αποτελεί το μεγαλύτερο νησί της Ελλάδας και το πέμπτο σε έκταση της Μεσογείου με έκταση περίπου 8.305,7 km², μήκος 253,5 km, μέγιστο πλάτος 56 km και ελάχιστο πλάτος 12 km. Το μεγαλύτερο τμήμα του νησιού είναι ορεινό με τη παρουσία πολλών φαραγγιών και λόφων και παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον από τεκτονικής άποψης αφού απαντώνται, σε όλο το μήκος του, αρκετά ρήγματα ενώ ταυτόχρονα βρίσκεται στο όριο μεταξύ της ευρωπαϊκής και της αφρικανικής τεκτονικής πλάκας (Fassoulas, 2000).



Εικόνα 17: Περιοχή μελέτης.

5.1. Μορφολογία και κλίμα

Σε γενικές γραμμές η Κρήτη θα μπορούσε να θεωρηθεί ορεινό νησί αφού το μεγαλύτερο μέρος των εκτάσεών της βρίσκεται σε υψόμετρο μεγαλύτερο των 100 m. Το ένα δέκατο περίπου της συνολικής έκτασης του νησιού έχει υψόμετρο μικρότερο των 100 m, ένα μεγάλο τμήμα κυμαίνεται μεταξύ 100-400 m και 400-800 m, ενώ το υπόλοιπο ξεπερνά τα 800 m. Οι μεγαλύτεροι ορεινοί όγκοι του νησιού είναι ο Ψηλορείτης (Ίδη) και τα Λευκά Όρη (Μαδάρες) και ακολουθεί το όρος Δίκτη. Πέραν των ορεινών όγκων του νησιού, αρκετά είναι και τα οροπέδια που απαντώνται με κυριότερο το οροπέδιο του Λασιθίου (εικόνα 18). Επιπλέον, υπάρχουν αρκετές πεδιάδες με κυριότερη την πεδιάδα της Μεσαράς. Στο νησί δεν συναντώνται ποτάμια λόγω του σχήματός του, του καθεστώτος των βροχοπτώσεων αλλά και λόγω και της σύστασης και της μορφολογίας των πετρωμάτων του (Φυτρολάκης, 1980).



Εικόνα 18: Τοπογραφικός χάρτης της Κρήτης
(https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Crete_topo.png&oldid=596100838)

Το κλίμα της Κρήτης είναι μεσογειακό, εκτός από το ΝΑ τμήμα της το οποίο ανήκει σε διαφορετική κατηγορία, στο ερημοειδές μεσογειακό (Κοτίνη-Ζάμπακα, 1983). Το μεγαλύτερο ποσοστό των βροχοπτώσεων στο νησί παρατηρείται από τον Σεπτέμβριο έως τον Μάιο, ενώ το

μέγιστο ύψος βροχοπτώσεων παρατηρείται τους μήνες Δεκέμβριο έως Ιανουάριο. Το ύψος των βροχοπτώσεων μειώνεται από τα δυτικά προς τα ανατολικά, φτάνοντας στα 600 mm στις παράκτιες βορειοδυτικές περιοχές και στα 350 mm στις παράκτιες βορειοανατολικές περιοχές. Το αντίθετο παρατηρείται με τις θερμοκρασίες, όπου στην ανατολική πλευρά του νησιού οι θερμοκρασίες είναι κατά 2-3 °C πιο αυξημένες απ'ότι στη δυτική πλευρά.

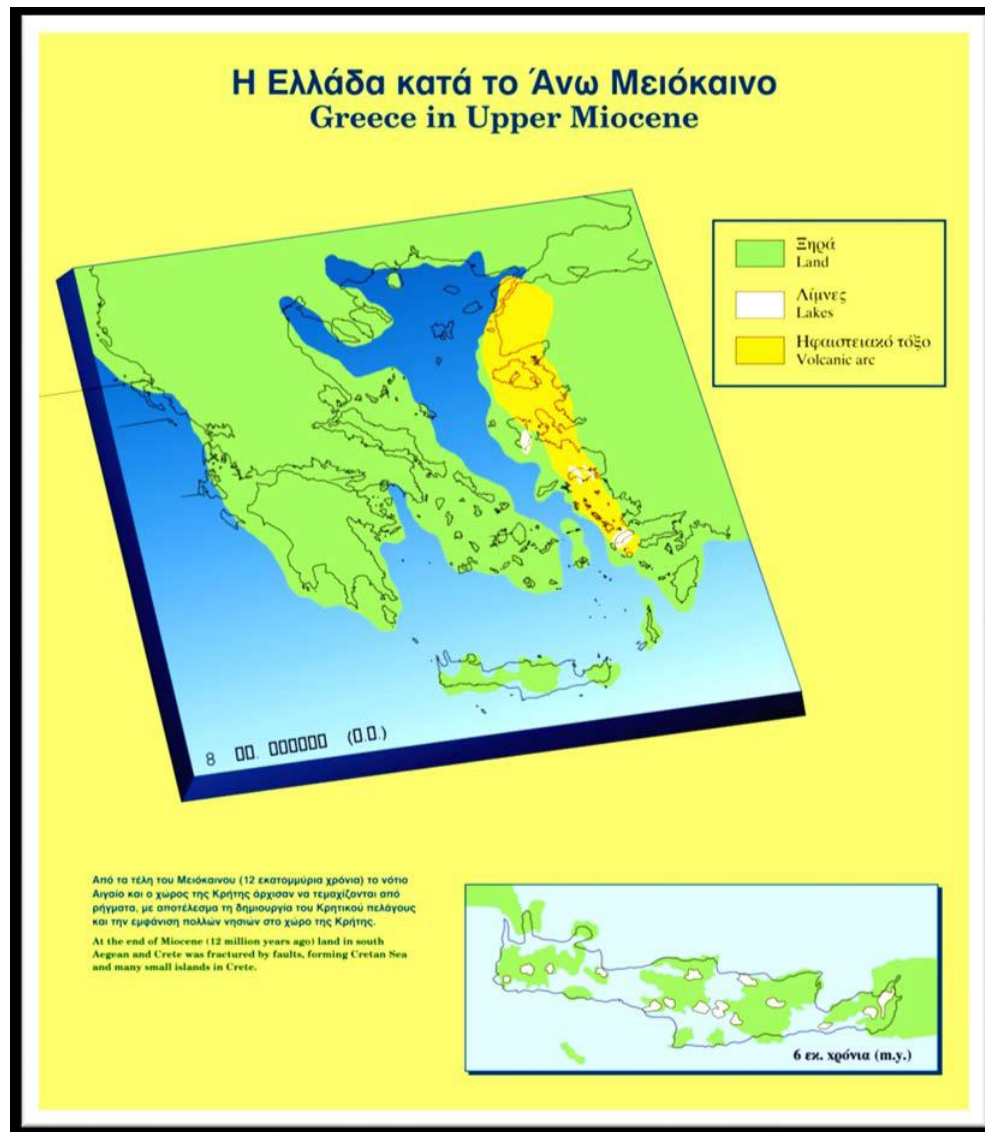
5.2. Η γεωλογική και παλαιογεωγραφική εξέλιξη τη Κρήτης

Η γεωλογική και παλαιογεωγραφική εξέλιξη της Κρήτης είναι άμεσα συνδεδεμένη με τη γεωλογική εξέλιξη του ευρύτερου ελλαδικού χώρου. Η Κρήτη εμφανίζει πολύπλοκη γεωλογική δομή, η οποία είναι αποτέλεσμα των τεκτονομεταμορφικών διαδικασιών που έλαβαν χώρα κατά τη διάρκεια της αλπικής ορογένεσης στην Ανατολική Μεσόγειο. Με τη γεωλογική εξέλιξη του νησιού ασχολήθηκαν αρκετοί ερευνητές (Sprat, 1865; Renz, 1930; Κισκύρας 1962; Φυτρολάκης, 1980; Δερμιτζάκης, 1969; Bonneau, 1973 κ.α.) κατά το παρελθόν λόγω της ποικιλίας των γεωλογικών σχηματισμών που απαντώνται σε όλη την έκτασή του, της πολύπλοκης τεκτονικής του αλλά και της γεωγραφικής θέσης του τόσο στον ελλαδικό όσο και στον μεσογειακό χώρο.

5.2.1. Η παλαιογεωγραφική εξέλιξη της Κρήτης

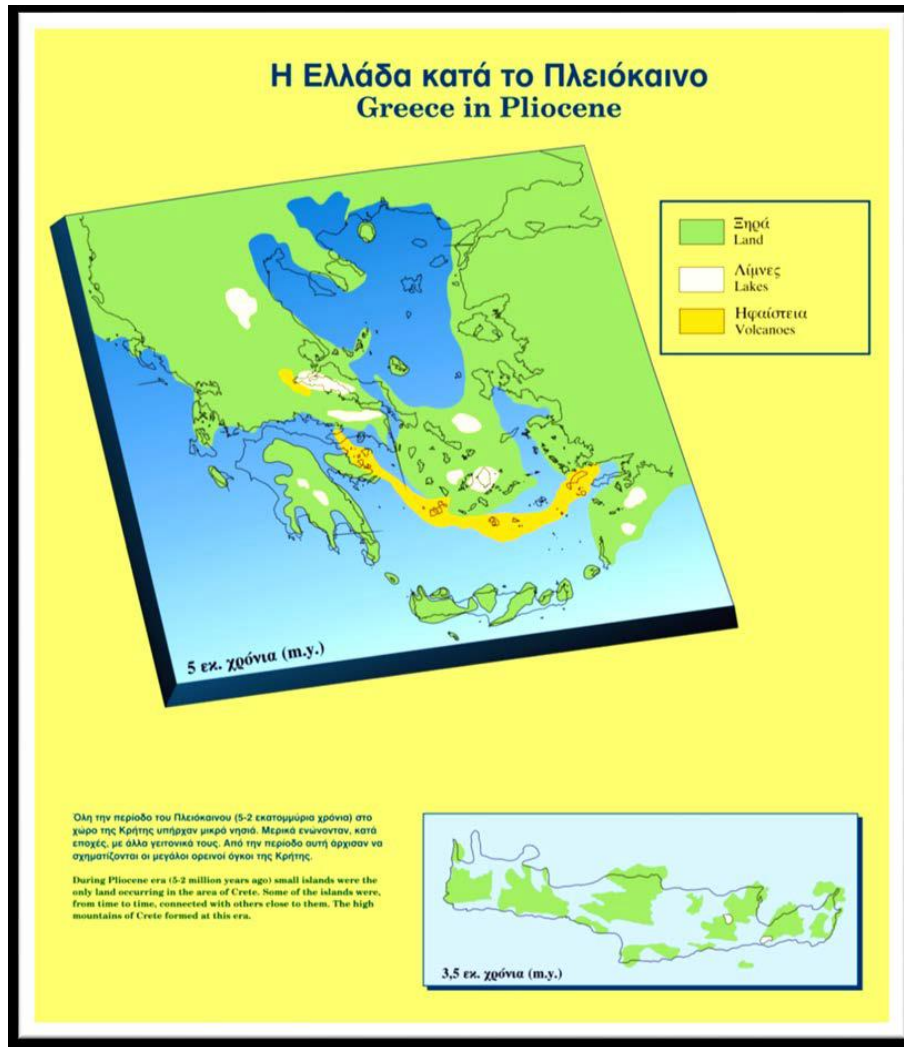
Κατά τη διάρκεια του Κατώτερου Μειοκαίνου, η Κρήτη καλυπτόταν από την χέρσο της Αιγηίδος, η οποία αποτελούνταν από τις γεωτεκτονικές ζώνες των Παξών, την Αδριατικοϊόνια-στην οποία ανήκε το ΝΑ τμήμα της Κρήτης, της Κεντρικής Πελοποννήσου-Κρήτης στην οποία ανήκε τότε η υπόλοιπη Κρήτη, της Παρνασσού-Γκιώνας, της Ανατολικής Ελλάδας και του Αξιού. Έπειτα, κατά το Μέσο Μειόκαινο μεγάλο τμήμα της κεντρικής και ανατολικής Κρήτης βυθίστηκε κάτω από τη θάλασσα. Την περίοδο αυτή, έλαβαν χώρα αρκετές μεταβολές μεταξύ ξηράς και θάλασσας και κατά συνέπεια μετατοπίσεις ακτογραμμών, λόγω ευστατικών και τεκτονικών κινήσεων, οι οποίες έπαιξαν σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση του νησιού. Κατά τη διάρκεια του Ανώτερου Μειοκαίνου, το μεγαλύτερο τμήμα του ελλαδικού χώρου ήταν χέρσος, λόγω νέας απόσυρσης

της θάλασσας, όπως αυτό απεικονίζεται στον χάρτη της εικόνας 19 (Dermitzakis and Paranikolaou 1981).



Εικόνα 19: Ο ελλαδικός χώρος κατά τη διάρκεια του Ανώτερου Μειοκαίνου(<https://biogeographybiol313.weebly.com/uploads/2/2/1/5/22154302/05-trichas.pdf>).

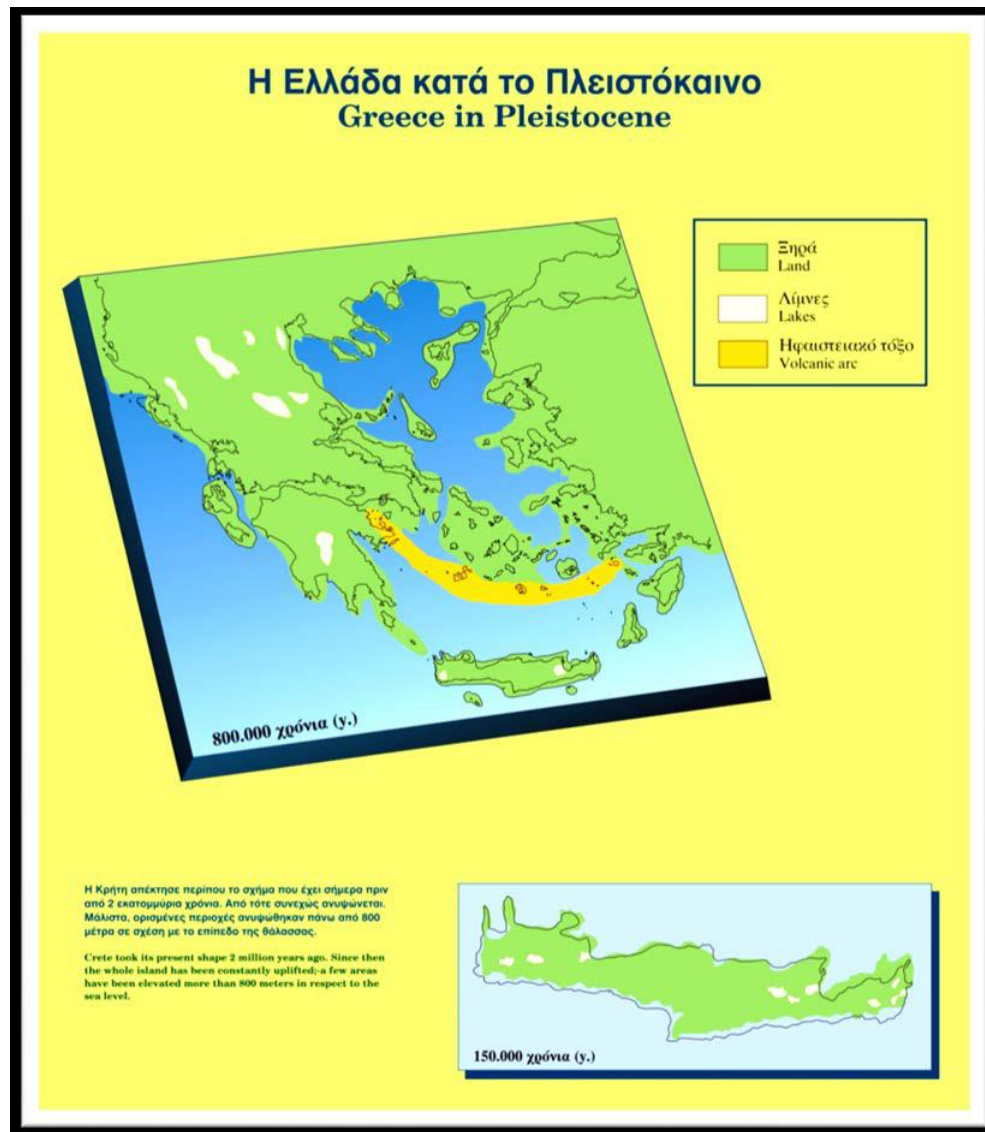
Κατά τη διάρκεια του Κατώτερου Πλειοκαίνου, η Κρήτη ήταν χέρσος και στο βόρειο τμήμα της είχε διαμορφωθεί μία μεγάλη λίμνη. Κατά το Μέσο Πλειόκαινο, πραγματοποιήθηκε νέα ορογένεση στη Κρήτη με τις οροσειρές της να καλύπτονται από ασβεστολιθικά κορήματα τα οποία στη συνέχεια έγιναν λατυποπαγή. Έπειτα, κατά το Ανώτερο Πλειόκαινο ο ελλαδικός χώρος κατακλύζεται σε αρκετά τμήματα από τη θάλασσα λόγω εισροής θαλασσινού νερού σε όλη τη Μεσόγειο, με αποτέλεσμα τμήματα που ήταν χέρσος να βυθιστούν. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η Πελοπόννησος, η οποία ήταν ενωμένη με την ηπειρωτική Ελλάδα και μετά την εισροή του θαλασσινού νερού έγινε νησί. Όσον αφορά στην Κρήτη, αποτελούσε σύμπλεγμα μικρών και μεγάλων νησιών όπως φαίνεται στην εικόνα 20 (Creutzburg, 1962; Dermitzakis and Papanikolaou, 1981).



Εικόνα 20: Ο ελλαδικός χώρος κατά τη διάρκεια του Πλειοκαίνου
(<https://biogeographybiol313.weebly.com/uploads/2/2/1/5/22154302/05-trichas.pdf>).

Κατά τη διάρκεια του Κατώτερου Πλειστοκαίνου, λαμβάνουν χώρα ευστατικές μεταβολές οι οποίες αντιστοιχούν σε θερμές και ψυχρές περιόδους. Κατά την περίοδο αυτή, η Κρήτη σχηματίζεται πλέον ως ένα ενιαίο νησί και διατηρεί αυτή τη μορφή έως και σήμερα. Στο νησί παρατηρήθηκαν αρκετές διακυμάνσεις της θαλάσσιας στάθμης, οι οποίες συνοδεύτηκαν από ανυψώσεις της χέρσου, με αποτέλεσμα τη σύνδεση της Κρήτης με την Πελοπόννησο και τη Ρόδο αλλά και ταφροειδή βυθίσματα που την απέκοπταν από αυτές. Κατά το Ανώτερο Πλειστόκαινο,

διακόπηκε η σύνδεση της Κρήτης με την Πελοπόννησο και τη Ρόδο, όπως φαίνεται στην εικόνα 21 (Ψαριανός, 1961; Dermitzakis and Papanikolaou, 1981).



Εικόνα 21: Ο ελλαδικός χώρος κατά τη διάρκεια του Πλειστοκαίνου (<https://biogeographybiol313.weebly.com/uploads/2/2/1/5/22154302/05-trichas.pdf>).

5.2.2. Η γεωλογική δομή της Κρήτης

Χαρακτηριστικό της γεωλογικής δομής της Κρήτης αποτελεί η καλυμματική τοποθέτηση τεκτονικών ενοτήτων (εικόνα 22) τοποθετημένων τη μια πάνω στην άλλη, των οποίων η σύσταση, ο βαθμός μεταμόρφωσης αλλά και η παλαιογεωγραφική προέλευση και εξάπλωση διαφέρουν αρκετά μεταξύ τους. Μεταξύ των τεκτονικών ενοτήτων εντοπίζεται μία κανονική ρηξιγενής ζώνη απόσπασης, η οποία τις χωρίζει σε δύο μεγάλες ομάδες: τα ανώτερα και τα κατώτερα καλύμματα (Kilias et al., 1993; Fassoulas et al., 1994). Σε όλη την έκταση του νησιού (εικόνα 23) απαντώνται αλπικοί και προαλπικοί σχηματισμοί, οι οποίοι εμφανίζονται στα διάφορα καλύμματα του νησιού καθώς και μεταλπικοί σχηματισμοί, οι οποίοι εμφανίζονται ασύμφωνα πάνω στα ανώτερα και στα κατώτερα καλύμματα.

Αλπικοί και προαλπικοί σχηματισμοί

Κατώτερα καλύμματα

Αποτελούνται από τρία καλύμματα: το κάλυμμα των Πλακωδών Ασβεστολίθων, το κάλυμμα του Τρυπαλίου και το κάλυμμα των Φυλλιτών-Χαλαζιτών.

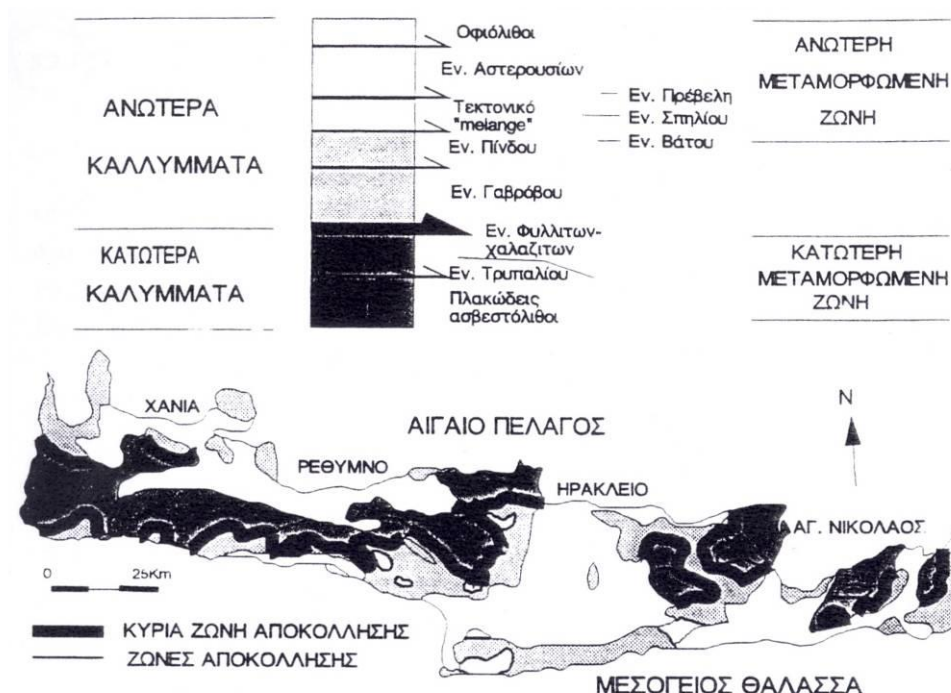
- Κάλυμμα Πλακωδών Ασβεστολίθων (Plattenkalk): αποτελείται από πλακώδεις ασβεστόλιθους με κερατολιθικές ενστρώσεις και κονδύλους, από δολομίτες, ασβεστολιθικά κροκαλοπαγή, μαζώδεις ασβεστόλιθους και φυλλιτικές παρεμβολές ηλικίας Τριαδικής έως Ηωκαινικής. Μεγάλοι ορεινοί όγκοι της Κρήτης όπως τα Λευκά Όρη και ο Ψηλορείτης δομούνται από το κάλυμμα αυτό.
- Κάλυμμα Τρυπαλίου: αποτελείται από κροκαλοπαγείς και λατυποπαγείς ασβεστόλιθους ηλικίας Άνω Τριαδικής-Κάτω Ιουρασικής ή και νεότερης. Το κάλυμμα αυτό είναι τεκτονικά επωθημένο πάνω στο κάλυμμα των Πλακωδών Ασβεστολίθων.
- Κάλυμμα των Φυλλιτών-Χαλαζιτών: αποτελείται από χαλαζίτες, φυλλίτες, μεταβασίτες, μετα-ανδρείτες, φακοειδείς ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους, μετα-κροκαλοπαγή και μετα-ψαμμίτες ηλικίας Πέρμιου-Τριαδικού. Πάνω στο κάλυμμα αυτό βρίσκεται η ζώνη Γαβρόβου-Τρίπολης και πάνω σε αυτή το τεκτονικά κάλυμμα της Πίνδου.

Ανώτερα καλύμματα

Αποτελούνται από αμεταμόρφωτα, αλπικά ιζήματα των καλυμμάτων της Τρίπολης και της Πίνδου, τα οποία είναι συνέχεια των γεωτεκτονικών ζωνών Γαβρόβου-Τρίπολης και Πίνδου (Μουντράκης, 2010).

- Κάλυμμα Τρίπολης: αποτελείται από αργιλικούς σχιστόλιθους, δολομίτες και κλαστικά ιζήματα ηλικίας Μέσο-Άνω Τριαδικής και καρστικοποιημένους ασβεστόλιθους.
- Κάλυμμα Πίνδου: αποτελείται από ραδιολαρίτες, κερατόλιθους, ασβεστόλιθους και αργίλους ηλικίας Τριαδικής έως Ιουρασικής, από έναν φλύσχη ηλικίας Άνω-Κρητιδικής και από έναν ηλικίας Παλαιοκαίνου-Ηωκαίνου, και από πελαγικούς, πλακώδεις ασβεστόλιθους ηλικίας Παλαιοκαίνου.

Επάνω από τα τεκτονικά αυτά καλύμματα εντοπίζονται τα πετρώματα των Αστερουσίων που αποτελούνται από γνεύσιους, αμφιβολίτες, χαλαζίτες και σχιστόλιθους ηλικίας Άνω-Κρητιδικής και τα πετρώματα των Οφιολίθων που αποτελούνται από σερπεντινίτες, γάββρους και περιδοτίτες ηλικίας Άνω-Ιουρασικής. Πάνω στους αλπικούς σχηματισμούς απαντώνται σε στρωματογραφική ασυμφωνία νεογενείς και τεταρτογενείς σχηματισμοί οι οποίοι εξαπλώνονται εκτενώς και σε μεγάλα πάχη κατά μήκος της παράκτιας ζώνης της Κρήτης (Χριστοδούλου, 1963).



Εικόνα 22: Τεκτονικά καλύμματα της Κρήτης (Μοιραλιώτης, 2012).

Μεταλπηκοί σχηματισμοί

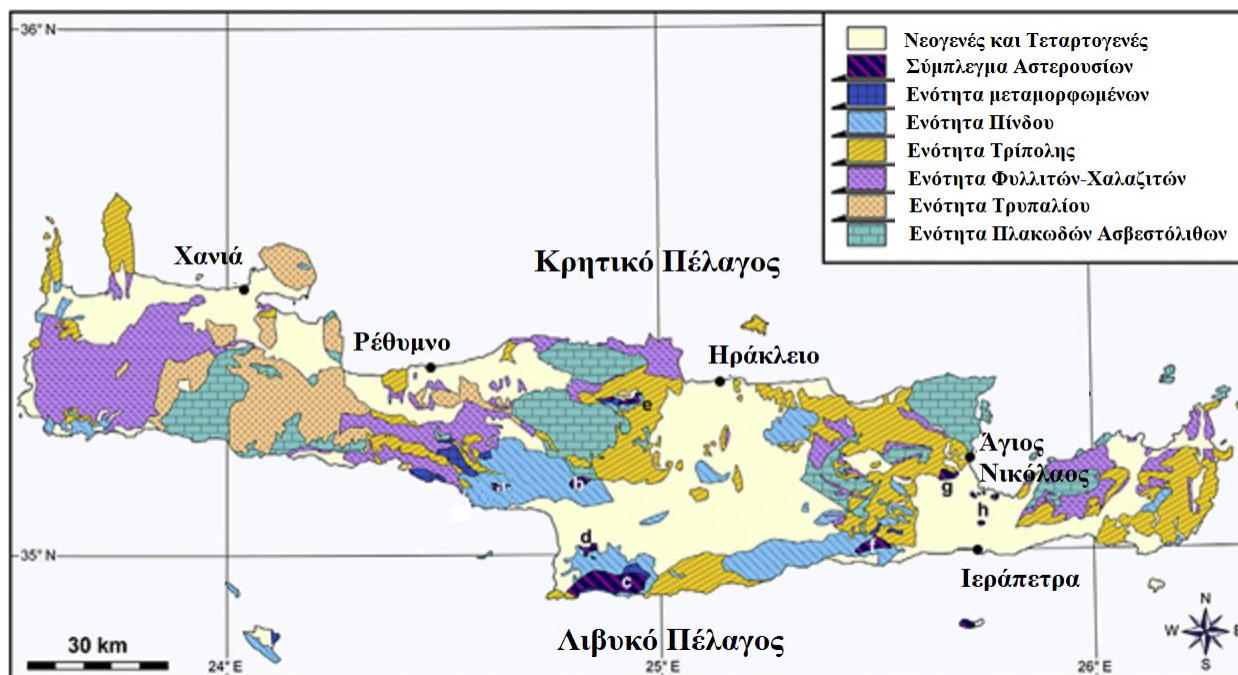
Η επώθηση των καλυμμάτων, διεύθυνσης Β-Ν, του ενός πάνω στο άλλο ολοκληρώθηκε κατά την περίοδο του Μειοκαινίου και έπειτα ξεκίνησε ο εφελκυσμός με διεύθυνση Β-Ν, ο οποίος συνεχίστηκε μέχρι το Τεταρτογενές και είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία πολλών κανονικών ρηγμάτων αποκόλλησης διεύθυνσης Α-Δ έως ΝΑ-ΒΔ, τα οποία με τη σειρά τους δημιούργησαν τις κυριότερες λεκάνες πλήρωσης με πλειοκαινικά και τεταρτογενή ιζήματα (Μουντράκης, 2010). Τα μεταλπηκά αυτά ιζήματα διακρίνονται στις ακόλουθες ενότητες:

- Ενότητα της Πρίνας: αποτελείται από τα παλαιότερα νεογενή ιζήματα που αποτέθηκαν κατά το Σερραβάλλιο και είναι κυρίως σκουρόχρωμα ασβεστολιθικά κορήματα και κροκάλες υφάλμυρου περιβάλλοντος ή ρηχής θαλάσσης (Παπαπέτρου-Ζαμάνη, 1966).
- Ενότητα Τεφελίου: αποτέθηκε σε ασυμφωνία επάνω στην ενότητα της Πρίνας κατά το Άνω Σεραβάλλιο-Κάτω Τορτόνιο και αποτελείται κυρίως από κροκαλοπαγή, αργίλους και άμμους γλυκού, θαλάσσιου ή υφάλμυρου περιβάλλοντος (Meulenkamp, 1971).
- Ενότητα Βρυσών: αποτέθηκε, κυρίως σε συμφωνία, επάνω στην ενότητα του Τεφελίου κατά το Τορτόνιο-Κάτω Μεσήνιο και αποτελείται από υφαλογενείς-κοραλλιογενείς

ασβεστόλιθους με εναλλαγές μαργών ρηχής θαλάσσης (Dermitzakis and Georgiadou, 1979).

- Ενότητα του Ελληνικού: αποτέθηκε κατά το τέλος του Μεσσηνίου και αποτελείται από χονδρόκοκκα κροκαλοπαγή μη θαλάσσιας προέλευσης και από εβαπορίτες και γύψους ποταμολιμναίου και λιμνοθαλάσσιου περιβάλλοντος (Georgiadou, 1979).
- Ενότητα Φοινικιάς: αποτέθηκε κατά το Μέσο Πλειόκαινο σε ασυμφωνία επάνω στην ενότητα του Ελληνικού και αποτελείται από μαργαϊκά κροκαλοπαγή και από λευκές μάρμες και αργίλους (ανοικτής θαλάσσης) με κατά τόπους εναλλαγές καστανόχρωμων διατομιτών (Georgiadou, 1979).

Οι μεγάλες ευστατικές μεταβολές, κατά τη διάρκεια του Πλειστοκαίνου, είχαν ως αποτέλεσμα την εναπόθεση των τεταρτογενών σχηματισμών: αναβαθμίδες και ασβεστόλιθοι θαλάσσιας προέλευσης, κροκαλοπαγή και άμμοι χερσαίας προέλευσης στην παράκτια ζώνη της Κρήτης (Drinia et al., 2001).

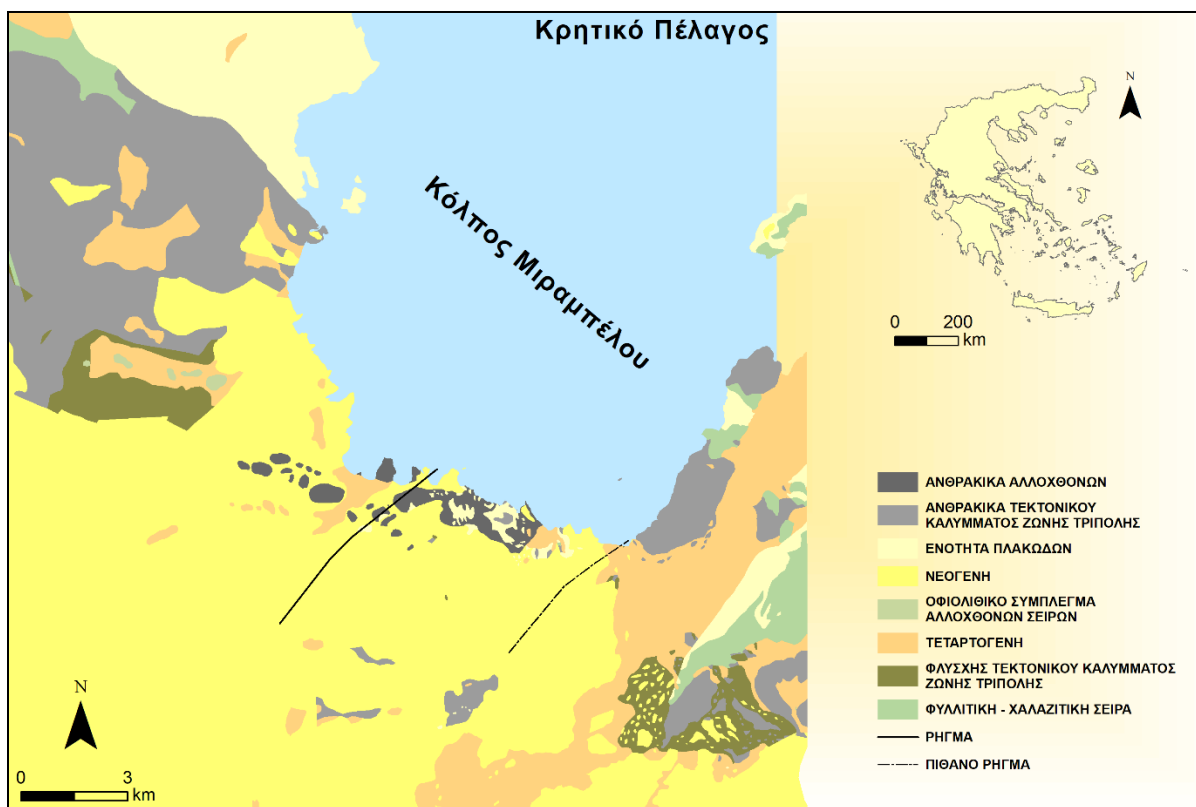


Εικόνα 23: Γεωλογικός χάρτης της Κρήτης: (α) Μέλαμπες, (b) Καμάρες-Μαγκαρικάρι, (c) Καλοί Λιμένες-Λέντας, (d) Πετροκεφάλι-Κουσές, (e) Ανώγεια-Γωνιές (f) Όρος Δίκτη (Πεύκος-Καλάμι-Συκολόγος), (g) Κριτσά, (h) Καλό Χωριό-Παχειά Άμμος (τροποποιημένο από Creutzburg and Seidel, 1975).

5.2.3. Η γεωλογία της παράκτιας ζώνης του Κόλπου του Μιραμπέλου

Στην ευρύτερη περιοχή μελέτης απαντώνται (εικόνα 24) αλπικοί σχηματισμοί, οι οποίοι εντοπίζονται κυρίως στο κεντρικό και βόρειο τμήμα της ανατολικής πλευράς του νομού Λασιθίου από τον Άγιο Ιωάννη έως το κρητικό πέλαγος και από την Παχειά Άμμο έως την Ιεράπετρα, αλλά και στη δυτική πλευρά του νομού από τον Άγιο Νικόλαο έως τις Μάλες. Οι σχηματισμοί αυτοί ανήκουν στις ενότητες “Κρήτης-Μάνης”, “Φυλλιτών-Χαλαζιτών”, “Τρίπολης”, “Πίνδου-Εθιάς” και στο τεκτονικό κάλυμμα εσωτερικών ζωνών” (Dermitzakis, 1969; Βιδάκης και Fortuin, 1993). Επιπλέον, κατά μήκος της παράκτιας ζώνης του κόλπου του Μιραμπέλου και της Παχειάς Άμμου απαντώνται τεταρτογενείς αποθέσεις, οι οποίες περιλαμβάνουν θαλάσσιες αναβαθμίδες και παράκτια ιζήματα, αλλουβιακές αποθέσεις και πλευρικά κορήματα καθώς και κώνους κορημάτων με διεύθυνση BBA-NNΔ παράλληλη προς τις ρηξιγενείς ζώνες που εντοπίζονται στην περιοχή. Παράλληλα προς τη ρηξιγενή ζώνη “Καβουσίου-Ιεράπετρας” εντοπίζονται αλλουβιακές αποθέσεις χαμηλού αναγλύφου, οι οποίες διαχωρίζουν τον θαλάσσιο χώρο του κόλπου του Μιραμπέλου από αυτόν του Λιβυκού Πελάγους.

Στην παράκτια ζώνη του κόλπου του Μιραμπέλου εντοπίζονται διάφορες γεωτεκτονικές ενότητες μεταμορφωμένων και μη-μεταμορφωμένων καλυμμάτων. Η κατώτερη γεωτεκτονική ενότητα της περιοχής είναι η ενότητα των Πλακωδών ασβεστολίθων, οι οποίοι μεταπίπτουν στα ανώτερα τμήματά τους σε στρώματα ασβεστιτικών σχιστόλιθων και ασβεστοφυλλιτών τεφροπράσινου ή πορτοκαλί χρώματος. Τα στρώματα αυτά έχουν μέγιστο πάχος 50 m και χαρακτηρίζονται ως μεταφλύσχη των Πλακωδών ασβεστολίθων διότι αποτελούν τα μεταβατικά στρώματα προς τον μεταφλύσχη (Φυτρολάκης, 1978). Η ηλικία τους τοποθετείται χρονολογικά στο Άνω Ηώκαινο - Κάτω Ολιγόκαινο (Bizon and Thiebalt, 1974).



Εικόνα 24: Γεωλογικός χάρτης με την περιοχή μελέτης – παράκτια ζώνη του κόλπου του Μιραμπέλου (τροποποιημένο από <http://www.apdkritis.gov.gr/>).

Μεταξύ των Πλακωδών ασβεστόλιθων και των μη μεταμορφωμένων ανθρακικών πετρωμάτων του καλύμματος της Τρίπολης βρίσκεται η φυλλιτική-χαλαζιτική σειρά, η οποία εμφανίζει μέγιστο πάχος 600m και αποτελείται κυρίως από φυλλίτες, χαλαζίτες και αργιλικούς σχιστόλιθους (κυρίως μαρμαρυγιακούς-ανθρακούχους σχιστόλιθους με μικροκρυσταλλικό λεπιδοβλαστικό ιστό και συμπαγή υφή και χαλαζιακούς ψαμμίτες με ψαμμιτικό ιστό και συμπαγή υφή με μικροπτυχώσεις). Ανάμεσα στα στρώματα της φυλλιτικής-χαλαζιτικής σειράς παρεμβάλλονται αδροκρυσταλλικές φλέβες χαλαζία, οι οποίες έχουν υποστεί μαγματική διάβρωση. Επιπλέον, σε διάφορες θέσεις απαντώνται αμφιβολίτες και μεταβασίτες.

Η ζώνη της Τρίπολης περιλαμβάνει τρεις στρωματογραφικές ενότητες: η πρώτη ενότητα αποτελείται από ασβεστόλιθους, δολομιτικούς ασβεστόλιθους και δολομίτες άνω τριαδικής

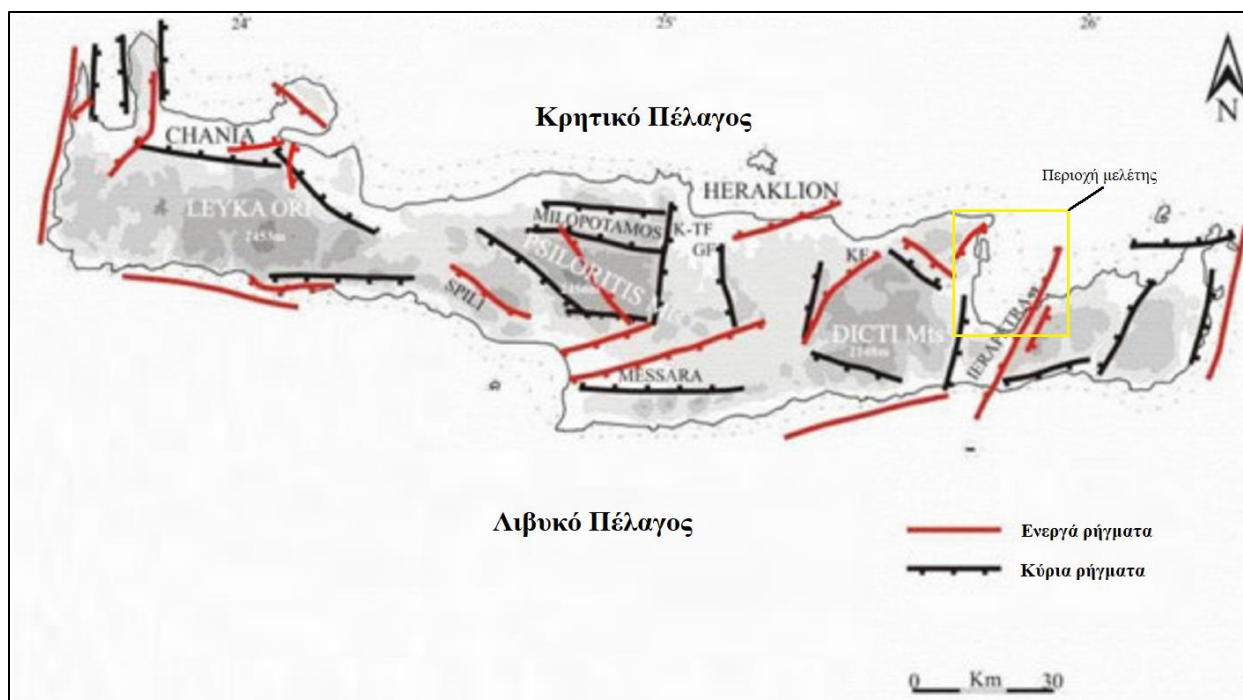
ηλικίας. Στα κατώτερα τμήματα συναντώνται ημικρυσταλλικοί δολομίτες, παχυστρωματώδεις έως άστρωτοι τεφρού χρώματος, οι οποίοι μεταβαίνουν σε ασβεστόλιθους και δολομιτικούς ασβεστόλιθους μεσοστρωματώδεις με τεφρόλευκο έως μαύρο χρώμα προς τα ανώτερα τμήματα. Στη δεύτερη ενότητα εντοπίζονται παχυστρωματώδεις βιτουμενιούχοι και κατά θέσεις δολομιτικοί ασβεστόλιθοι τεφρού έως μαύρου χρώματος με πλούσια νηριτική πανίδα κρητιδικής /μέσο-άνω ηωκαινικής ηλικίας. Στην τρίτη ενότητα συναντάται φλύσχη της Τρίπολης μέσο-άνω ηωκαινικής ηλικίας (Seidel, 1968; Zager, 1972). Επάνω από τον φλύσχη της Τρίπολης βρίσκεται επωθημένο το κάλυμμα Πίνδου-Εθιάς, το οποίο αποτελείται από έντονα τεκτονισμένους/πτυχωμένους λεπτό-μεσοστρωματώδεις μικριτικούς ασβεστόλιθους λευκού έως ροδότεφρου χρώματος άνω κρητιδικής - κάτω ηωκαινικής ηλικίας.

Η ανώτερη ενότητα των αλπικών σχηματισμών είναι το οφιολιθικό τεκτονικό κάλυμμα, το οποίο περιλαμβάνει βασάλτες (αμφιβολίτες, γνεύσιοι, μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι), γάββρους, σερπεντινίτες, περιδοτίτες, δολερίτες αλλά και κρητιδικούς ασβεστόλιθους, ραδιολαρίτες, ηωκαινικούς γρανίτες και γρανοδιορίτες. Πάνω στους αλπικούς σχηματισμούς είναι εναποτεθειμένοι σε ασυμφωνία οι τριτογενείς και τεταρτογενείς μεταλικοί σχηματισμοί. Οι τριτογενείς σχηματισμοί συνίστανται κυρίως από κλαστικά ανθρακικά πετρώματα - κροκαλοπαγή και καλά ενστρωμένα λατυποπαγή με ψαμμιτο-μαργαϊκό συνδετικό υλικό. Στα ανώτερα τμήματα παρατηρείται εναλλαγή των ανθρακικών πετρωμάτων αυτών με μαργαϊκές αποθέσεις. Οι σχηματισμοί αυτοί τοποθετούνται χρονολογικά στο Μειόκαινο. Οι τεταρτογενείς σχηματισμοί περιλαμβάνουν μάργες και λεπτό-μεσοστρωματώδεις μαργαϊκούς ασβεστόλιθους λευκοκίτρινου χρώματος πλειοκαινικής ηλικίας και αλλουβιακές αποθέσεις (χαλαρά αργιλοαμμώδη υλικά, ερυθρογή με λατύπες και κροκάλες), κώνους κορημάτων και αναβαθμίδες χειμάρρων (λατύπες ανθρακικής κυρίως σύστασης με αργιλομαργαϊκό υλικό ή ερυθρογή να πληρούν τα κενά τους) ολοκαινικής ηλικίας (Heyden, 2004).

5.2.4. Τεκτονικό καθεστώς της παράκτιας ζώνης του κόλπου του Μιραμπέλου

Στον ευρύτερο χώρο του κόλπου του Μιραμπέλου εντοπίζονται δύο κύριες νεοτεκτονικές μακροδομές διεύθυνσης BBA-NNΔ και A-Δ, οι οποίες δημιουργήθηκαν κατά τη διάρκεια της νεοτεκτονικής εξέλιξης της περιοχής και έδρασαν ταυτόχρονα αλλά και ανεξάρτητα μεταξύ τους. Οι νεοτεκτονικές δομές (Καροτσιέρης et al., 2000) που εμφανίζονται στην περιοχή είναι οι ακόλουθες:

- Λεκάνη Ιεράπετρας: έχει διεύθυνση A-Δ και τέμνεται εγκάρσια από τη ρηξιγενή ζώνη Καβουσίου-Ιεράπετρας, η οποία τη χωρίζει σε δύο τμήματα.
- Τεκτονικό κέρας Δίκτης: βρίσκεται στο δυτικό τμήμα της λεκάνης της Ιεράπετρας
- Τεκτονικό κέρας Κριτσάς-Ελούντας: έχει διεύθυνση BA-ΝΔ και στο εσωτερικό της διαμορφώνεται με παράλληλη διεύθυνση η τεκτονική ταπείνωση Αγίου Νικολάου-Νεάπολης
- Τεκτονικό βύθισμα του κόλπου του Μιραμπέλου: έχει διεύθυνση BA-ΝΔ
- Τεκτονικό κέρας Ορεινού-Θρυπτής: στο εσωτερικό του διαμορφώνεται η τεκτονική ταπείνωση της Χρυσοπηγής με διεύθυνση A-Δ



Εικόνα 25: Τα ρήγματα της Κρήτης (<https://www.tovima.gr/2021/10/06/society/kriti-poia-einai-ta-pio-epikindyna-rigmata-apokalyptikoi-xartes/>).

Τεκτονικό βύθισμα του κόλπου του Μιραμπέλου

Αποτελεί νεοτεκτονική δομή τα περιθώρια της οποίας καθορίζονται από ρηξιγενείς ζώνες διεύθυνσης BBA-NNΔ και είναι εγκάρσια προς την τεκτονική τάφρο της Ιεράπετρας και τον αλπικό ιστό. Το τεκτονικό βύθισμα του κόλπου του Μιραμπέλου χωρίζεται στο *βόρειο τμήμα* το οποίο περιλαμβάνει όλη τη θαλάσσια περιοχή του κόλπου και στο *νότιο τμήμα* το οποίο περιλαμβάνει όλο το τμήμα της ξηράς προς νότο έως το Λιβυκό Πέλαγος. Λόγω των μεγάλων ρηξιγενών δομών, διεύθυνσης Α-Δ, του Αγίου Νικολάου-Νεάπολης και της Χρυσοπηγής αλλά και των ρηξιγενών δομών της λεκάνης της Ιεράπετρας, παρατηρούνται έντονες διαφορές μεταξύ των δύο τμημάτων του βυθίσματος του κόλπου. Το *βόρειο τμήμα* αποτελείται από μεγάλες και πολυάριθμες ρηξιγενείς ζώνες, ενώ στο *νότιο τμήμα* παρατηρείται το αντίθετο, όπου οι ρηξιγενείς ζώνες είναι μικρότερες και λιγότερες, ενώ προχωρώντας προς το Λιβυκό Πέλαγος τείνουν να εξαφανιστούν.

Ωστόσο, σημαντικές είναι και οι διαφορές που παρατηρούνται στα δύο περιθώρια του τεκτονικού βυθίσματος του κόλπου. Το περιθώριο που βρίσκεται στο ΝΑ τμήμα του βυθίσματος οριοθετείται από τη ρηξιγενή ζώνη Καβουσίου-Ιεράπετρας, η οποία διασχίζει όλο το πλάτος του νησιού από το Κρητικό Πέλαγος έως το Λιβυκό Πέλαγος και είναι η μεγαλύτερη στην ευρύτερη περιοχή. Η τεκτονική δομή Καβουσίου-Ιεράπετρας έχει ιδιαίτερη σημασία αφού έχει δημιουργήσει μία μεγάλη τεκτονική ταπείνωση διεύθυνσης ΒΒΑ-ΝΝΔ, η οποία έχει πληρωθεί από τεταρτογενείς σχηματισμούς. Ενώ, το περιθώριο που βρίσκεται στο ΒΔ τμήμα του βυθίσματος οριοθετείται από μία ζώνη μικρών ρηγμάτων η οποία προεκτείνεται έως την τεκτονική ταπείνωση Αγ. Νικολάου-Ιεράπετρας (Καροτσιέρης et al., 2000).

ΚΕΦ.6: Εκτίμηση του βαθμού επικινδυνότητας της παράκτιας ζώνης του κόλπου του Μιραμπέλου

Για την εκτίμηση της παράκτιας επικινδυνότητας του κόλπου του Μιραμπέλου χρησιμοποιήθηκε ο Δείκτης Παράκτιας Τρωτότητας - CVI, για τον υπολογισμό του οποίου αξιοποιήθηκαν δεδομένα από τον γεωλογικό χάρτη της περιοχής μελέτης, το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM), τη σχετική μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης, αεροφωτογραφίες για την εκτίμηση του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής, τον Άτλαντα Ανέμου και Κύματος των Ελληνικών Θαλασσών-Σύστημα Ποσειδών καθώς και δεδομένα για το μέσο εύρος παλίρροιας.

Όλες οι μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του δείκτη CVI επεξεργάστηκαν με το λογισμικό ArcGIS 10.7.1 και δημιουργήθηκε μία βάση δεδομένων στην οποία καταγράφηκε η τιμή των επιμέρους παραμέτρων που ορίζουν τα χαρακτηριστικά της ακτογραμμής του κόλπου. Η απεικόνιση των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε μέσω του ArcMap, όπου όλες οι μεταβλητές του CVI προβλήθηκαν επάνω στην ακτογραμμή, έχοντας την αντίστοιχη διαβάθμιση ως προς την τρωτότά τους στους παράκτιους κινδύνους (πίνακας 5). Χρησιμοποιήθηκαν 5 κλάσεις για τον βαθμό παράκτιας επικινδυνότητας όπου 1=πολύ χαμηλή επικινδυνότητα, 2= χαμηλή επικινδυνότητα, 3= μέση επικινδυνότητα, 4= υψηλή επικινδυνότητα και 5= πολύ υψηλή επικινδυνότητα, όπως αυτά έχουν προταθεί από τους Pendelon et al. (2004) και Karymbalis et al. (2012). Έπειτα έγινε η ταξινόμηση όλων των μεταβλητών σε μία ενιαία κλίμακα βαθμονόμησης της παράκτιας επικινδυνότητας, έτσι ώστε να καταστεί εφικτή η εκτίμηση του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας - CVI. Επιπλέον, έγινε μία προσπάθεια εκτίμησης των επιπτώσεων ενδεχόμενης μελλοντικής ανόδου της θαλάσσιας στάθμης μελετώντας 3 διαφορετικά σενάρια ανόδου -κατά 0,5 m, 1 m και 2 m, με βασικό κριτήριο την τοπογραφία της ευρύτερης περιοχής του κόλπου αλλά και τις χρήσεις γης που υφίστανται στην περιοχή.

Πίνακας 5: Κατάταξη των ακτών σε κατηγορίες τρωτότητας (από πολύ χαμηλής έως πολύ υψηλής) για κάθε έναν από τους παράγοντες – μεταβλητές που λαμβάνει υπόψη ο Δείκτης Παράκτιας Τρωτότητας -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 φιορδ (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

6.1. Ανάπτυξη βάσης δεδομένων

Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας - CVI, είναι οι ακόλουθες:

- Γεωλογία – Γεωμορφολογία
- Παράκτια κλίση
- Ρυθμός μεταβολής ακτογραμμής
- Σενάρια ανόδου στάθμης θάλασσας
- Μέσο σημαντικό ύψος κύματος
- Μέσο εύρος παλίρροιας

6.1.1. Γεωλογία- Γεωμορφολογία

Για την απεικόνιση του βαθμού επικινδυνότητας της γεωλογίας-γεωμορφολογίας της παράκτιας ζώνης του κόλπου του Μιραμπέλου χρησιμοποιήθηκε ο γεωμορφολογικός χάρτης της περιοχής μελέτης. Για τη δημιουργία του γεωμορφολογικού χάρτη (εικόνα 26) αξιοποιήθηκαν δεδομένα τόσο από τον γεωλογικό χάρτη (εικόνα 24) όσο και από το πρόγραμμα Google earth σε συνδυασμό με την εφαρμογή street view, όπου αυτό ήταν εφικτό, τα οποία συνέβαλαν σημαντικά στην αποτύπωση των γεωμορφών της περιοχής.



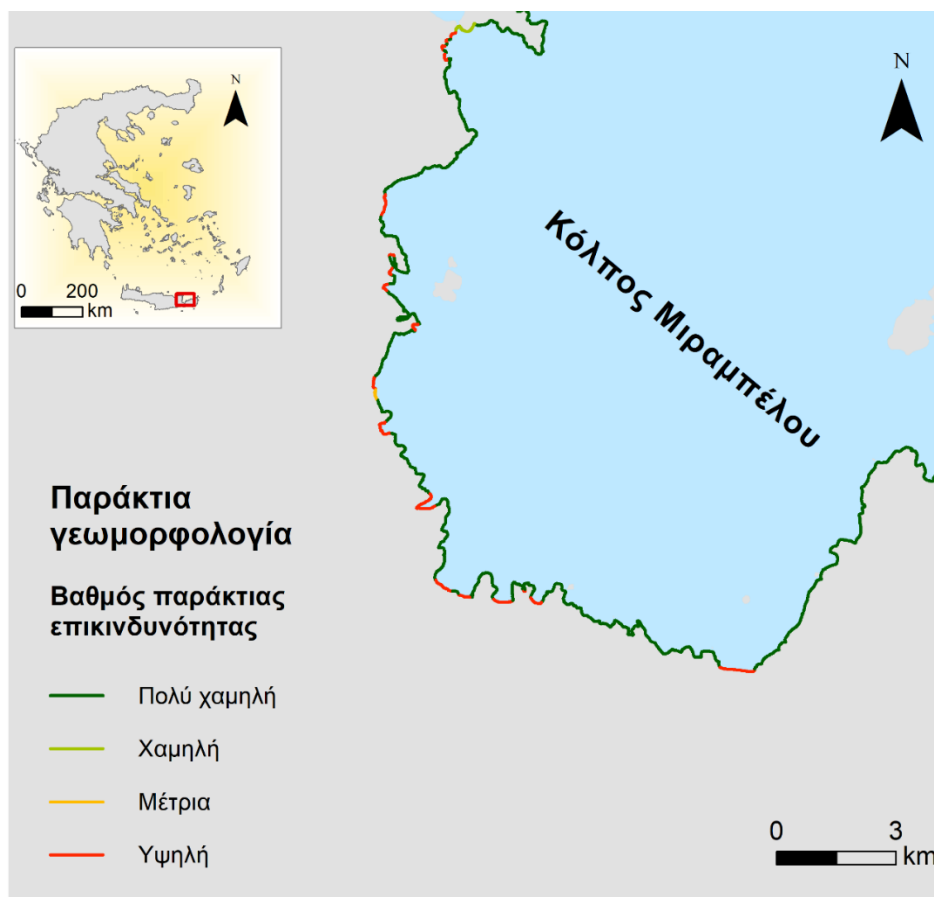
Εικόνα 26: Γεωμορφολογικός χάρτης του κόλπου του Μιραμπέλου.

Παρατηρώντας τον γεωμορφολογικό χάρτη γίνεται αντιληπτό ότι το μεγαλύτερο τμήμα του κόλπου αποτελείται από ασβεστολιθικούς κρημούς συνολικού μήκους 38,28 km το οποίο αντιστοιχεί περίπου στο 71% του συνολικού μήκους της ακτογραμμής του κόλπου του

Μιραμπέλου. Επιπλέον, παρατηρούνται αρκετοί αιγιαλοί κατά μήκος της ακτογραμμής, οι οποίοι καταλαμβάνουν το 13,75 %, ενώ οι κρημνοί από χαλαρά υλικά και οι κρημνοί που αναπτύσσονται σε φλύσχη και σχιστόλιθους καταλαμβάνουν ένα πολύ μικρό τμήμα αυτής. Ωστόσο, αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι περίπου το 7% της ακτογραμμής καταλαμβάνεται από ανθρωπογενή έργα.

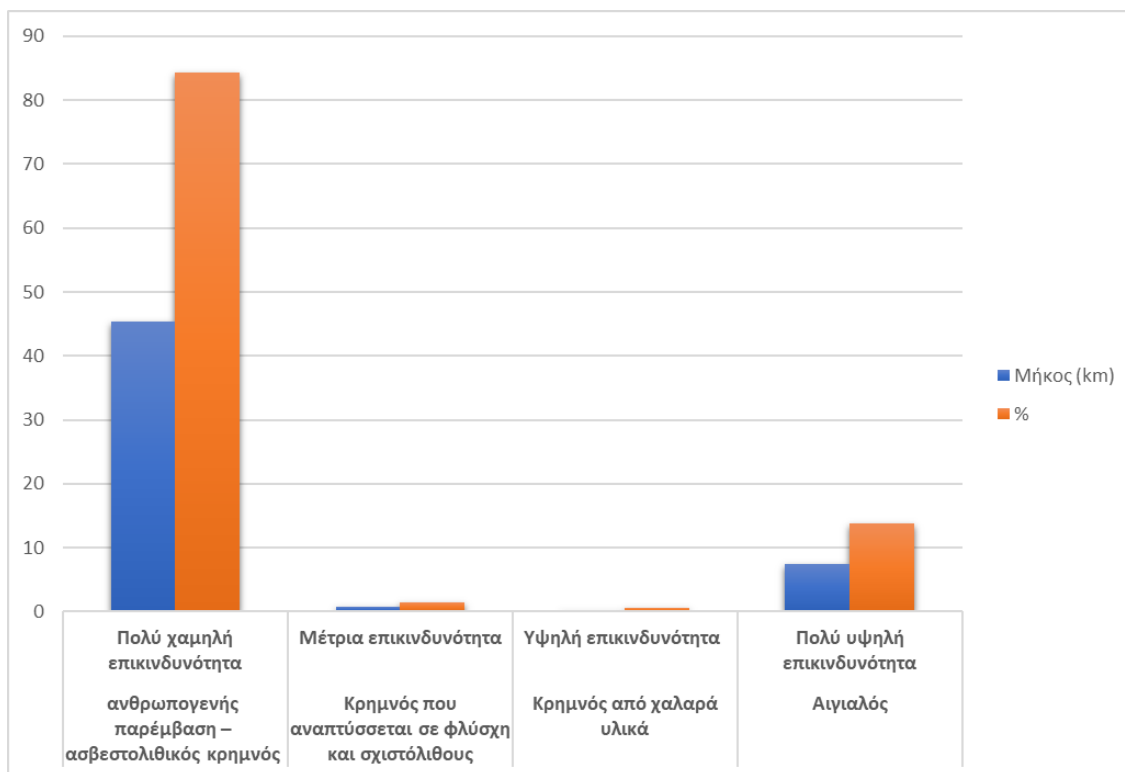
Βάσει των χαρακτηριστικών των γεωλογικών σχηματισμών αλλά και της γεωμορφολογίας δημιουργήθηκε ο χάρτης επικινδυνότητας (εικόνα 27) για τη συγκεκριμένη παράμετρο, όπου ανάλογα με το βαθμό επικινδυνότητας οι περιοχές του κόλπου διαχωρίστηκαν σε 4 κατηγορίες ως εξής:

- **πολύ χαμηλή επικινδυνότητα (1):** ανθρωπογενής παρέμβαση – ασβεστολιθικός κρημνός
- **μέτρια επικινδυνότητα (3):** Κρημνός που αναπτύσσεται σε φλύσχη και σχιστόλιθους
- **υψηλή επικινδυνότητα (4):** Κρημνός από χαλαρά υλικά
- **πολύ υψηλή επικινδυνότητα (5):** Αιγιαλός



Εικόνα 27: Χάρτης παράκτιας επικινδυνότητας – Γεωμορφολογία.

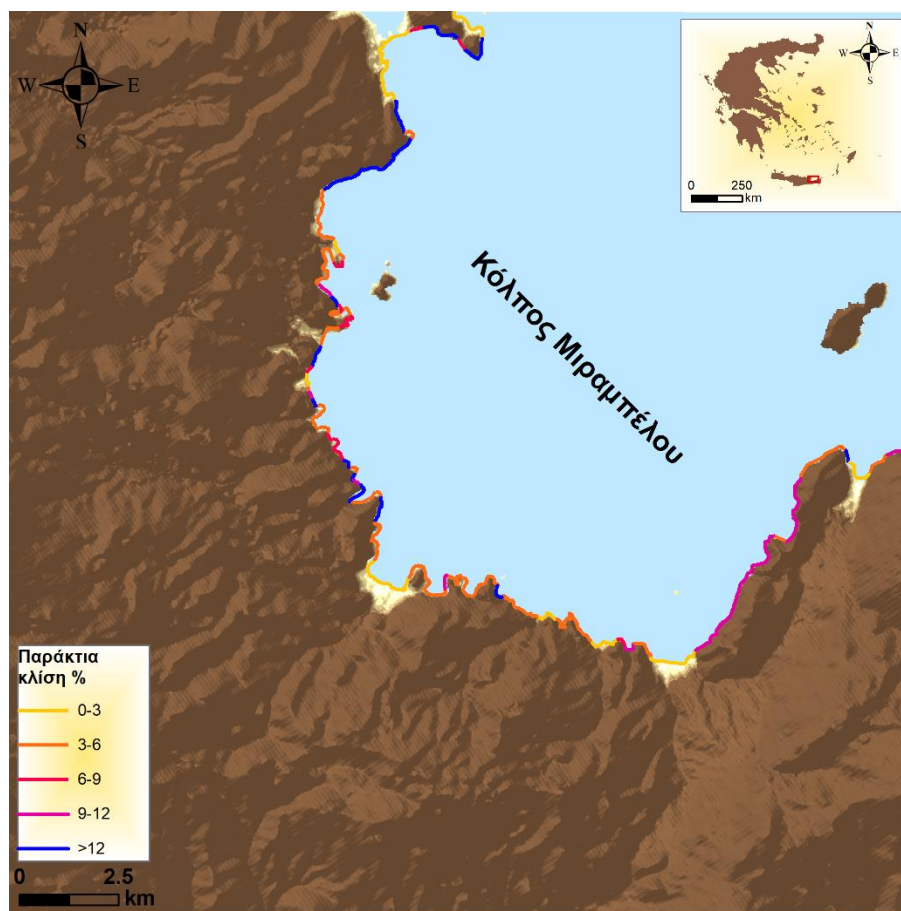
Παρατηρώντας τον χάρτη (εικόνα 27) με τον βαθμό επικινδυνότητας της γεωμορφολογίας και το διάγραμμα 1 που αναπαριστά τον βαθμό επικινδυνότητας της γεωμορφολογίας συναρτήσει του μήκους της ακτογραμμής φαίνεται ότι το μεγαλύτερο τμήμα της ακτογραμμής, το οποίο αντιστοιχεί περίπου στο 84,3 % του συνολικού μήκους της, εμφανίζει πολύ χαμηλή επικινδυνότητα στην άνοδο της θαλάσσιας στάθμης, δεδομένου ότι καταλαμβάνεται από ασβεστολιθικούς κρημούς, ενώ περίπου το 13,8 % εμφανίζει πολύ υψηλή επικινδυνότητα αφού καταλαμβάνεται από αιγιαλούς. Μέτρια έως υψηλή επικινδυνότητα εμφανίζει ένα πολύ μικρό ποσοστό το οποίο δεν ξεπερνά το 2 % του συνολικού μήκους της ακτογραμμής.



Διάγραμμα 1: Βαθμός παράκτιας επικινδυνότητας της γεωμορφολογίας συναρτήσει του μήκους της ακτογραμμής.

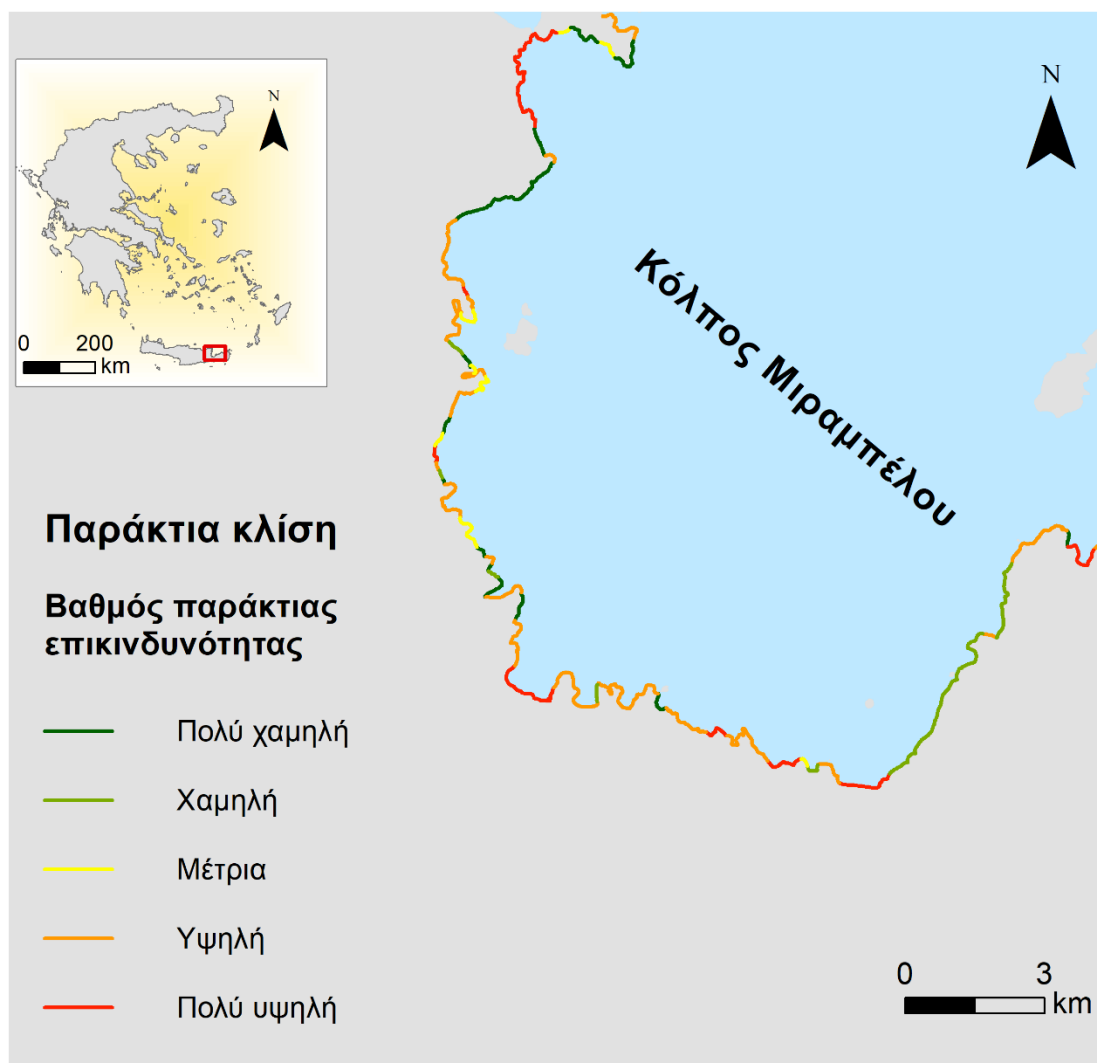
6.1.2. Παράκτια κλίση

Για την εκτίμηση της παράκτιας κλίσης, αξιοποιήθηκε το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM) με διάσταση εικονοστοιχείου 30 m (εικόνα 28), το οποίο ανακτήθηκε από το πρόγραμμα «Copernicus» (πηγή: <https://www.copernicus.eu>).



Εικόνα 28: Χάρτης ψηφιακού μοντέλου εδάφους της παράκτιας ζώνης του κόλπου του Μιραμπέλου.

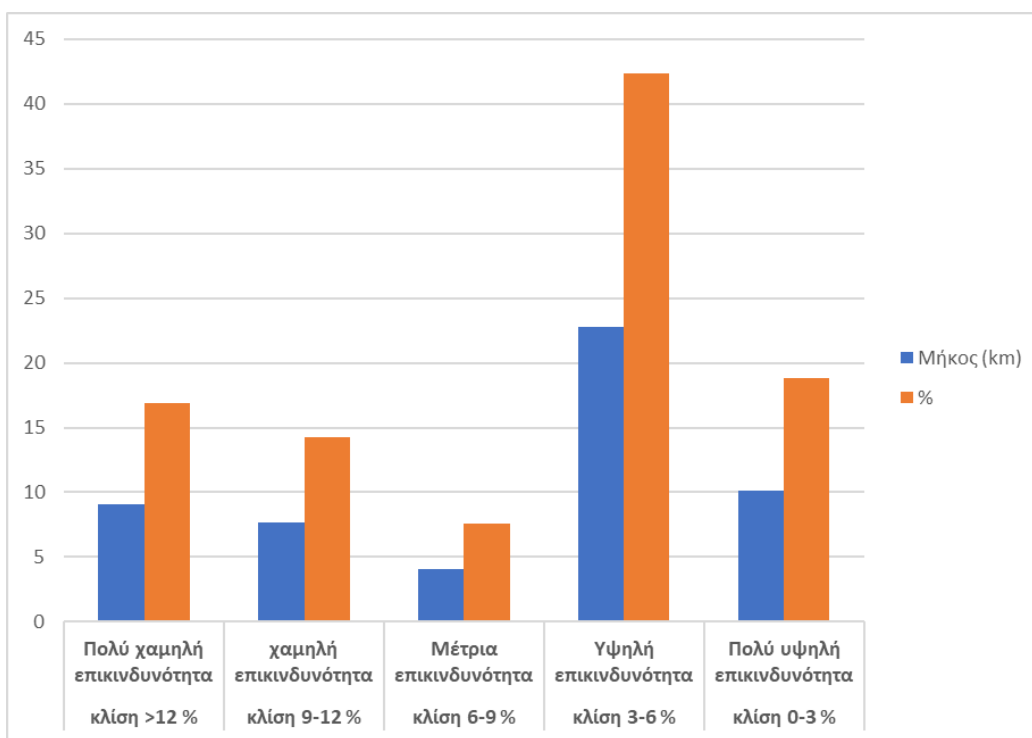
Από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους γίνεται αντιληπτό ότι ένα μεγάλο τμήμα της ακτογραμμής παρουσιάζει μεγάλη κλίση ($> 9\%$) καθιστώντας την ακτογραμμή ανεπηρέαστη από ενδεχόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης. Ωστόσο, αρκετά είναι και τα τμήματα αυτής που παρουσιάζουν πολύ μικρές κλίσεις της τάξης του $0-3\%$, το οποίο υποδηλώνει την επιρρέπειά τους σε πλημμυρικό κίνδυνο από ενδεχόμενη αύξηση της στάθμης της θάλασσας. Βάσει των παράκτιων κλίσεων, όπως αυτές προέκυψαν από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους, έγινε η δημιουργία του χάρτη με τον βαθμό επικινδυνότητας για την παράμετρο της παράκτιας κλίσης (εικόνα 29), όπου οι περιοχές με παράκτιες κλίσεις $< 3\%$ χαρακτηρίστηκαν ως πολύ υψηλής επικινδυνότητας, με κλίσεις $3-6\%$ ως υψηλής επικινδυνότητας, με κλίσεις $6-9\%$ ως μέτριας επικινδυνότητας, με κλίσεις $9-12\%$ ως χαμηλής επικινδυνότητας και με κλίσεις $> 12\%$ ως πολύ χαμηλής επικινδυνότητας.



Εικόνα 29: Χάρτης παράκτιας επικινδυνότητας – Παράκτια κλίση.

Από τον χάρτη επικινδυνότητας της παράκτιας κλίσης (εικόνα 29) και από το διάγραμμα με τον βαθμό επικινδυνότητας της παράκτιας κλίσης συναρτήσει του μήκους της ακτογραμμής (διάγραμμα 2), φαίνεται ότι το μεγαλύτερο τμήμα αυτής εμφανίζει υψηλή (22,81 km) έως πολύ υψηλή επικινδυνότητα (10,16 km) το οποίο αντιστοιχεί σε ένα ποσοστό της τάξης του 60% περίπου. Το τμήμα που παρουσιάζει μέτρια επικινδυνότητα καταλαμβάνει μήκος 4,08 km το οποίο αντιστοιχεί στο 7,6 % περίπου, ενώ χαμηλή (7,69 km) έως πολύ χαμηλή επικινδυνότητα (9,11 km) παρουσιάζει περίπου το 31% της ακτογραμμής. Συνεπώς, γίνεται αντιληπτό ότι το μεγαλύτερο τμήμα της ακτογραμμής ενδέχεται να επηρεαστεί από ενδεχόμενη άνοδο της

θαλάσσιας στάθμης με το 18,8 % αυτής να αναμένεται να απειληθεί άμεσα αφού παρουσιάζει κλίσεις της τάξης του 0-3%.



Διάγραμμα 2: Βαθμός επικινδυνότητας της παράκτιας κλίσης συναρτήσει του μήκους της ακτογραμμής.

6.1.3. Ρυθμός μεταβολής ακτογραμμής

Για τον υπολογισμό του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής του κόλπου του Μιραμπέλου χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ArcGis σε συνδυασμό με την επέκτασή του "Digital Shoreline Analysis System (DSAS)", η οποία αποτελεί ένα ψηφιακό σύστημα ανάλυσης ακτογραμμών (Thieler et al., 2005) και διατίθεται δωρεάν από τον Οργανισμό Γεωλογικών Ερευνών των Η.Π.Α. (USGS). Αρχικά, έγινε ψηφιοποίηση δύο ακτογραμμών διαφορετικών ετών λήψης και στη συνέχεια σύγκρισή τους μέσω του λογισμικού ArcGis. Οι δύο ακτογραμμές που χρησιμοποιήθηκαν αφορούσαν στα έτη λήψης 1945 και 2018. Για την ψηφιοποίηση της ακτογραμμής του 1945 χρησιμοποιήθηκαν και αξιοποιήθηκαν αεροφωτογραφίες του έτους 1945, οι οποίες ανακτήθηκαν από την ηλεκτρονική υπηρεσία της Γεωγραφικής Υπηρεσίας

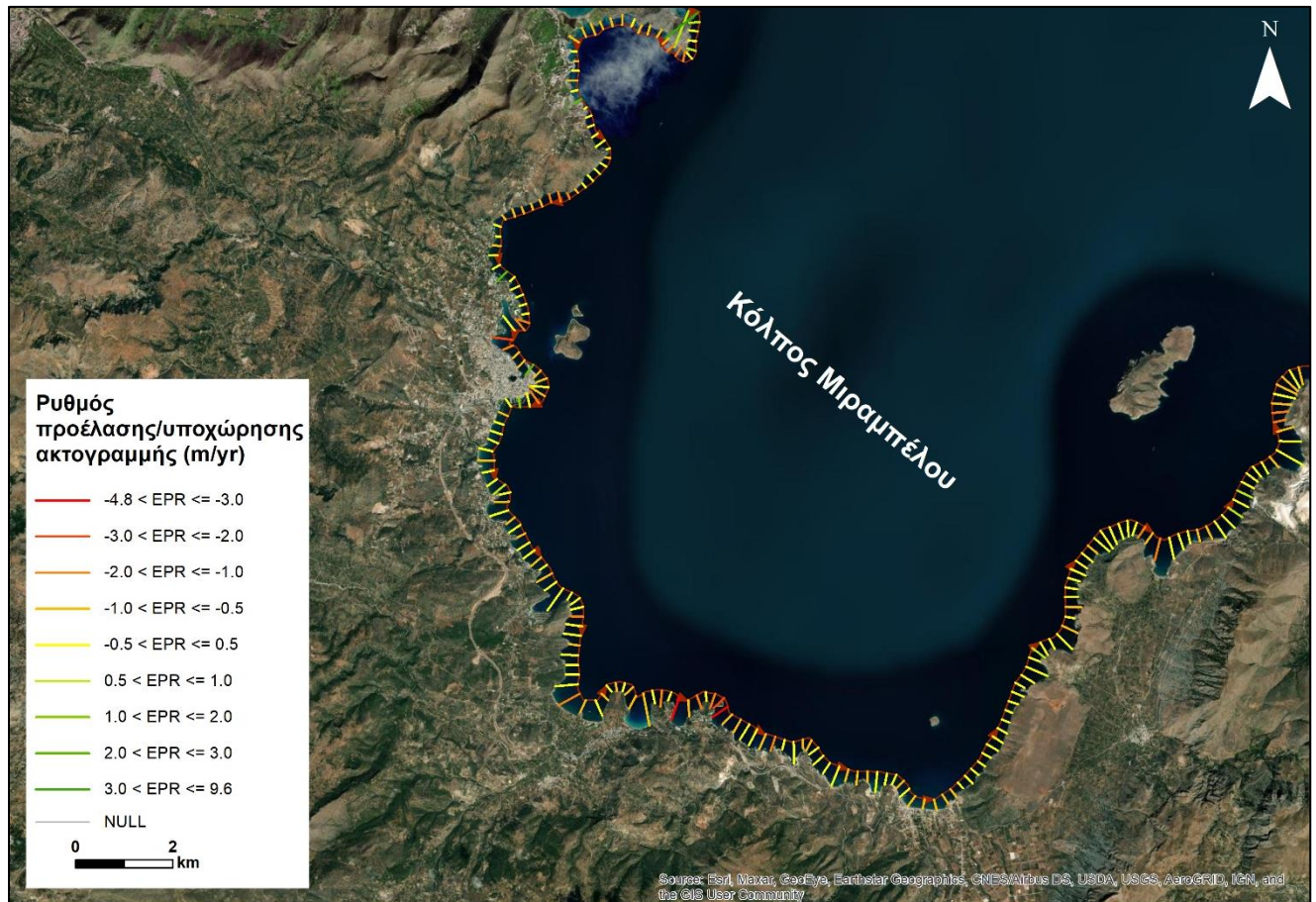
Στρατού (ΓΥΣ) και για την ακτογραμμή του 2018 δορυφορικές εικόνες από το Google Earth (εικόνα 30).

Στο σημείο αυτό, θα πρέπει να επισημανθεί ότι αφενός η διακριτική ικανότητα που επιτυγχάνεται με τη χρήση των αεροφωτογραφιών είναι μεγάλη, αφετέρου είναι πιθανόν να υπεισέρχονται σφάλματα όσον αφορά στην ακρίβεια αναπαράστασης μίας περιοχής αφού υπάρχει απώλεια πληροφόρησης λόγω της γωνίας και του ύψους λήψης αλλά και λόγω της ευκρίνειας της εικόνας. Συνεπώς, κατά την ψηφιοποίηση της ακτογραμμής του κόλπου του Μιραμπέλου, που βασίστηκε στις αεροφωτογραφίες του έτους 1945 παρουσιάστηκαν αρκετές δυσκολίες στην ακριβή οριοθέτηση της ξηράς και η χάραξη της ακτογραμμής πραγματοποιήθηκε έχοντας ως κριτήριο ότι η θάλασσα απεικονίζεται με τις πιο σκούρες αποχρώσεις ενώ η ξηρά με τις πιο ανοιχτόχρωμες.



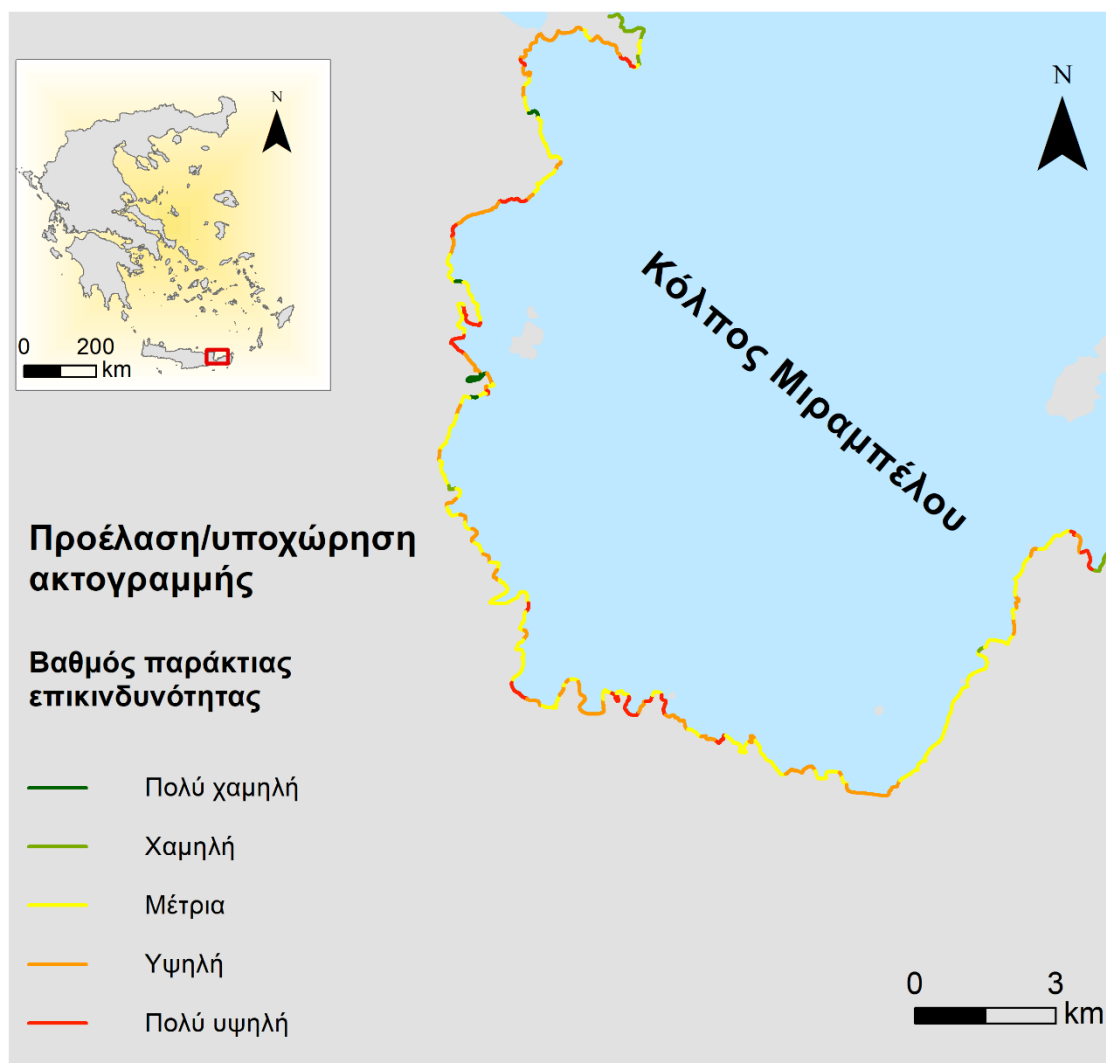
Εικόνα 30: Χάρτης απεικόνισης των ψηφιοποιημένων ακτογραμμών των ετών 1945 και 2018 μέσω του ArcGis.

Έπειτα, οι ψηφιοποιημένες ακτογραμμές χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των ρυθμών μεταβολής της ακτογραμμής του κόλπου μεταξύ των ετών 1945 και 2018 μέσω του 'Digital Shoreline Analysis System (DSAS) στο πρόγραμμα ArcMap (εικόνα 31). Οι αρνητικές τιμές υποδηλώνουν διάβρωση της ακτογραμμής, ενώ οι θετικές τιμές προέλαση αυτής. Παρατηρούμε ότι κατά μήκος της ακτογραμμής εμφανίζονται ρυθμοί που κυμαίνονται κυρίως από (-0,5) έως (+0,5) m/yr, από (-1,00) έως (-0,5) m/yr και από (-2,00) έως (-1,00) m/yr.



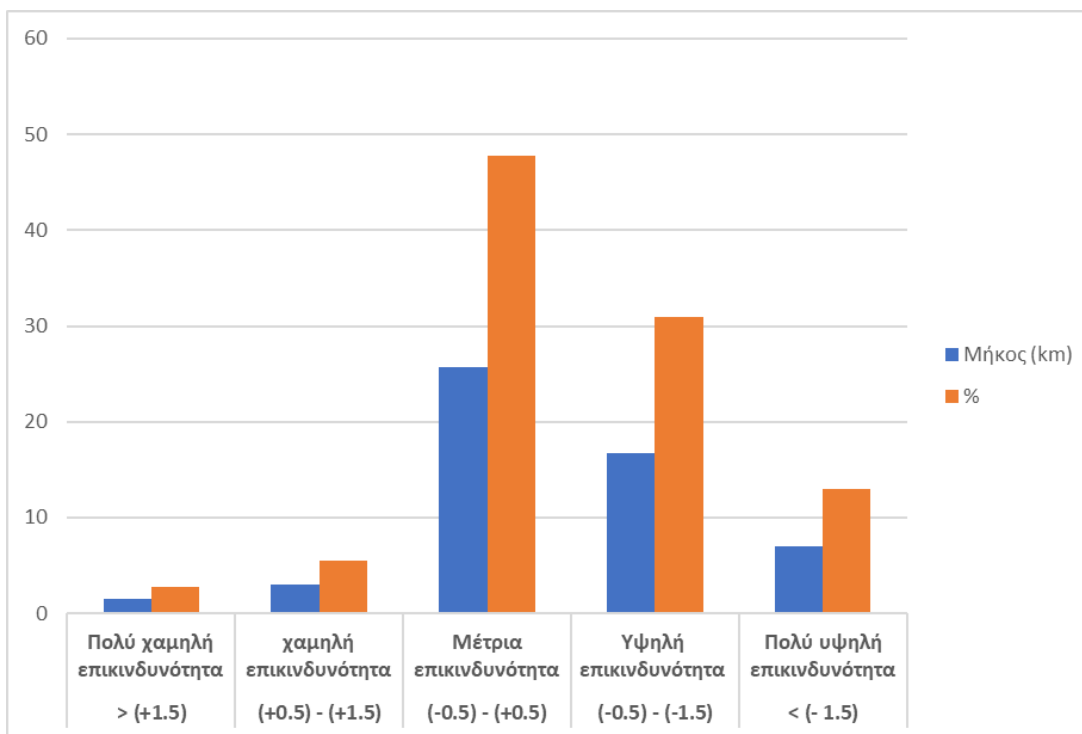
Εικόνα 31: Υπολογισμός του ρυθμού προέλασης/διάβρωσης της ακτογραμμής του κόλπου του Μιραμπέλου μέσω του "Digital Shoreline Analysis System – DSAS" στο λογισμικό ArcGIS.

Προκειμένου να γίνει η δημιουργία του χάρτη με τον βαθμό επικινδυνότητας του κόλπου για την παράμετρο του ρυθμού προέλασης/υποχώρησης, τμηματοποιήθηκε όλη η ακτογραμμή βάσει προέλασης ή υποχώρησής της και στη συνέχεια αποδόθηκε, βάσει του πίνακα 5, για κάθε τμήμα της ο βαθμός επικινδυνότητας (εικόνα 32).



Εικόνα 32: Χάρτης παράκτιας επικινδυνότητας – Προέλαση/υποχώρηση ακτογραμμής

Όπως φαίνεται στον χάρτη επικινδυνότητας (εικόνα 32) το μεγαλύτερο τμήμα της υπό μελέτη ακτογραμμής είναι μέτριας έως πολύ υψηλής επικινδυνότητας. Συγκεκριμένα, το μήκος της ακτογραμμής που χαρακτηρίστηκε ως μέτριας επικινδυνότητας αποτελεί περίπου το 47,8 % της συνολικής ακτογραμμής και καταλαμβάνει μήκος περίπου 25,76 km. Αντίστοιχα το τμήμα που χαρακτηρίστηκε ως υψηλής επικινδυνότητας έχει μήκος 16,67 km το οποίο αντιστοιχεί περίπου στο 30,95 % και το τμήμα που χαρακτηρίστηκε ως πολύ υψηλής επικινδυνότητας έχει μήκος 6,96 km το οποίο είναι περίπου το 12,92 % του συνολικού μήκους της ακτογραμμής. Ως χαμηλής και πολύ χαμηλής επικινδυνότητας φαίνεται να είναι ένα τμήμα μήκους 2,96 km και 1,5 km περίπου, τα οποία δεν ξεπερνούν αθροιστικά το 8% της συνολικής ακτογραμμής (διάγραμμα 3).



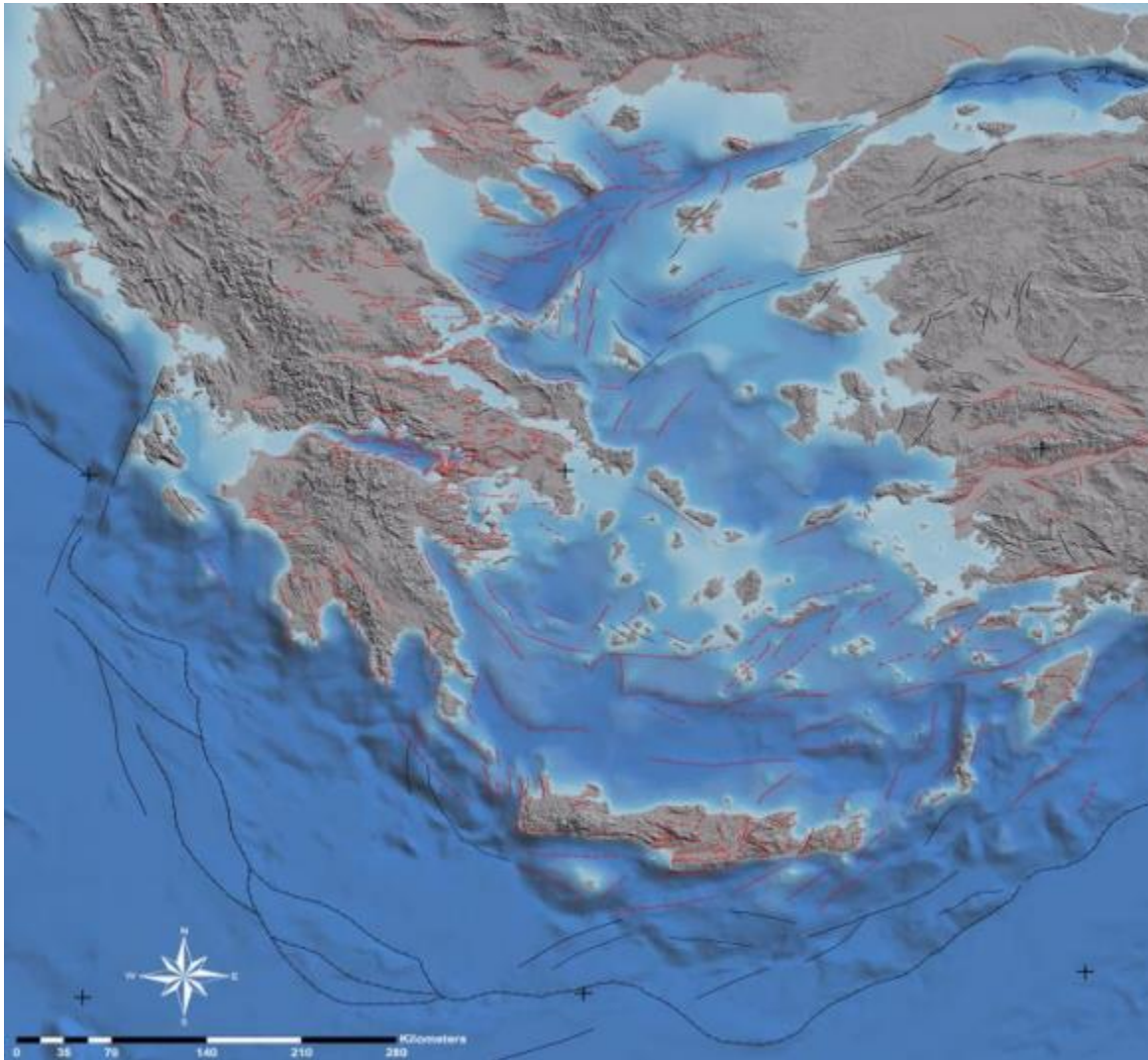
Διάγραμμα 3: Βαθμός παράκτιας επικινδυνότητας του κόλπου του Μιραμπέλου για την παράμετρο του ρυθμού προέλασης/υποχώρησης συναρτήσει του μήκους της ακτογραμμής.

6.1.4 Σχετική μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης

Η σχετική μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης εμφανίζεται ως αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης ευστατισμού-ισοστασίας ή/και τεκτονισμού. Η εκτίμηση της σχετικής μεταβολής της θαλάσσιας στάθμης στην παράκτια ζώνη του κόλπου του Μιραμπέλου βασίστηκε τόσο στον ρυθμό ανόδου της θαλάσσιας στάθμης όσο και στον τεκτονισμό της περιοχής, όπου παρατηρείται τεκτονική ανύψωση λόγω των ενεργών ρηγμάτων που απαντώνται στην περιοχή (εικόνα 33), αξιοποιώντας δεδομένα από βιβλιογραφικές αναφορές. Έτσι, συνδυάζοντας δεδομένα από την ευστατική καμπύλη του Lambeck για το νησί της Κρήτης (Lambeck, 1996; Lambeck and Purcell, 2005), όπου παρατηρείται ρυθμός ανόδου της θαλάσσιας στάθμης της τάξης του 1,12 mm/yr αλλά και από τον τεκτονισμό της περιοχής, όπου παρατηρείται ρυθμός τεκτονικής ανύψωσης

της τάξης του 0,2 mm/yr (Pavliopoulos et al., 2007), εκτιμάται ότι ο μέσος ρυθμός ανόδου της θαλάσσιας στάθμης στην περιοχή μελέτης είναι της τάξης του 0,92 mm/yr (εξ.2).

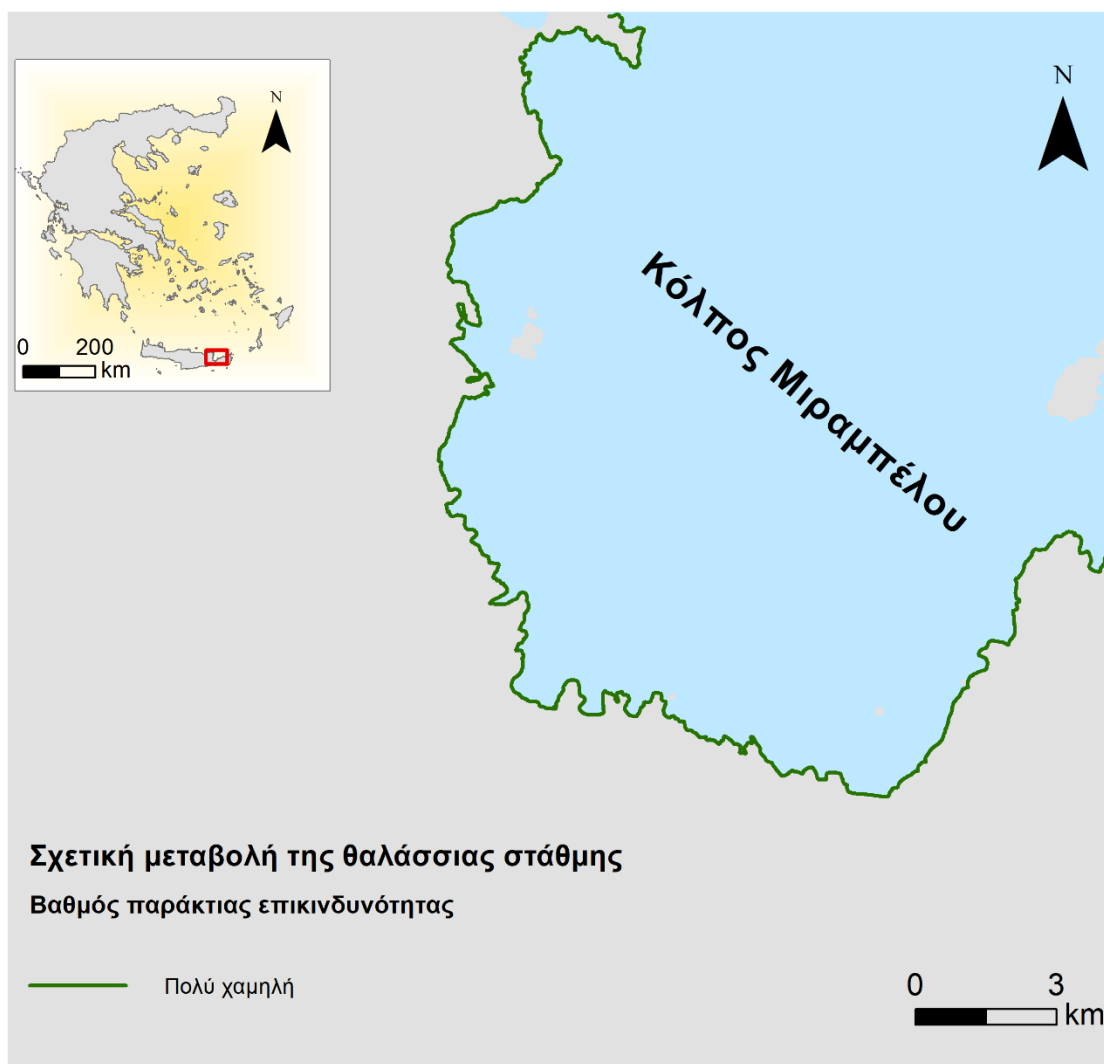
[εξ. 2] Μέσος ρυθμός ανόδου (0,92 mm/yr) = Ευστατισμός (1,12 mm/yr) – Τεκτονισμός (0,2 mm/yr).



Εικόνα 33: Χάρτης απεικόνισης των ενεργών ρηγμάτων στον ελλαδικό χώρο (Pavlidis et al., 2007).

Δεδομένου ότι η σχετική μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης στην περιοχή μελέτης είναι < 1,8 mm/yr, σε όλο το μήκος της η ακτογραμμή του κόλπου του Μιραμπέλου κατατάσσεται στην

κατηγορία 1: πολύ χαμηλής επικινδυνότητας. Παρακάτω εμφανίζεται ο χάρτης που δημιουργήθηκε με τον βαθμό επικινδυνότητας για την παράμετρο της σχετικής μεταβολής της θαλάσσιας στάθμης (εικόνα 34).

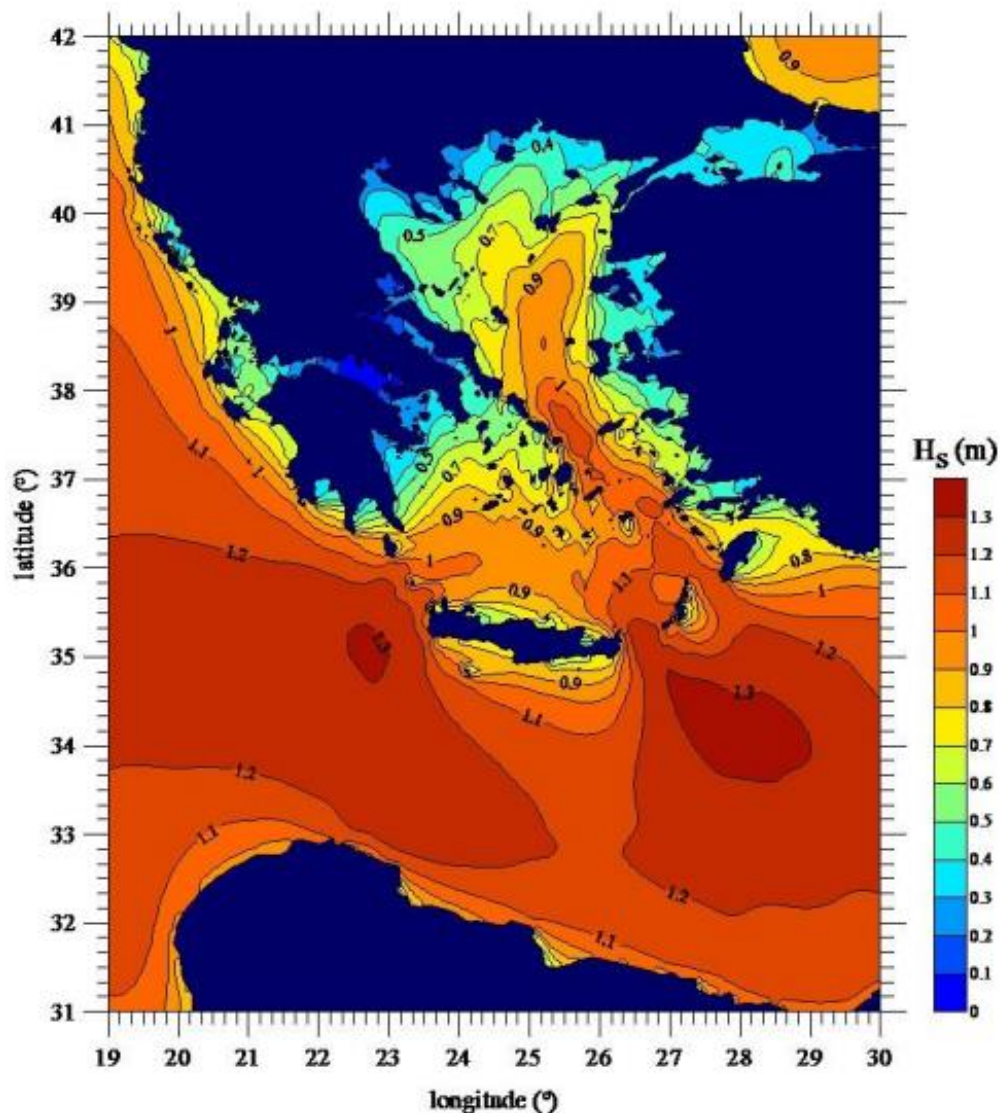


Εικόνα 34: Χάρτης παράκτιας επικινδυνότητας – Σχετική μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης.

6.1.5 Μέσο Σημαντικό Ύψος Κύματος

Τα κύματα παίζουν κυρίαρχο ρόλο στην αποσάθρωση και διάβρωση του παράκτιου αναγλύφου. Αυτό που λαμβάνεται υπόψη στην εκτίμηση του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας (CVI) είναι το

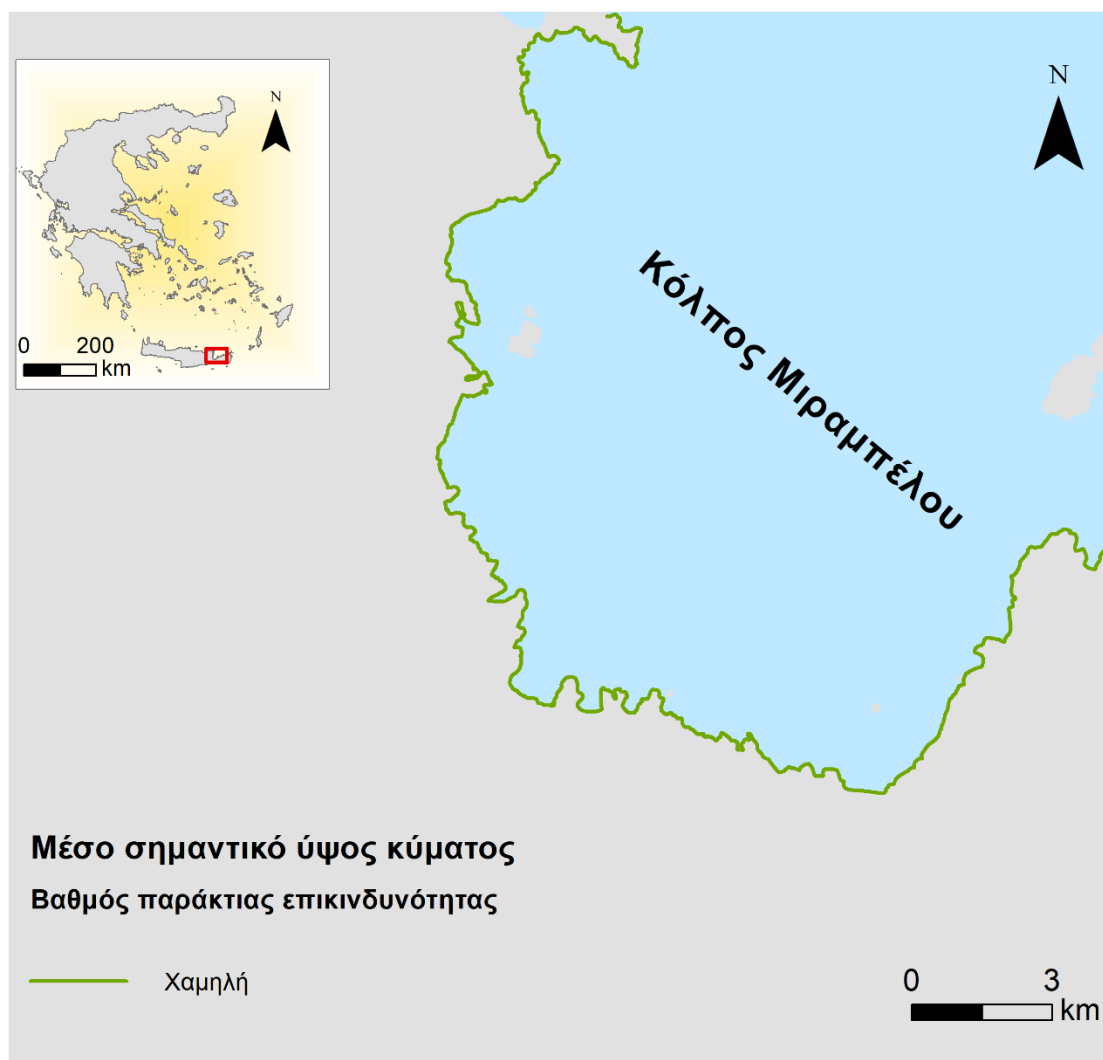
μέσο σημαντικό ύψος κύματος, το οποίο ουσιαστικά εκφράζει τη μέση τιμή ύψους κύματος του ενός τρίτου των υψηλότερων κυμάτων που παρατηρούνται σε ένα σημείο, κατά τη διάρκεια μιας δειγματοληψίας διάρκειας 10-20 λεπτών (Σαρταμπάκου, 2013).



Εικόνα 35: Χάρτης απεικόνισης του μέσου σημαντικού ύψους κύματος για τον ελλαδικό χώρο.(Πηγή: Άτλαντας ανέμου και κύματος των Ελληνικών θαλασσών).

Για την εκτίμηση του μέσου σημαντικού ύψους κύματος του κόλπου του Μιραμπέλου αντλήθηκαν δεδομένα από τον «Άτλαντα Ανέμων και Κυματισμού των Ελληνικών θαλασσών»

(Soukissian et al., 2007) του Ελληνικού Κέντρου Θαλασσίων Ερευνών (εικόνα 35), ο οποίος βασίζεται σε μετρήσεις που αφορούν την περίοδο 1999-2007 (όλες οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο του προγράμματος POSEIDON). Από τον «Άτλαντα Ανέμων και Κυματισμού των Ελληνικών Θαλασσών» παρατηρείται ότι για την περιοχή μελέτης το μέσο σημαντικό ύψος κύματος είναι περίπου της τάξης των 0,4-0,5 m, το οποίο βάσει του πίνακα κατάταξης των ακτών σε κατηγορίες επικινδυνότητας (πίνακας 5), εντάσσει την ακτογραμμή, σε όλο το μήκος της, στην κατηγορία 2: χαμηλής επικινδυνότητας (εικόνα 36).

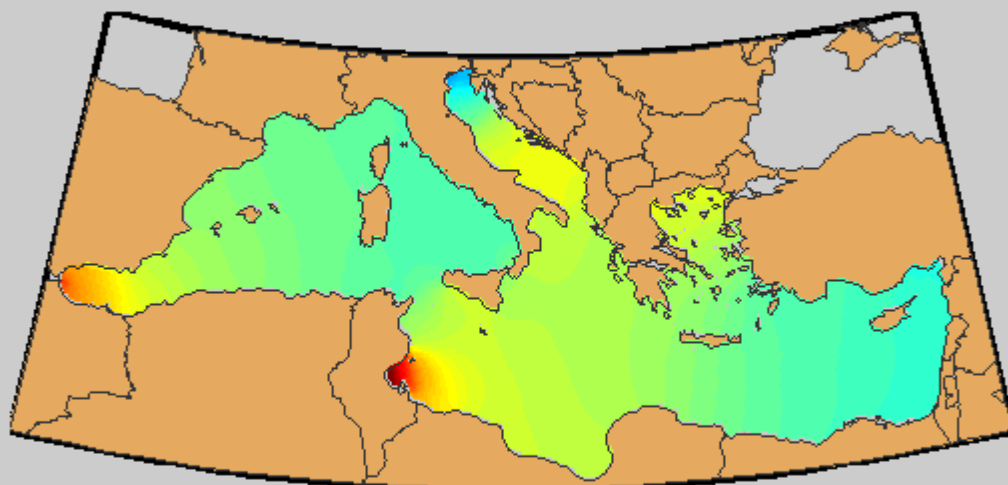


Εικόνα 36: Χάρτης παράκτιας επικινδυνότητας – Μέσο σημαντικό ύψος κύματος.

6.1.6. Μέσο εύρος παλίρροιας

Οι παλίρροιες είναι ένα παγκόσμιο φαινόμενο που επηρεάζει αρκετά συχνά και τις ελληνικές ακτές. Το μέσο εύρος παλίρροιας για τον ελλαδικό χώρο, σύμφωνα με τους Tsimplis et al. (1994) και τα δεδομένα που αντλήθηκαν από το σύστημα Ποσειδών του Ελληνικού Κέντρου Θαλάσσιων Ερευνών είναι της τάξης των 0 - 0.2 m (εικόνα 37). Συνεπώς, η ακτογραμμή του κόλπου του Μιραμπέλου σε όλο το μήκος της κατατάσσεται στην κατηγορία 1: πολύ χαμηλής επικινδυνότητας (εικόνα 38), αφού το μέσο εύρος παλίρροιας για όλη την ακτογραμμή της δεν υπερβαίνει τα 0,2 m (πίνακας 5).

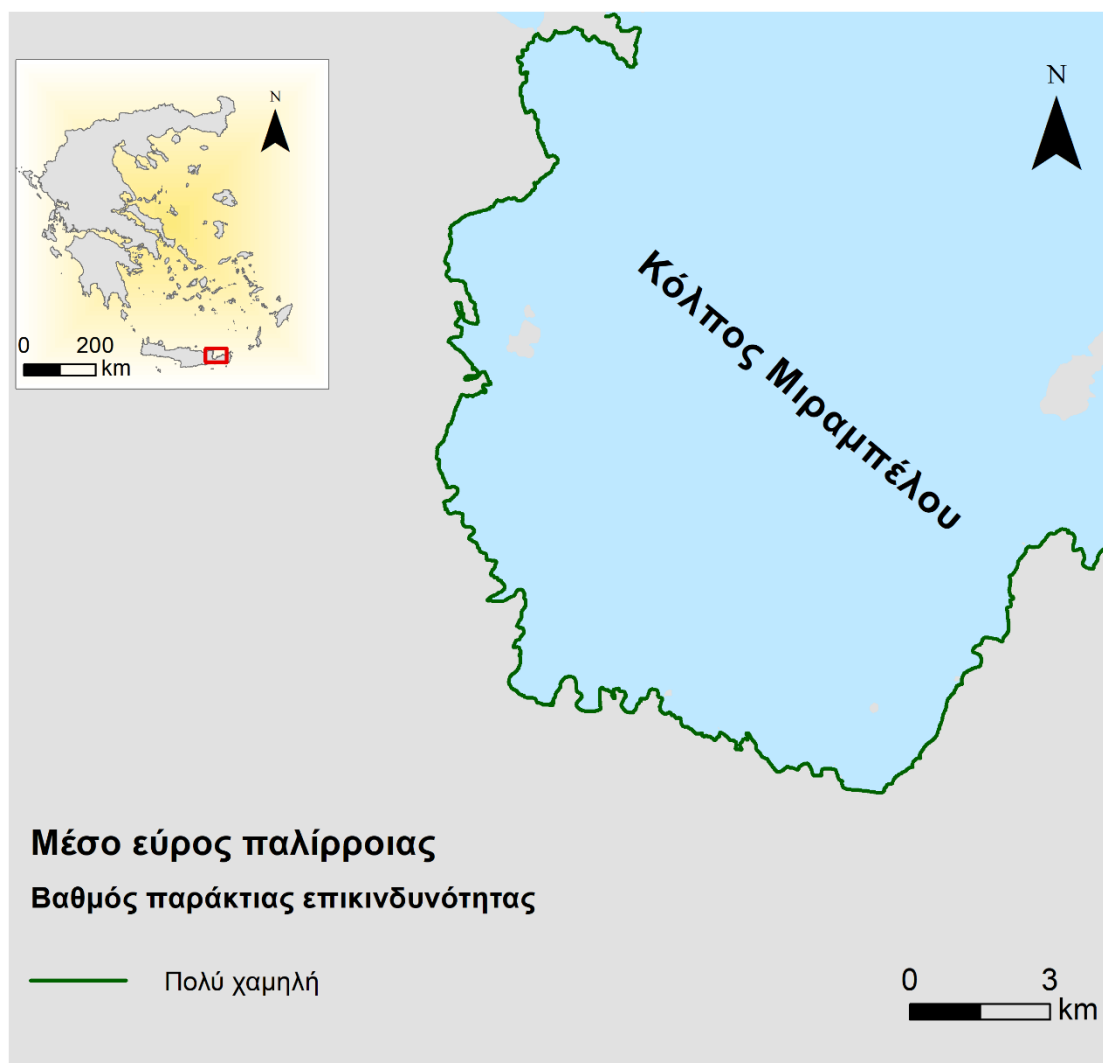
Tidal sea surface elevation on Thursday (25/09/14) 15:00UTC



Color denotes the elevation in meters



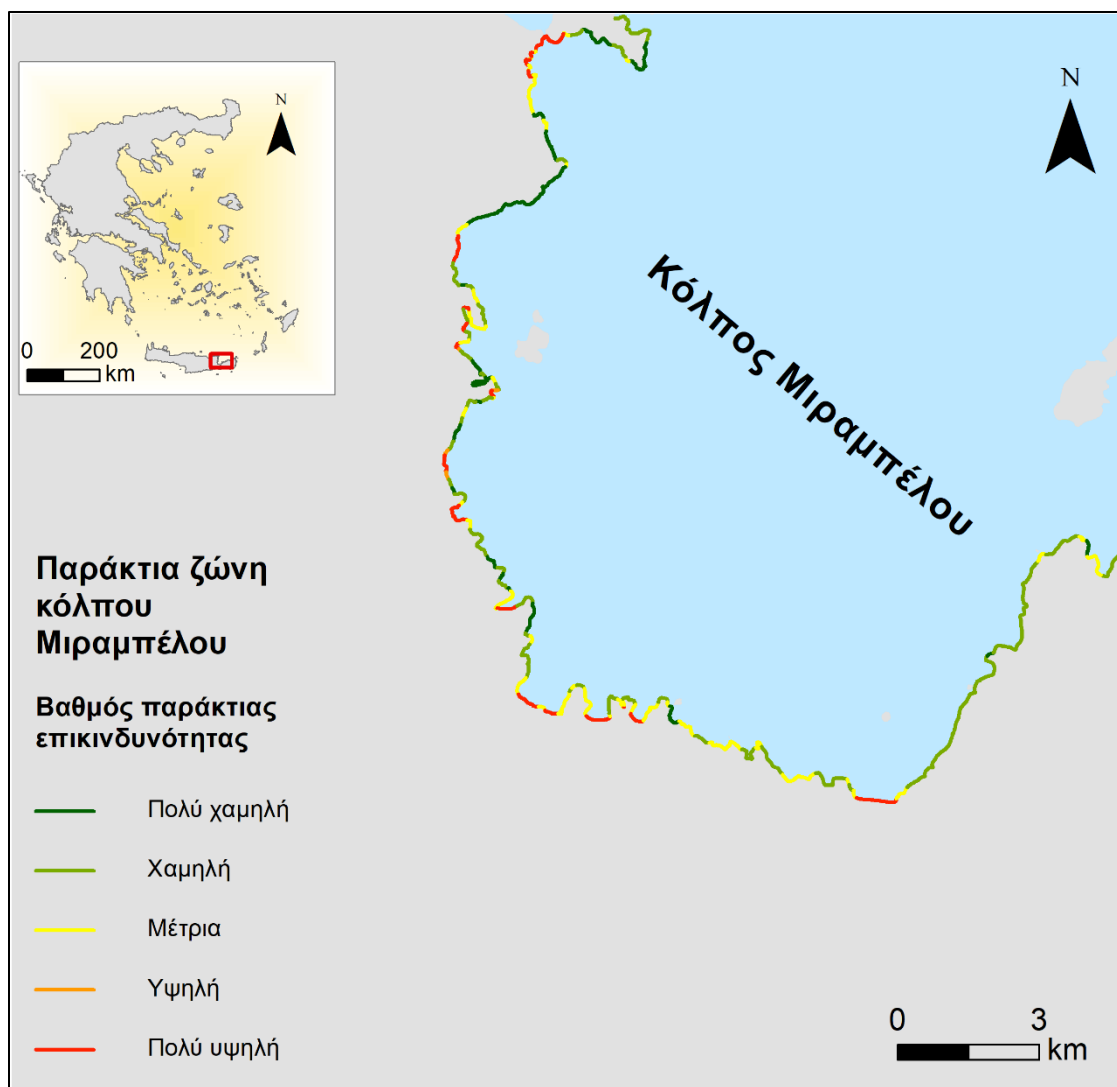
Εικόνα 37: Χάρτης ημερήσιου παλιρροιακού εύρους (πηγή: http://www.poseidon.hcmr.gr/sealevel_forecast).



Εικόνα 38: Χάρτης παράκτιας επικινδυνότητας – Μέσο εύρος παλίρροιας.

6.2. Υπολογισμός του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας - CVI

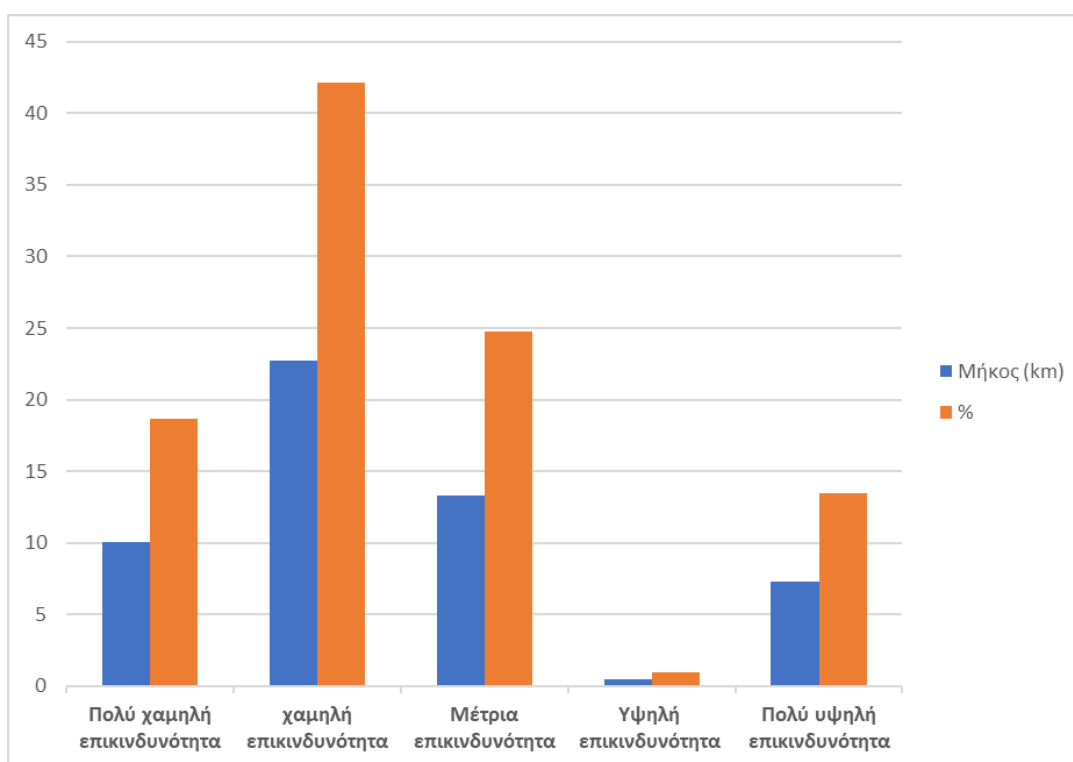
Για τον υπολογισμό του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο «Raster Calculator» σε περιβάλλον ArcGis, όπου εισήχθη η εξίσωση υπολογισμού του Δείκτη (Εξ.1). Ως παραγόμενο προέκυψε ο τελικός χάρτης με τον βαθμό επικινδυνότητας της ακτογραμμής του κόλπου του Μιραμπέλου σε ενδεχόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης (εικόνα 39), ο οποίος συνδυάζει τον βαθμό επικινδυνότητας όλων των επιμέρους παραμέτρων.



Εικόνα 39: Ταξινόμηση της ακτογραμμής του κόλπου του Μιραμπέλου ως προς την παράκτια επικινδυνότητα εφαρμόζοντας τον Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας (CVI).

Παρατηρώντας τον χάρτη με τον βαθμό επικινδυνότητας της ακτογραμμής του κόλπου του Μιραμπέλου το μεγαλύτερο τμήμα της φαίνεται να παρουσιάζει από μέτρια έως πολύ χαμηλή επικινδυνότητα. Σε αρκετά τμήματα απ'αυτά ο χαμηλός βαθμός επικινδυνότητας θα μπορούσε να αποδοθεί και σε κάποια τεχνητά λιμάνια τα οποία μειώνουν τον ρυθμό απόθεσης και απομάκρυνσης υλικού. Ωστόσο, αρκετά είναι και τα τμήματα που εμφανίζουν πολύ υψηλή επικινδυνότητα και κυρίως σε σημεία όπου απαντώνται αμμώδεις κόλποι.

Βάσει ποσοτικού υπολογισμού του δείκτη CVI (διάγραμμα 4) φαίνεται ότι το τμήμα που εμφανίζει τη χαμηλότερη επικινδυνότητα κατά μήκος της ακτογραμμής είναι 10,06 km το οποίο αντιστοιχεί σε ποσοστό 18,68 %. Χαμηλή επικινδυνότητα εμφανίζει τμήμα μήκους 22,7 km (42,14 %), μέτρια επικινδυνότητα 13,33 km (24,75 %), υψηλή επικινδυνότητα 0,5 km (0,93 %) και πολύ υψηλή επικινδυνότητα 7,27 km (13,5 %). Συνεπώς, όπως γίνεται αντιληπτό περίπου το 85 % της συνολικής ακτογραμμής του κόλπου του Μιραμπέλου δεν φαίνεται να απειλείται από ενδεχόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης, σε αντίθεση με το 14 % αυτής που απειλείται άμεσα.



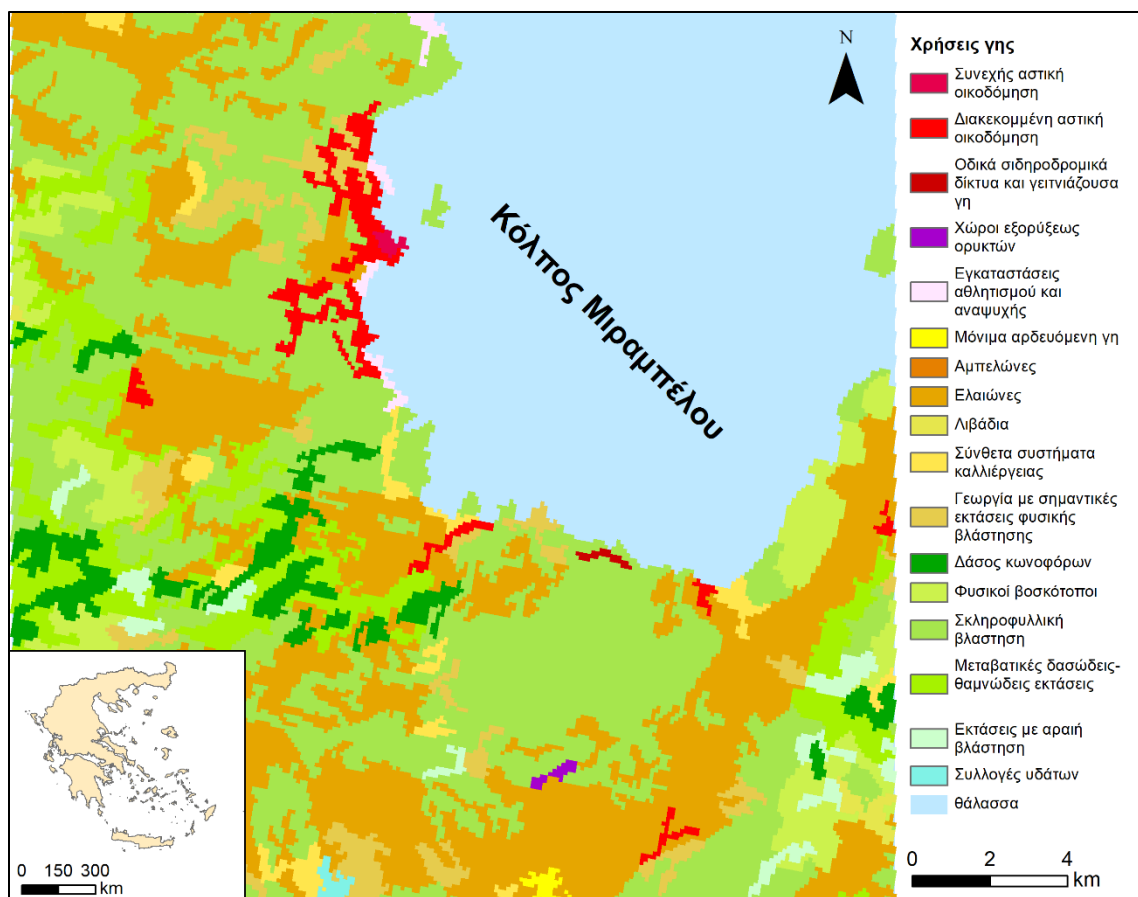
Διάγραμμα 4: Βαθμός παράκτιας επικινδυνότητας του κόλπου του Μιραμπέλου συναρτήσει του μήκους της ακτογραμμής του.

ΚΕΦ.7: Εκτίμηση απώλειας χρήσεων γης κατά μήκος της ακτογραμμής του κόλπου του Μιραμπέλου έπειτα από άνοδο της θαλάσσιας στάθμης κατά 0,5 m, 1 m και 2 m.

Η εκτιμώμενη άνοδος της θαλάσσιας στάθμης αναμένεται να επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό τις παράκτιες περιοχές και ειδικότερα αυτές που εμφανίζουν χαμηλή μορφολογική κλίση. Οι περιοχές αυτές ανήκουν στις πιο ευάλωτες περιοχές στις οποίες ενδεχόμενη άνοδος της θαλάσσιας στάθμης θα οδηγούσε τόσο σε απώλεια μεγάλων εκτάσεων γης όσο και στην υποβάθμιση περιοχών μεγάλης κοινωνικο-οικονομικής και οικολογικής σημασίας. Εκτιμάται ότι έως το 2080, το 33% των υγροβιότοπων θα έχει μετατραπεί σε ανοιχτή θάλασσα, ενώ παράκτιες περιοχές χαμηλής μορφολογικής κλίσης θα έχουν κατακλυστεί από την προέλαση της θάλασσας, με άμεση συνέπεια την υφαλμύριση του υδροφόρου ορίζοντα IPCC (2014).

7.1. Χρήσεις γης κατά μήκος της παράκτιας ζώνης του κόλπου του Μιραμπέλου

Το μεγαλύτερο τμήμα καλύπτεται (εικόνα 40) από εκτάσεις με σκληροφυλλική βλάστηση και ελαιώνες. Ακολουθούν μικρότερης έκτασης μεταβατικές δασώδεις- θαμνώδεις εκτάσεις, φυσικοί βοσκότοποι, γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης και δάσος κωνοφόρων. Επιπλέον, απαντώνται μικρότερης έκτασης διακεκομμένη αστική οικοδόμηση, σύνθετα συστήματα καλλιέργειας και εκτάσεις με αραιή βλάστηση. Ένα μικρό τμήμα καταλαμβάνεται από εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής, λιβάδια και συλλογές υδάτων, ενώ ένα πολύ μικρό τμήμα καταλαμβάνεται από μόνιμα αρδευόμενη γη, αμπελώνες, συνεχή αστική δόμηση, χώρους εξορύξεως ορυκτών και οδικά σιδηροδρομικά δίκτυα και γειτνιάζουσα γη.



Εικόνα 40: Χρήσεις γης που απαντώνται στην παράκτια ζώνη του κόλπου του Μιραμπέλου (<https://geodata.gov.gr/dataset/corine-2000>).

7.2. Σενάρια ανόδου της θαλάσσιας στάθμης

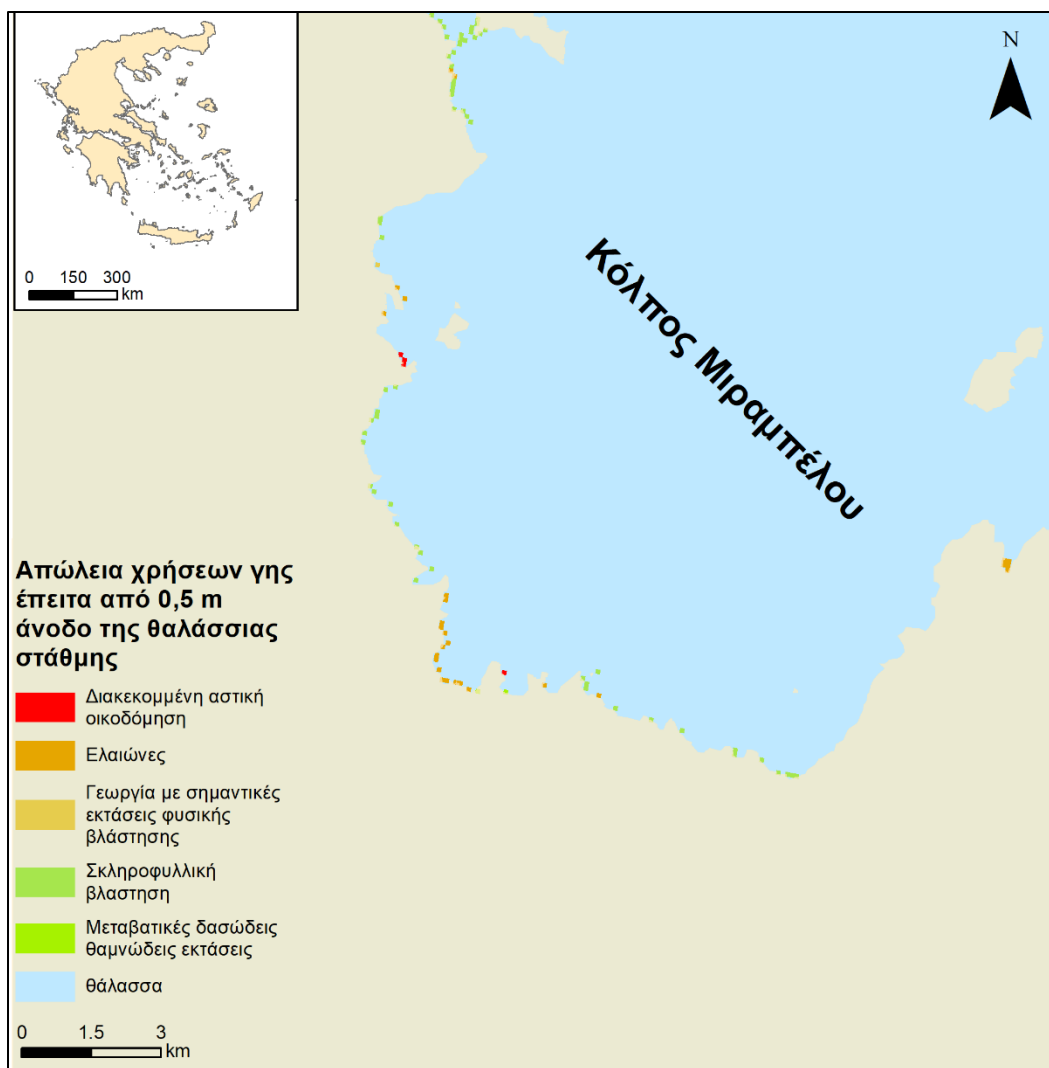
Για την εκτίμηση των επιπτώσεων από ενδεχόμενη μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης μελετήθηκαν 3 διαφορετικά σενάρια, με βασικό κριτήριο την τοπογραφία της ευρύτερης περιοχής του κόλπου του Μιραμπέλου καθώς και τις χρήσεις γης που απαντώνται στην περιοχή. Τα τρία σενάρια που μελετήθηκαν βασίστηκαν στην άνοδο της θαλάσσιας στάθμης κατά 0,5 m, 1 m και 2 m, αφού όσο χαμηλότερη μορφολογική κλίση παρουσιάζει το ανάγλυφο, τόσο μεγαλύτερη είναι η παράκτια επικινδυνότητα σε ενδεχόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης. Επιπλέον, ένα ακόμη σημαντικό κριτήριο αξιολόγησης των επιπτώσεων από μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης αποτελούν και οι χρήσεις γης στην κάθε υψομετρική ζώνη. Για τον

κόλπο του Μιραμπέλου οι χρήσεις γης αντλήθηκαν από το Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα CORINE (COoRdination of Information on the Environment) Land Cover (CLC) (πηγή: <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>) και με τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) και συγκεκριμένα του προγράμματος ArcMap έγινε η αναπαράσταση των περιοχών αυτών.

Για την εκτίμηση της έκτασης των χρήσεων γης που αναμένεται να κατακλυσθούν έπειτα από άνοδο της θαλάσσιας στάθμης καθώς και το ποσοστό τους ανά σενάριο ανόδου (πίνακας 7-9) χρησιμοποιήθηκαν οι χάρτες με τα 3 σενάρια ανόδου κατά 0.5m, 1m και 2m.

7.2.1. Σενάριο 1: Εκτίμηση των εκτάσεων που αναμένεται να κατακλυσθούν έπειτα από άνοδο της θαλάσσιας στάθμης κατά 0,5 m.

Στον παρακάτω χάρτη (εικόνα 41) απεικονίζονται οι εκτάσεις χρήσεων γης που αναμένεται να κατακλυσθούν έπειτα από άνοδο της θαλάσσιας στάθμης κατά 0,5 m. Παρατηρώντας τον χάρτη γίνεται αντιληπτό ότι το μεγαλύτερο μέρος των εκτάσεων γης καταλαμβάνεται από σκληροφυλλική βλάστηση (62,11%) με έκταση που φτάνει τα 59 km², ενώ αρκετά μεγάλο είναι και το τμήμα που αποτελείται από ελαιώνες (28,42%) με έκταση που φτάνει τα 27 km². Ακολουθούν μικρές εκτάσεις διακεκομμένης αστικής οικοδόμησης (4,21%) και μεταβατικές δασώδεις θαμνώδεις εκτάσεις (2,11%) καθώς και γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης (1,05%) (πίνακας 7).



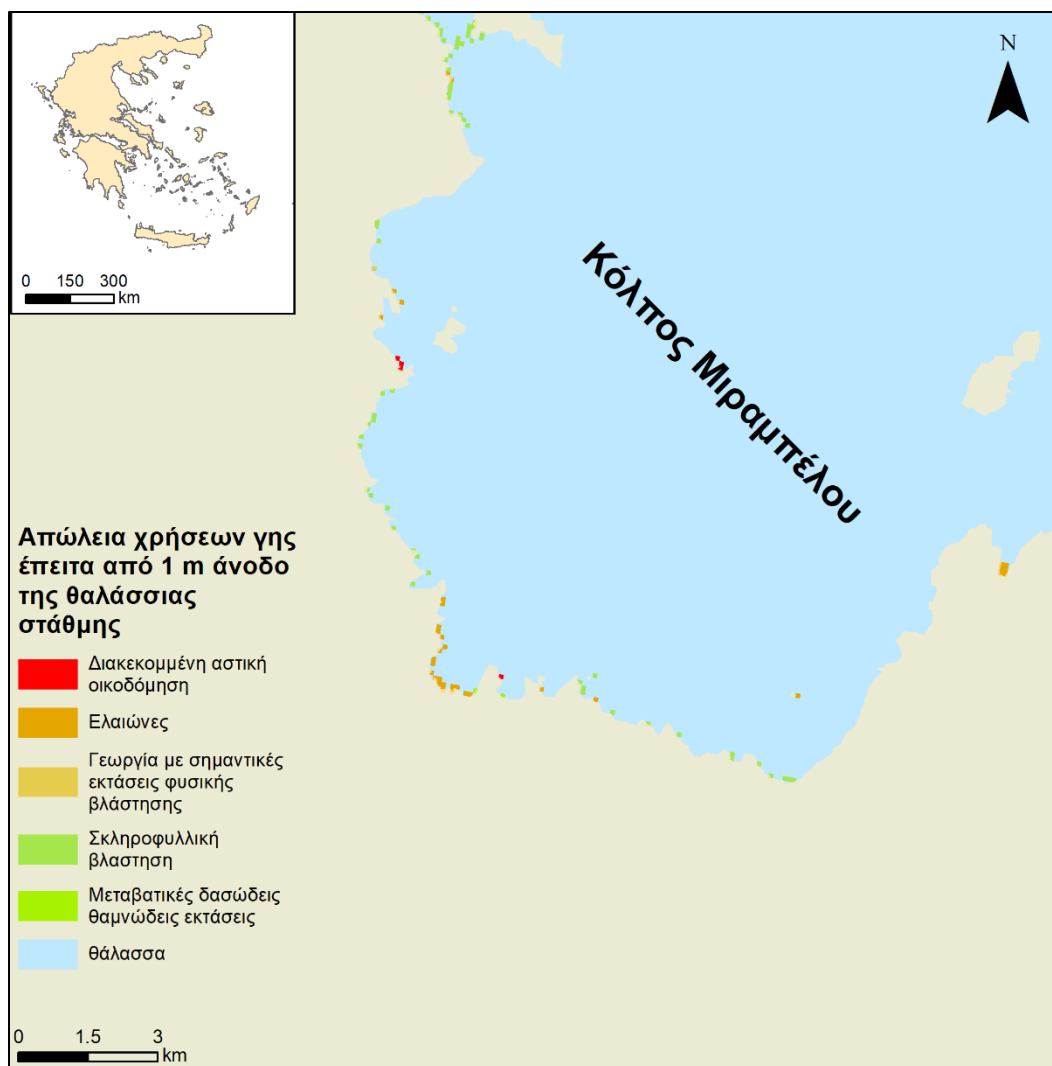
Εικόνα 41: Ζώνη κατάκλυσης ανά χρήση γης, έπειτα από άνοδο της θαλάσσιας στάθμης κατά 0,5 m.

Πίνακας 6: Εκτάσεις, ανά χρήση γης, που αναμένεται να κατακλυσθούν από αναμενόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης κατά 0.5 m (km²).

Άνοδος της θαλάσσιας στάθμης κατά 0.5 m		
Χρήσεις γης	Απώλεια έκτασης (km ²)	Απώλεια γης (%)
Διακεκομμένη αστική οικοδόμηση	4	4.21
Ελαιώνες	27	28.42
Γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης	1	1.05
Σκληροφυλλική βλάστηση	59	62.11
Μεταβατικές δασώδεις θαμνώδεις εκτάσεις	2	2.11
Συνολική απώλεια γης	93	100.00

7.2.2. Σενάριο 2: Εκτίμηση των εκτάσεων που αναμένεται να κατακλυσθούν έπειτα από άνοδο της θαλάσσιας στάθμης κατά 1 m.

Στον παρακάτω χάρτη (εικόνα 42) απεικονίζονται οι εκτάσεις ανά χρήση γης που αναμένεται να κατακλυσθούν έπειτα από άνοδο της θαλάσσιας στάθμης κατά 1m. Παρατηρώντας τον χάρτη αντιλαμβανόμαστε ότι το μεγαλύτερο μέρος των εκτάσεων που αναμένεται να κατακλυσθούν καλύπτεται και πάλι από σκληροφυλλική βλάστηση (59,8%) και ελαιώνες (33,33%), ενώ ακολουθούν μικρότερης έκτασης χρήσεις γης που αφορούν σε διακεκομμένη αστική οικοδόμηση (3,92%), μεταβατικές δασώδεις θαμνώδεις εκτάσεις (1,96%) και γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης (0,98%) (πίνακας 8). Συνολικά, αναμένεται να χαθούν 61 km² σκληροφυλλικής βλάστησης, 34 km² και 7 km² εκτάσεων γης που αφορούν σε διακεκομμένη αστική οικοδόμηση, μεταβατικές δασώδεις θαμνώδεις εκτάσεις και γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης.



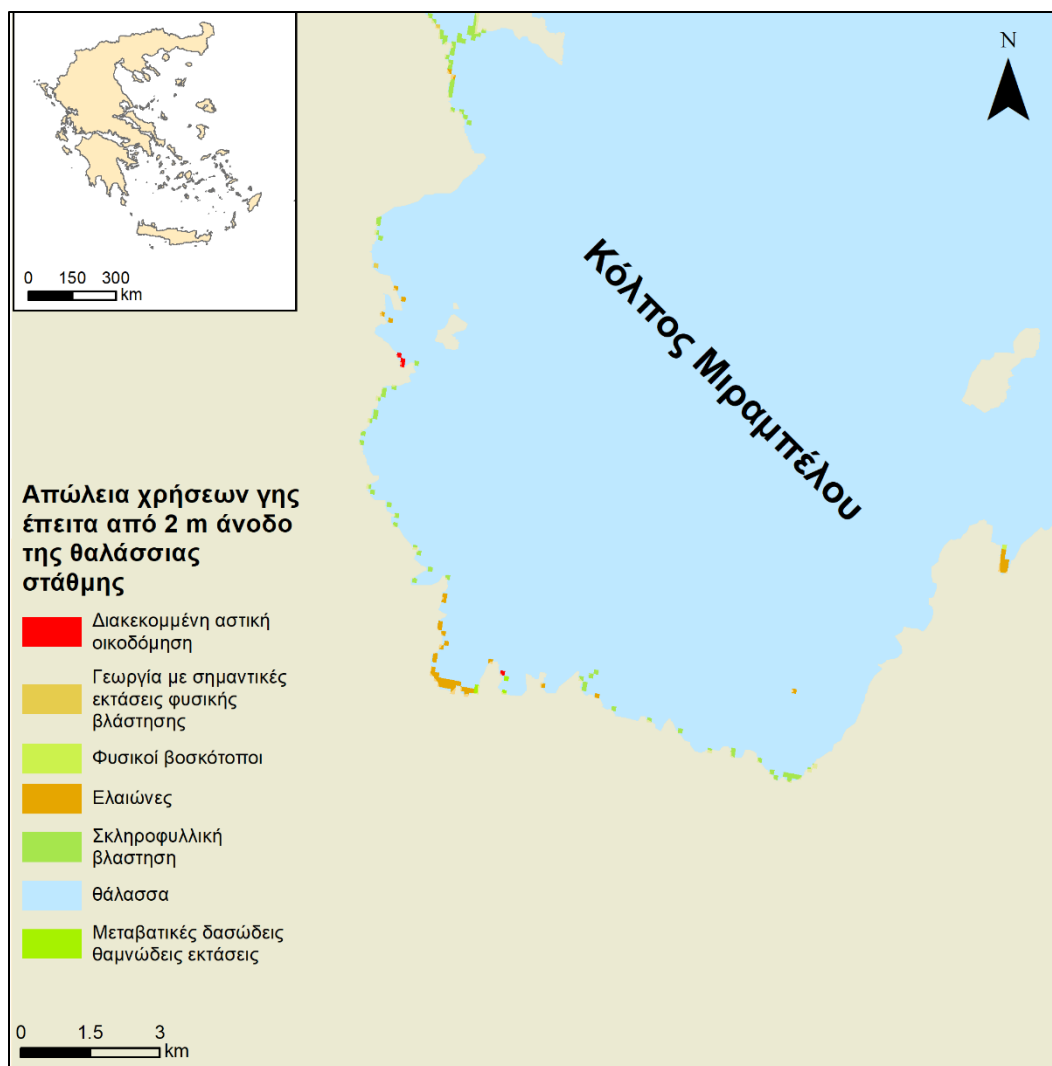
Εικόνα 42: Ζώνη κατάκλυσης ανά χρήση γης, έπειτα από άνοδο της θαλάσσιας στάθμης κατά 1 m.

Πίνακας 7: Εκτάσεις, ανά χρήση γης, που αναμένεται να κατακλυσθούν από αναμενόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης κατά 1 m (km²).

Άνοδος της θαλάσσιας στάθμης κατά 1 m		
Χρήσεις γης	Απώλεια έκτασης (km²)	Απώλεια γης (%)
Διακεκομμένη αστική οικοδόμηση	4	3.92
Ελαιώνες	34	33.33
Γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης	1	0.98
Σκληροφυλλική βλάστηση	61	59.80
Μεταβατικές δασώδεις θαμνώδεις εκτάσεις	2	1.96
Συνολική απώλεια γης	102	100.00

7.2.3. Σενάριο 3: Εκτίμηση των εκτάσεων που αναμένεται να κατακλυσθούν έπειτα από την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης κατά 2 m.

Στον παρακάτω χάρτη (εικόνα 43) απεικονίζονται οι εκτάσεις χρήσεων γης που αναμένεται να κατακλυσθούν έπειτα από άνοδο της θαλάσσιας στάθμης κατά 0,5 m. Παρατηρώντας τον χάρτη γίνεται αντιληπτό ότι το μεγαλύτερο μέρος των εκτάσεων γης καταλαμβάνεται από σκληροφυλλική βλάστηση (59,12%) με έκταση που φτάνει τα 81 km², ενώ αρκετά μεγάλο είναι και το τμήμα που αποτελείται από ελαιώνες (32,85%) με έκταση που φτάνει τα 45 km². Ακολουθούν μικρές εκτάσεις διακεκομμένης αστικής οικοδόμησης (2,92%), μεταβατικές δασώδεις θαμνώδεις εκτάσεις (2,92%), γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης (1,46%) και φυσικοί βοσκότοποι (0,73%) (πίνακας 9).

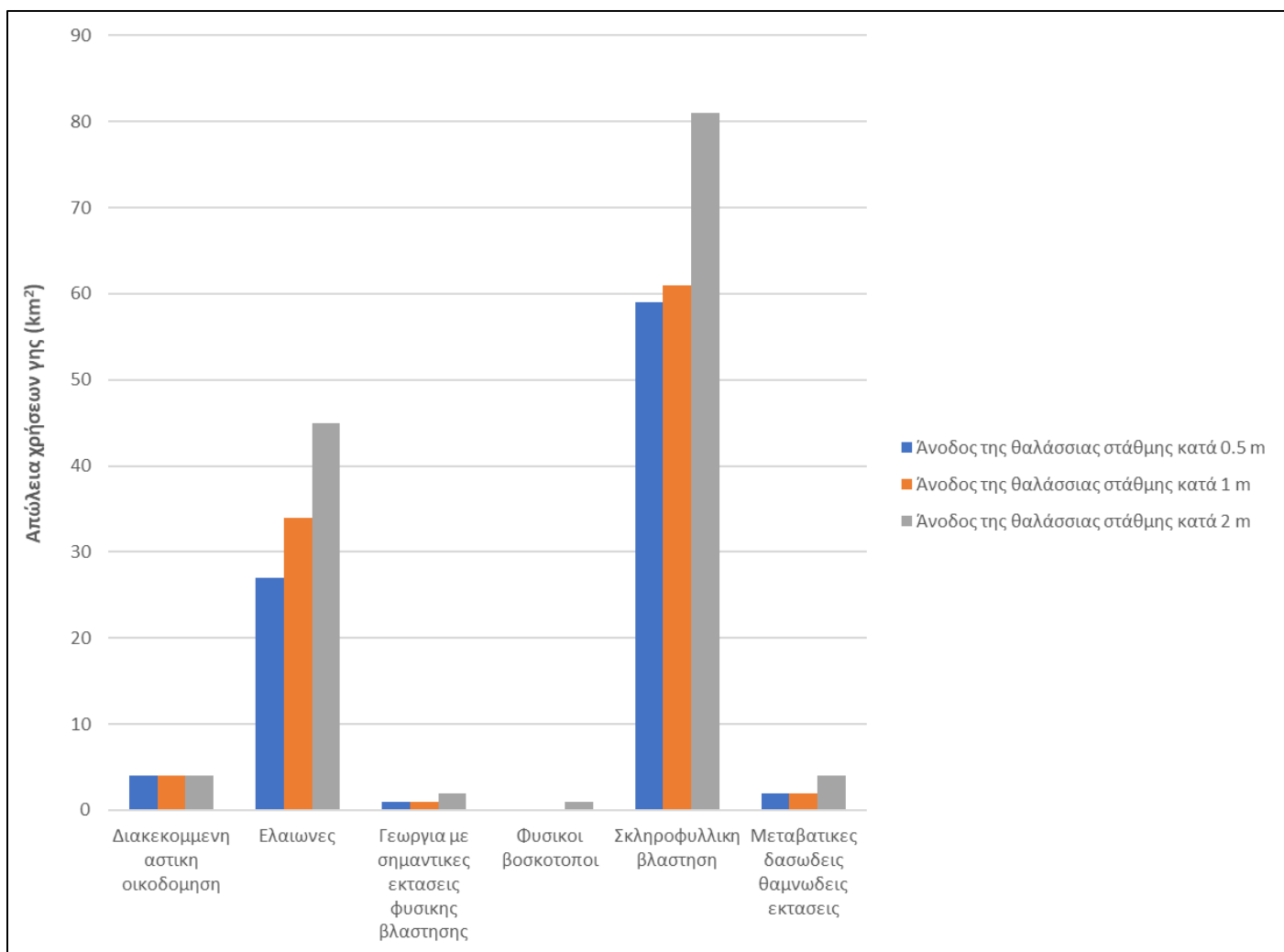


Εικόνα 43: Ζώνη κατάκλυσης ανά χρήση γης, έπειτα από άνοδο της θαλάσσιας στάθμης κατά 2 m.

Πίνακας 8: Εκτάσεις, ανά χρήση γης, που αναμένεται να κατακλυσθούν από αναμενόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης κατά 2 m (km²).

Άνοδος της θαλάσσιας στάθμης κατά 2 m		
Χρήσεις γης	Απώλεια έκτασης (km²)	Απώλεια γης (%)
Διακεκομμένη αστική οικοδόμηση	4	2.92
Ελαιώνες	45	32.85
Γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης	2	1.46
Φυσικοί βοσκότοποι	1	0.73
Σκληροφυλλική βλάστηση	81	59.12
Μεταβατικές δασώδεις θαμνώδεις εκτάσεις	4	2.92
Συνολική απώλεια γης	137	100.00

Σύμφωνα με τα παραπάνω, η συνολική απώλεια χρήσεων γης έπειτα από άνοδο της θαλάσσιας στάθμης κατά 0,5 m ανέρχεται σε 93 km², έπειτα από άνοδο 1 m εκτιμάται απώλεια γης συνολικής έκτασης 102 km², ενώ έπειτα από άνοδο 2 m η έκταση που αναμένεται να κατακλυσθεί είναι συνολικής έκτασης 137 km². Το παρακάτω διάγραμμα (διάγραμμα 5) παρουσιάζει τις εκτάσεις, ανά χρήση γης, που αναμένεται να κατακλυσθούν για κάθε σενάριο ανόδου της θαλάσσιας στάθμης. Όπως γίνεται αντιληπτό, το μεγαλύτερο τμήμα των εκτάσεων που αναμένεται να κατακλυσθούν και για τα 3 σενάρια, αφορά σε σκληροφυλλική βλάστηση και ελαιώνες, ακολουθεί η διακεκομμένη αστική οικοδόμηση, οι μεταβατικές δασώδεις θαμνώδεις εκτάσεις, η γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης και οι φυσικοί βοσκότοποι.



Διάγραμμα 5: Έκταση (km²), ανά χρήση γης, που αναμένεται να κατακλυσθεί για κάθε σενάριο ανόδου της θαλάσσιας στάθμης.

ΚΕΦ.8: Μέτρα προστασίας των ακτών από τη διάβρωση

Για την προστασία των ακτών από το φαινόμενο της διάβρωσης χρησιμοποιούνται, κατά περίπτωση, είτε ήπιες μέθοδοι προστασίας που αποσκοπούν κυρίως στη μίμηση των φυσικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στην παράκτια ζώνη, είτε βαρέας μορφής που στοχεύουν κυρίως στη σταθεροποίηση της ακτογραμμής μέσω τεχνητών έργων κατά μήκος της. Προκειμένου να επιτευχθεί ορθή επιλογή και σχεδιασμός των έργων θωράκισης της ακτής είναι ιδιαίτερα σημαντικό να ληφθούν υπόψη διάφορες φυσικές και ανθρωπογενείς παράμετροι, το υδροδυναμικό και κυματικό καθεστώς της παράκτιας ζώνης, ο μηχανισμός διάβρωσης, η ποσότητα του ιζήματος, απαιτήσεις στατικότητας και λειτουργικότητας του έργου, αλλά και περιβαλλοντικοί και κοινωνικο-οικονομικοί παράγοντες.

Κατά τον σχεδιασμό των παράκτιων έργων προστασίας είναι απαραίτητο να λαμβάνεται υπόψη τόσο η στατικότητα της όσο και η δυναμική της, λόγω της τοποθέτησής τους μέσα σε θαλάσσιο περιβάλλον. Τα πιο κοινά υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τους είναι το οπλισμένο σκυρόδεμα, το μέταλλο, το ξύλο και οι φυσικοί λίθοι. Επιπλέον, πέραν των τεχνικών προδιαγραφών των παράκτιων έργων, είναι απαραίτητο να λαμβάνονται υπόψη και μέτρα προστασίας που αφορούν στην παράκτια ναυσιπλοΐα (χαρτογράφηση, τοποθέτηση φωτισσημαντήρων).

8.1. Ήπιες μέθοδοι προστασίας των ακτών

-Τεχνητή τροφοδοσία της ακτής με ιζημα (beach nourishment)

Στη μέθοδο τεχνητής τροφοδοσίας της ακτής με ιζημα (εικόνα 44) γίνεται πλήρωση με ιζημα παρόμοιο με αυτό του πυθμένα και εφαρμόζεται κυρίως σε ακτές οι οποίες έχουν πληγεί στο μεγαλύτερο τμήμα κατά μήκος της από το φαινόμενο της διάβρωσης. Η συγκεκριμένη μέθοδος πέραν της προστασίας προσφέρει αύξηση της παράκτιας ζώνης, το οποίο ευνοεί ιδιαιτέρως της περιοχές που φιλοξενούν τουριστικές δραστηριότητες. Συνήθως, απαιτείται επανάληψή της μετά το πέρας ορισμένων ετών.

Κατατάσσεται στις ήπιες μεθόδους προστασίας διότι δεν απαιτείται η κατασκευή έργων που οδηγούν στην παραμόρφωση της όψης της ακτής και δεν έχουν περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε αυτή. Ωστόσο, η απαίτηση επανάληψης της τεχνητής τροφοδοσίας της ακτής με ιζημα αυξάνει το κόστος του έργου με αποτέλεσμα να είναι σε αρκετές περιπτώσεις ασύμφορη για ακτές μικρού μήκους. Επιπλέον, η μέθοδος παρουσιάζει μεγάλη πιθανότητα αστοχίας διότι είναι απαραίτητο να λαμβάνονται υπόψη αρκετές παράμετροι της τα χαρακτηριστικά του ιζήματος της ακτής, ποιοι είναι παράκτιοι μηχανισμοί δράσης, η διαθεσιμότητα, η ποιότητα και η ποσότητα του ιζήματος, η εκτίμηση επανάληψης της μεθόδου, η απόσταση του ιζήματος αναπλήρωσης, ενδεχόμενη αστοχία του έργου, η ανάγκη έργων συγκράτησης του ιζήματος και οι περιβαλλοντικοί / κοινωνικοί παράγοντες που επικρατούν στην παράκτια περιοχή.



Εικόνα 44: Τεχνητή αναπλήρωση της ακτής με άμμο στα περίχωρα της Μελβούρνης στην Αυστραλία (Καρύμπαλης, 2010).

Στη μέθοδο τεχνητής τροφοδοσίας της ακτής με ιζημα θα πρέπει να εξασφαλίζεται ότι το σύστημα μετά την εφαρμογή της μεθόδου θα παραμείνει σε ισορροπία, διότι έπειτα από τεχνητή τροφοδοσία της ακτής μεταβάλλονται οι συνθήκες στερεομεταφοράς, παρατηρείται

μεταβολή της κυματικής ενέργειας και μία γενικότερη μεταβολή της ισορροπίας του συστήματος. Συνεπώς, είναι απαραίτητο να πραγματοποιείται μία τεχνητά διαμορφωμένη κλίση πυθμένα, παρόμοια με την κλίση της διατομής ισορροπίας στην παράκτια ζώνη. Επιπλέον, θα πρέπει να χρησιμοποιείται μέγεθος κόκκων ιζήματος μεγαλύτερης διαμέτρου από το ήδη υπάρχον, ώστε να διασφαλισθεί απώλεια ιζήματος στα ανοιχτά και καλύτερη διανομή του.

Σε αρκετές περιπτώσεις κρίνεται απαραίτητη η κατασκευή έργων συγκράτησης του ιζήματος και σταθεροποίησης της διατομής της παράκτιας ζώνης, μέσω της κατασκευής υφάλων. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται επιβράδυνση της μεταφοράς μάζας από τη ζώνη απόσβεσης στη ζώνη πριν από τη θραύση. Επιπλέον, σε κάποιες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται διάτρητοι κυματοθραύστες οι οποίοι έχουν την ιδιότητα να επιτρέπουν συγκεκριμένη ποσότητα διερχόμενης ενέργειας. Ιδιαίτερα σημαντικός είναι ο χώρος και ο τρόπος εναπόθεσης του ιζήματος αναπλήρωσης. Συνήθως, η μέθοδος τεχνητής τροφοδοσίας με ίζημα πραγματοποιείται μέσω βυθοκόρων, οι οποίες αντλούν το ίζημα από διπλανή περιοχή και το εναποθέτουν στην εν λόγω ακτή. Επιπλέον, θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί και με μηχανικά μέσα, όπου στην περίπτωση αυτή το ίζημα εναποτίθεται υψηλότερα από τη μέγιστη στάθμη της θάλασσας, στα όρια της ζώνης διάβρωσης, έτσι ώστε να επιτευχθεί μεγαλύτερη προστασία της ενδοχώρας.

8.2. Βαρέας μορφής έργα προστασίας των ακτών

- Κυματοθραύστες (breakwaters)

Είναι επιμήκη έργα τα οποία τοποθετούνται παράλληλα ή με μικρή κλίση προς την ακτογραμμή και σε κάποια απόσταση από αυτή (εικόνα 45). Ο κύριος ρόλος που διαδραματίζουν στην ακτή είναι η προστασία της από το φαινόμενο της διάβρωσης και από τη δράση του κυματισμού αφού συμβάλλουν στη δημιουργία ηπιότερων κυμάτων. Οι κυματοθραύστες κατασκευάζονται κυρίως σε ακτές με ανοικτό μέτωπο προς το πέλαγος όπου το υλικό τους είναι λεπτόκοκκο, προκειμένου να διασφαλισθεί η προστασία τους από το φαινόμενο της διάβρωσης αλλά και για

την αποφυγή περιορισμού του πλάτους της (Δασκαλάκης, 2009). Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες κυματοθραυστών οι κυριότερες από τις οποίες είναι οι ακόλουθες:

- Πλωτοί κυματοθραύστες
- Αποσπασμένοι τυπικοί κυματοθραύστες συμπαγούς διατομής
- Κυματοθραύστες ιαπωνικού τύπου
- Διάτρητοι κυματοθραύστες
- Ύφαλοι ή βυθισμένοι κυματοθραύστες
- Κυματοθραύστες πάνω σε πασσάλους: ιδανικοί για χαλαρούς πυθμένες αφού αποτελούν ελαφριές κατασκευές



Εικόνα 45: Κατασκευή κυματοθραύστη στο λιμάνι της πόλης Colombo, Sri Lanka (πηγή: http://english.scio.gov.cn/m/in-depth/2019-01/24/content_74404601_3.htm).

Οι βυθιζόμενοι κυματοθραύστες (submerged breakwaters) αποτελούν μία ηπιότερη μορφή βραχιόνων των οποίων η στέψη είναι βυθισμένη στο νερό για λόγους αποφυγής οπτικής

ρύπανσης. Η τοποθέτησή τους γίνεται παράλληλα στην ακτή (εικόνα 46), ο ένας δίπλα στον άλλο, και στον χώρο που παρεμβάλλεται ανάμεσά τους, γίνεται συσσώρευση άμμου. Ένα από τα μειονεκτήματα των βυθιζόμενων κυματοθραυστών είναι ότι δημιουργούν σημειακά ρεύματα επαναφοράς λόγω υπερχείλισης του νερού στην ακτή, πάνω από τη στέψη τους, με αποτέλεσμα τοπικά διαβρωτικά φαινόμενα κατά μήκος της ακτής. Ο τρόπος κατασκευής της είναι της με των απλών βραχιόνων. Ωστόσο, το CERC πρότεινε την κατασκευή του από γεωσωλήνες ή σωλήνες πολυαιθυλενίου (PET) με υλικό πλήρωσης άμμο ή ισχνό σκυρόδεμα. Το υλικό που χρησιμοποιείται για την κατασκευή των γεωσωληνών είναι το γεωύφασμα η αντοχή του οποίου εξαρτάται από το υλικό πλήρωσής της. Στην περίπτωση που το υλικό πλήρωσης είναι άμμος το γεωύφασμα θα πρέπει να είναι υψηλής αντοχής διότι η δράση των κυματισμών καταπονεί σε μεγάλο βαθμό τον βραχίονα. Σε περίπτωση που το υλικό πλήρωσης είναι άοπλο σκυρόδεμα, δεν απαιτείται αυξημένη αντοχή του γεωυφάσματος παρά μόνον στο αρχικό στάδιο της κατασκευής.



Εικόνα 46: Βυθιζόμενοι κυματοθραύστες (Κουτσοβέλα, 2010).

Η λειτουργία των πλωτών κυματοθραυστών (floating breakwaters) είναι παρόμοια με αυτή των παράλληλων κυματοθραυστών με τη διαφορά ότι επιπλέουν στην επιφάνεια της θάλασσας (εικόνα 47), ενώ οι παράλληλοι κυματοθραύστες είναι εναποτεθειμένοι στον θαλάσσιο

πυθμένα. Οι τρόπος με τον οποίο συγκρατούνται στην επιφάνεια της θάλασσας είναι μέσω αγκυρών και ο κύριος ρόλος τους για την προστασία της ακτής είναι η συσσώρευση της στερεοπαροχής στο τμήμα της ακτής που βρίσκεται πίσω τους, μέσω εκτροπής του παράλληλου θαλάσσιου ρεύματος και κατ'επέκταση και της στερεοπαροχής. Τα κυριότερα πλεονεκτήματά τους είναι η εύκολη κατασκευή και συντήρησή τους, δεν δημιουργούν οπτική ρύπανση, εξασφαλίζουν καλύτερη ανακύκλωση των νερών κοντά στην ακτή και γίνεται εύκολα η μετατόπισή τους από σημείο σε σημείο με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται προσάμμιση της ακτής οπουδήποτε κατά μήκος της. Το υλικό κατασκευής τους είναι η διογκωμένη πολυστερίνη, GRP ή άλλα πλαστικά υλικά. Ένα επίφοβο σημείο της κατασκευής είναι το γεγονός ότι η δράση του κυματισμού είναι πιθανόν να οδηγήσει σε σύρση των αγκυρών ή θραύση της καδένας το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα την μετατόπιση των πλωτών κυματοθραυστών.



Εικόνα 47: Πλωτοί κυματοθραύστες (πηγή: http://www.coastalwiki.org/wiki/Floating_breakwaters).

-Βραχίονες ή πρόβολοι (groins)

Αποτελούν έργα προστασίας της ακτής με σκοπό τη σταθεροποίησή της και συνήθως τοποθετούνται διαδοχικά και κατά μήκος της ακτής με τον διαμήκη άξονά τους κάθετο ή σχεδόν κάθετο προς αυτή (εικόνα 48). Ο κύριος ρόλος που διαδραματίζουν στην ακτή είναι ο έλεγχος

της στερεοπαροχής για την προστασία της από το φαινόμενο της διάβρωσης αλλά και η συσσώρευση ιζήματος κατά μήκος της προκειμένου να αποφευχθεί, κατά το δυνατόν, ο περιορισμός του πλάτους της. Το προστατευόμενο μήκος της ακτογραμμής εξαρτάται κατά κύριο λόγο από το μήκος του τοποθετημένου προβόλου και από τη γωνία πρόσπτωσης των κυμάτων. Κατά κύριο λόγο, η τοποθέτηση του προβόλου λειτουργεί ως εμπόδιο στη μετακίνηση των ιζημάτων κατά μήκος της ακτογραμμής και προσφέρει απόθεση ιζήματος ανάντη του έργου αλλά και αύξηση του πλάτους της ακτής, ενώ παράλληλα εμφανίζεται διάβρωση κατόντη (Καρύμπαλης, 2010).



Εικόνα 48: Κατασκευή προβόλων στην παραλία της Indianola, United States (πηγή: <https://www.cbi.tamucc.edu/CHRGIS/Indianola-Beach/>)

-Τοίχοι προστασίας των ακτών (seawalls)

Οι τοίχοι προστασίας των ακτών τοποθετούνται παράλληλα προς την ακτογραμμή και στοχεύουν στην επιβράδυνση της διάβρωσης καθώς και στην προστασία των κτιρίων ή/και των δρόμων από την επίδραση των κυμάτων (εικόνα 49). Το υλικό που χρησιμοποιείται για την κατασκευή τους μπορεί να είναι μεγάλοι ογκόλιθοι από φυσικά πετρώματα, τσιμέντο, πάσσαλοι από ξύλο ή ατσάλι και σακιά τα οποία περιέχουν άμμο ή άλλα υλικά. Ένα μειονέκτημα της κατασκευής είναι ότι διαβρώνεται από τις χερσαίες και τις θαλάσσιες διεργασίες. Επιπλέον, η κατασκευή θα πρέπει να εναρμονίζεται με τις υπάρχουσες χρήσεις γης προς αποφυγή οπτικής ρύπανσης. Για τους λόγους αυτούς και για την αποφυγή περεταίρω προβλημάτων η τοποθέτηση και κατασκευή τους θα πρέπει να γίνεται μόνο σε ειδικές περιπτώσεις (Καρύμπαλης, 2010).



Εικόνα 49: Τοίχος προστασίας της ακτής στο Brighton Beach, Melbourne
(πηγή:<https://www.abc.net.au/news/2020-01-08/bluestone-seawall-at-brighton-beach-in-melbourne-2009-1/11799148?nw=0>)

ΚΕΦ.9: Ολοκληρωμένη διαχείριση παράκτιων ζωνών

Οι ολοένα αυξανόμενες πιέσεις στον παράκτιο χώρο οδήγησαν στην ανάγκη δημιουργίας ενός θεσμικού πλαισίου για την διαχείρισή του. Η πρώτη προσπάθεια ξεκίνησε τη δεκαετία του 1970, ωστόσο κρίθηκε αναποτελεσματική διότι επικεντρωνόταν σε μεμονωμένες δραστηριότητες (αλιεία, μεταφορές κλπ) (Coastal Management Policy Programme & Department of Environmental Affairs and Tourism, 2000:10-11 & Garriga Maica, 2009). Για τον λόγο αυτό, μετέπειτα, στη Διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη (1992) εισήχθη η έννοια της Ολοκληρωμένης Διαχείρισης των Παράκτιων Ζωνών, η οποία επικεντρώνεται στην ανάγκη για την προστασία όλων των θαλασσών και των ωκεανών αλλά και στην ανάπτυξη, ορθολογική χρήση και προστασία των ζώντων πόρων στις περιοχές αυτές. Η ολοκληρωμένη προσέγγιση διαχείρισης των παράκτιων ζωνών κρίνεται απαραίτητη αφενός λόγω της ιδιαίτερης κοινωνικο-οικονομικής και περιβαλλοντικής σημασίας τους, αφού φιλοξενούν πληθώρα βιομηχανικών, αγροτικών και τουριστικών δραστηριοτήτων και αφετέρου λόγω της αλληλεπίδρασης των παράκτιων χώρων με την ενδοχώρα (Βίττης, 2004:10 & UNEP, 2009:49).

Εξ'ορισμού η Ολοκληρωμένη Διαχείριση Παράκτιων Ζωνών (ΟΔΠΖ) «είναι μια δυναμική διαδικασία στην οποία αναπτύσσεται και εφαρμόζεται μια συντονισμένη στρατηγική για την κατανομή των περιβαλλοντικών, κοινωνικο-πολιτισμικών και θεσμικών πόρων, προκειμένου να επιτευχθεί η διατήρηση και η αειφόρος πολλαπλή χρήση της παράκτιας ζώνης» (Coastal Area Management and Planning Network, 1989). Η ΟΔΠΖ αποτελεί σε παγκόσμια κλίμακα το πλέον καταλληλότερο εργαλείο αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής, της ανόδου της θαλάσσιας στάθμης αλλά και των παράκτιων προκλήσεων που απαντώνται κατά μήκος της παράκτιας ζώνης.

Οι βασικότεροι στόχοι της ΟΔΠΖ (J. Clark, 1995:25- 31) είναι οι ακόλουθοι:

- Προστασία της βιοποικιλότητας
- Έλεγχος ρύπων
- Διατήρηση υψηλής ποιότητας παράκτιου περιβάλλοντος
- Διατήρηση ενδιαιτημάτων υψηλής σημασίας
- Βιώσιμη χρήση φυσικών πόρων
- Βελτίωση οικολογικών διαδικασιών ιδιαίτερης σημασίας
- Προστασία από φυσικές καταστροφές
- Αποκατάσταση υποβαθμισμένου περιβάλλοντος
- Καθορισμός προδιαγραφών για την ανάπτυξη δραστηριοτήτων στις παράκτιες ζώνες
- Προσδιορισμός των περιοχών όπου μπορούν να αναπτυχθούν ανθρώπινες δραστηριότητες και περιοχών που πρέπει να διατηρηθούν
- Ορισμός προδιαγραφών για τον καθορισμό των χρήσεων γης στις παράκτιες περιοχές και διευθέτηση συγκρουόμενων χρήσεων γης

Για την εφαρμογή της ΟΔΠΖ ακολουθείται η μεθοδολογία Screening – Scoping – Scanning (Fabbri, 1998) σύμφωνα με τη Strategic Environmental Assessment (SEA), η οποία περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

- Προσδιορισμός του προβλήματος και καθορισμός της υπό μελέτη περιοχής
- Ανάλυση υφιστάμενης κατάστασης και εντοπισμός καίριων σημείων
- Άξονες σχεδιασμού και εύρεση εναλλακτικών σεναρίων πολιτικής
- Αξιολόγηση εναλλακτικών σεναρίων
- Επιλογή εναλλακτικής και ανάπτυξη διαχειριστικού σχεδίου

Τα βασικότερα εργαλεία και οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται στην ΟΔΠΖ είναι (Κερανίδου, 2017):

-Διαχείριση βάσης δεδομένων

Αποτελούν ιδιαίτερα σημαντικά εργαλεία καθώς συμβάλλουν στη μείωση της αβεβαιότητας και προτείνουν τρόπους αναγνώρισης παρόμοιων θεμάτων που αφορούν στην παράκτια ζώνη.

Επίσης, επισημαίνουν για πιθανές επιδράσεις από την εφαρμογή εναλλακτικών σεναρίων και παρέχουν επιπλέον πληροφορίες σχετικά με παραμέτρους που συμβάλουν σε μια ορθολογική αξιολόγηση των καταστάσεων. Οι βάσεις δεδομένων συνδυάζουν τόσο φυσικές και κοινωνικές όσο και οικονομικές πληροφορίες έχοντας ως απώτερο σκοπό την ολοκληρωμένη αξιολόγηση των διαφόρων σεναρίων.

Για τη διαχείριση της βάσης δεδομένων σημαντικό εργαλείο αποτελούν τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) καθώς χρησιμοποιούν γεωγραφικά δεδομένα τα οποία αναπαρίστανται μέσω ψηφιακών χαρτών συνδυάζοντας περιβαλλοντικά, οικονομικά και κοινωνικά δεδομένα σε ένα σύστημα.

-Τεχνικές εκτίμησης

Περιλαμβάνουν τεχνικές για την εκτίμηση του κινδύνου, των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και του κόστους οφέλους που μπορεί να προκύψουν από την εφαρμογή εναλλακτικών σεναρίων.

-Θεσμικά και οικονομικά εργαλεία

Αφορούν σε διαπραγματεύσεις, συμφωνίες και τεχνικές λύσεις διαφωνιών.

Μέτρα προσαρμογής της ΟΔΠΖ για την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης, τις πλημμύρες και τη διάβρωση

-Μέτρα προστασίας, με στόχο τη συνέχιση της χρήσης των ευάλωτων περιοχών

-Μέτρα φιλοξενίας-συμβιβασμού, με στόχο την προσαρμογή των κατοίκων των ευάλωτων περιοχών στις νέες συνθήκες

-Μέτρα υποχώρησης, σε περίπτωση που η ευάλωτη περιοχή χαρακτηριστεί ως μη βιώσιμη και χρήζει εγκατάλειψης αυτών

-Μέτρα διατήρησης, για τη διατήρηση και ενίσχυση του φυσικού περιβάλλοντος

Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε μία προσπάθεια διερεύνησης της επικινδυνότητας του κόλπου του Μιραμπέλου-BA Κρήτη στην άνοδο της μέσης θαλάσσιας στάθμης λόγω κλιματικής αλλαγής. Για την επίτευξη αυτού υπολογίσθηκε ο Δείκτης Παράκτιας Τρωτότητας-CVI, αξιοποιώντας δεδομένα από τον γεωλογικό χάρτη της περιοχής μελέτης, το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM), τη σχετική μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης, αεροφωτογραφίες για την εκτίμηση του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής, τον Άτλαντα Ανέμου και Κύματος των Ελληνικών Θαλασσών-Σύστημα Ποσειδών καθώς και δεδομένα για το μέσο εύρος παλίρροιας. Τα δεδομένα αυτά επεξεργάστηκαν με το λογισμικό ArcGIS 10.5 και δημιουργήθηκε μία βάση δεδομένων όπου καταγράφηκε η τιμή των επιμέρους παραμέτρων που ορίζουν τα χαρακτηριστικά της ακτογραμμής του κόλπου του Μιραμπέλου. Για την απεικόνιση των αποτελεσμάτων δημιουργήθηκαν χάρτες μέσω του προγράμματος ArcMap, όπου όλες οι μεταβλητές του CVI προβλήθηκαν επάνω στην ακτογραμμή, έχοντας την αντίστοιχη διαβάθμιση ως προς την τρωτότητά τους στους παράκτιους κινδύνους.

Όσον αφορά στον βαθμό επικινδυνότητας της γεωμορφολογίας παρατηρήθηκε ότι το μεγαλύτερο τμήμα της ακτογραμμής, το οποίο αντιστοιχεί περίπου στο 84,3 % του συνολικού μήκους της ακτογραμμής, εμφανίζει πολύ χαμηλή επικινδυνότητα στην άνοδο της θαλάσσιας στάθμης, δεδομένου ότι καταλαμβάνεται από ασβεστολιθικούς κρημνούς. Για τη μεταβλητή της παράκτιας κλίσης παρατηρήθηκε ότι το μεγαλύτερο τμήμα αυτής εμφανίζει υψηλή (22,81 km) έως πολύ υψηλή επικινδυνότητα (10,16 km) το οποίο αντιστοιχεί σε ένα ποσοστό της τάξης του 60% περίπου και για τη μεταβλητή που αφορά στη μεταβολή της ακτογραμμής το μεγαλύτερο τμήμα της υπό μελέτη ακτογραμμής είναι μέτριας (47,8 %) έως πολύ υψηλής επικινδυνότητα (30,95 %) και καταλαμβάνουν μήκος περίπου 25,76 km και 16,67 km αντίστοιχα, ενώ το τμήμα της ακτογραμμής που εμφανίζει πολύ υψηλή επικινδυνότητα έχει μήκος 6,96 km το οποίο είναι περίπου το 12,92 % του συνολικού μήκους της ακτογραμμής. Για τη μεταβλητή της σχετικής μεταβολής της θαλάσσιας στάθμης η περιοχή μελέτης εμφανίζει πολύ χαμηλή επικινδυνότητα σε όλο το μήκος της και η μεταβλητή του μέσου σημαντικού ύψους κύματος εμφανίζει χαμηλή

επικινδυνότητα. Τέλος, όσον αφορά στη μεταβλητή του μέσου εύρος παλίρροιας η ακτογραμμή εμφανίζει πολύ χαμηλή επικινδυνότητα σε όλο το μήκος της. Βάσει ποσοτικού υπολογισμού του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας-CVI παρατηρήθηκε ότι το τμήμα που εμφανίζει υψηλή επικινδυνότητα ανέρχεται σε ποσοστό της τάξης του 14,5 % το οποίο αντιστοιχεί σε 7,8 km, ενώ μέτρια επικινδυνότητα εμφανίζει τμήμα μήκους 13,33 km που αποτελεί το 24,75% της συνολικής ακτογραμμής. Συνεπώς, το μήκος της ακτογραμμής που φαίνεται να απειλείται άμεσα από μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης έχει συνολικό μήκος 7,8 km.

Στη συνέχεια, μελετήθηκαν 3 διαφορετικά σενάρια ανόδου της θαλάσσιας στάθμης -κατά 0,5 m, 1 m και 2 m, όπου ως βασικό κριτήριο χρησιμοποιήθηκε η τοπογραφία της ευρύτερης περιοχής του κόλπου αλλά και οι χρήσεις γης που απαντώνται, προκειμένου να γίνει η εκτίμηση των επιπτώσεων από ενδεχόμενη μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης κατά μήκος της παράκτιας ζώνης του κόλπου του Μιραμπέλου. Σύμφωνα με το πρώτο σενάριο ανόδου, όπου μελετά τις συνολικές εκτάσεις χρήσεων γης που αναμένεται να κατακλυσθούν έπειτα από άνοδο της θαλάσσιας στάθμης κατά 0,5 m, το μεγαλύτερο τμήμα καταλαμβάνεται από σκληροφυλλική βλάστηση με έκταση που φτάνει τα 59 km² και από ελαιώνες με έκταση που φτάνει τα 27 km², ενώ σύμφωνα με το δεύτερο σενάριο ανόδου, όπου μελετά τις συνολικές εκτάσεις χρήσεων γης που αναμένεται να κατακλυσθούν έπειτα από άνοδο της θαλάσσιας στάθμης κατά 1 m, το μεγαλύτερο τμήμα αυτών αποτελείται και πάλι από σκληροφυλλική βλάστηση έκτασης 61 km² και ελαιώνες 34 km². Σύμφωνα με το τρίτο σενάριο ανόδου, όπου μελετά τις συνολικές εκτάσεις χρήσεων γης που αναμένεται να κατακλυσθούν έπειτα από άνοδο της θαλάσσιας στάθμης κατά 2 m, το μεγαλύτερο τμήμα καταλαμβάνεται από σκληροφυλλική βλάστηση με έκταση που φτάνει τα 81 km² και από ελαιώνες με έκταση που φτάνει τα 45 km².

Σύμφωνα με τα δεδομένα αυτά, η συνολική απώλεια χρήσεων γης έπειτα από άνοδο της θαλάσσιας στάθμης κατά 0,5 m ανέρχεται σε 93 km², έπειτα από άνοδο 1 m εκτιμάται απώλεια γης συνολικής έκτασης 102 km², ενώ έπειτα από άνοδο 2 m η έκταση που αναμένεται να κατακλυσθεί είναι συνολικής έκτασης 137 km² και αφορά κυρίως σε σκληροφυλλική βλάστηση

και ελαιώνες, ακολουθεί η διακεκομμένη αστική οικοδόμηση, οι μεταβατικές δασώδεις θαμνώδεις εκτάσεις, η γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης και οι φυσικοί βοσκότοποι.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

«Coastal Management Policy Programme and Department of Environmental Affairs and Tourism», *White Paper for Sustainable Coastal Development in South Africa*, 10-11, (2000)

«CoPraNet», *Coastal Practice Network (Newsletter No. 2)*, (2004)

A. Kiliyas, C. Fassoulas, D. Mountrakis, «Tertiary extension of continental crust and uplift of the Psiloritis metamorphic core complex, at the central part of the Hellenic arc», *Bulletin of the Geological Society of Greece*, (1993), 221-248

A. Mertzanis, F. Marabini, M. Angeli, A. Galvani, P. Gasparetto, F. Portoni, K. Mertzanis, «Coastal erosion phenomena and the coastal zone management: The cases of the marche region (N.E. Italy) and Western Peloponnisos (W. Greece)», *International Conference "Protection and Restoration of the Environment XI." Presented at the Protection and restoration of coastal zone and open sea waters, Thessaloniki, Greece*, (2012), 835–842

A. Tragaki, Ch. Gallousi, E. Karymbalis, «Coastal Hazard Vulnerability Assessment Based on Geomorphic, Oceanographic and Demographic Parameters: The Case of the Peloponnese (Southern Greece)», *Land*, 7 (2018), 56

Abuodha, P.A., Woodroffe, C.D. (2006) «Assessing vulnerability of coasts to climate change: A review of approaches and their application to the Australian coast», In Woodroffe, C.D., Bruce, E., Puotinen, M., Furness, R.A. (ed.) *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.

Alexandrakis, G., Ghionis, G., Poulos, S.E., Kampanis, N.A. (2013) «Coastal erosion and protection in Europe: a comprehensive overview Greece», pp. 355–377, In Pranzini, E., Williams, A. (ed.) *Coastal Erosion and Protection in Europe*, Earthscan Ltd: London.

Anthony, E.J. (2005) «Beach erosion», pp. 140-145, In Schwartz M.L. (ed.) *Encyclopedia of Coastal Science*, Springer: Dordrecht.

B.L. Otto – Bliesner, S.J. Marshall, J.T. Overpeck, G.H. Miller, A. Hu, «CAPE Last Interglacial Project Members: Simulating Arctic climate warmth and icefield retreat in the last interglaciation», *Science*, 311 (2006), 1751-3

Bindoff, N.L., Willebrand, J., Artale, V., Cazenave, A., Gregory, J., Gulev, S., Hanawa, K., Le Quéré, C., Levitus, S. Nojiri, Y., Shum, C.K., Talley, L.D., Unnikrishnan, A. (2007) «Observations: Oceanic climate change and sea level», pp. 385-432, In Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L., (ed.) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press: Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

C. Fassoulas, «Kinematic analysis of the Heraklion basin bounding faults», *Proceedings of ICDP workshop on deep drilling project in the forearc of the Hellenic Arc, Crete, Greece, Chania*», 28 (1998)

C. Fassoulas, A. Kiliadis, D. Mountrakis, «Post-nappe stacking extension and exhumation of the HP/LT rocks in the island of Crete, Greece», *Tectonics*, 13 (1994), 127-138

C. Renz, «Geologische voruntersuchungen auf Kreta», *Praktik Athener Academic*, 5 (1930), 271-280

C. Shi, S.M. Hutchinson, L. Yu, S. Xu, «Towards a sustainable coast: an integrated coastal zone management framework for Shanghai People's Republic of China», *Ocean & Coastal Management*, 44, (2001), 411 – 427

Christopherson, R.W., Thomsen, C. (2015), *The Oceans, Coastal Processes and Landforms*, An Introduction to Physical Geography, Chapter 16.

Church, J.A., Gregory, J.M., Huybrechts, P., Kuhn, M., Lambeck, K., Nhuan, M.T., Qin, D., Woodworth, P.L. (2001) «Changes in sea level», pp. 639-693, In Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.J. et al. (ed.) *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, University Press: Cambridge.

Clark John, R. (1995), *Coastal zone management handbook*, Boca Raton: CRC Press.

Coastal Area Management and Planning Network «The status of Integrated Coastal Zone Management: A Global Assessment», *Summary report of a workshop convened at Charleston, South Carolina, Rosensteil School of Marine Sciences, University of Miami, Miami, FL, USA July, 4-9, (1989)*

D. Siva, S. Wdowinski, K. Lambeck, E. Galili, A. Raban, «Holocene sea-level changes along the Mediterranean coast of Israel, based on archaeological observations and numerical model», *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, (2001), 167

D.Q. Bowen, «Sea level 400 000 years ago (MIS 11): analogue for present and future sea-level», *Climate of the Past Discussions 5 (2009)*, 1853–1882

E. Bard, B. Hamelin, M. Arnold, L.F. Montaggioni, G. Cabioch, G. Faure, F. Rougerie, «Deglacial sea-level record from Tahiti corals and the timing of global meltwater discharge», *Nature*, 382 (1996), 241-244

E. Georgiadou-Dikaoulia, «Paleoenvironmental observations based on the macrofauna of the Pliocene section Prassa, Crete», *Proceedings VIIth International Congress Mediterranean Neogene, Athens*, (1979)

E. Karymbalis, C. Chalkias, G. Chalkias, E. Grigoropoulou, G. Manthos, M. Ferentinou, «Assessment of the sensitivity of the Southern Coast of the Gulf of Corinth (Peloponnese, Greece) to sea-level rise», *Central European Journal of Geoscience*, 4 (2012), 561-577

E. Karymbalis, C. Chalkias, M. Ferentinou, G. Chalkias, M. Magklara, «Assessment of the Sensitivity of Salamina (Saronic Gulf) and Elafonissos (Lakonic Gulf) islands to Sea-level Rise», *Journal of Coastal Research, Special Issue*, 70 (2014)

E.A. Pendleton, E.R. Thieler, S.J. Williams, «Coastal vulnerability assessment of Cape Hattaras National Seashore (CAHA) to sea-level rise», *USGS Open File Report*, (2004), 1064

E.J. Rohling, K. Braun, K. Grant, M. Kucera, A.P. Roberts, M. Siddall, G. Trommer, «Comparison between Holocene and marine isotope stage-11 sea-level histories», *Earth and Planetary Science Letters*, 29 (2010), 97-105

E.R. Thieler, E.A. Himmelstoss, J.L. Zichichi, T.L. Miller, «Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 3.0: An ArcGIS extension for calculating shoreline change», *Part of USGS Open-File Report No. 2005-1304, U.S. Geological Survey*, (2005)

E.R. Thieler, E.S. Hammar-Klose, «National Assessment of Coastal Vulnerability to Future Sea-Level Rise: Preliminary Results for the U.S. Atlantic Coast, U.S.», *Geological Survey, Open-File Report*, (1999), 99-593

European Commission (2004), *Living With Coastal Erosion in Europe. Sediment and Space for Sustainability – Results from the EuroSION Project*, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.

EuroSION (2004b), *Living with coastal erosion in Europe. Sediment and Space for Sustainability PART I -Major findings and Policy Recommendations of the EUROSION Project*, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.

EuroSION (2004c), *Living with coastal erosion in Europe: Sediment and Space for Sustainability PART II –Maps and statistics 13*, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.

G. Alexandrakis, S. Poulos, S. Petrakis, M. Collins, «The development of a Beach Vulnerability Index (BVI) for the assessment of erosion in the case of the North Cretan Coast (Aegean Sea)», *Hellenic Journal of Geosciences*, 45 (2010), 11–22

G. Bizon, F. Thiebault, «Donnes nouvelles sur l' age des marbles et quartzites du Taygete (peloponnese meridional, Greece)», *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 278 (1974), 9-12

G.S. Dwarakish, S.A. Vinay, U. Natesan, A. Toshiyuki, T. Kakinuma, K. Venkataramana, B. Jagadeesha Pai and M.K. Babita, «Coastal vulnerability assessment of the future sea level rise in Udupi coastal zone of Karnataka state, west coast of India», *Ocean & Coastal Management*, 52 (2009), 467-478

Garriga, M. (2009), *The Integrated Approach to Coastal Zone Management (ICZM)*.

H. Drinia, M. Triantaphyllou, M. Dermitzakis, «Sedimentary facies analysis and biostratigraphical implications of the continental-marine sediments of Central-West Crete (Selli section, Rethymnon)», *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie*, 220 (2001), 295-312

H. Pettit, «SINKING FEELING Extreme sea level rise of 11 FEET a century could drown major cities by 2100», *The Sun press*, (2019)

Heyden, (2004), *Reports on the Vrokastro Area, Eastern Crete 2: The Settlement History of the Vrokastro Area and Related Studies*, University Museum Monograph 119: Philadelphia.

I. Parcharidis, P. Kourkouli, E. Karymbalis, M. Foumelis, V. Karathanassi, «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*, (2011)

I.N. Monioudi, A. Karditsa, A. Chatzipavlis, G. Alexandrakis, O.P. Andreadis et al., «Assessment of vulnerability of the eastern Cretan beaches (Greece) to sea level rise», *Regional Environmental Change*, (2014)

IPCC, «Climate Change 2014: Synthesis Report», *Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, Geneva, Switzerland*, 151, (2014)

J. Meulenkaamp, «The Neogene in the South Aegean area», In A. Strid ed., *Evolution in the Aegean, Opera Botanica*, 30, (1971), 5-12

K. Fabbri, «A methodology for supporting decision making in integrated coastal zone management», *Ocean & Coastal Management*, 39 (1998), 51 – 62

K. Gaki-Papanastassiou, K.E. Karymbalis, E.S. Poulos, A. Seni, C. Zouva, «Coastal vulnerability assessment to sea-level rise based on geomorphological and oceanographical parameters: the case of Argolikos Gulf, Peloponnese, Greece», *Hellenic Journal of Geosciences*, 45 (2011), 109 -122

K. Lambeck, «Late-Pleistocene and Holocene sea-level change in Greece and south-western Turkey: a separation of eustatic, isostatic and tectonic contributions», *Geophysical Journal International*, 122 (1995), 1022-1044

K. Lambeck, «Sea level change and shoreline evolution in Aegean, Greece since Upper Paleolithic time», *Antiquity*, 70 (1996), 588-611

K. Lambeck, A. Purcell, «Sea-level change in the Mediterranean Sea since the LGM: model predictions for tectonically stable areas», *Quaternary Science Reviews*, 24 (2005), 1969-1988

K. Lambeck, E. Bard, «Sea-level change along the French Mediterranean coast for the past 30,000 years», *Earth and Planetary Science Letters*, 175 (2000), 203-222

K. Pavlopoulos, K. Theodorakopoulou, Y. Bassiakos, B. Hayden, T. Tsourou, M. Triantaphyllou, K. Kouli, D. Vandarakis, «Paleoenvironmental evolution of Istron (N.E Crete), during the last 6.000 years: depositional environment, climate and sea level changes», *Geodinamica Acta*, 20/4 (2007), 219-229

Leatherman, S.P. (2001) (ed.) *Social and economic cost of sea level rise. Sea Level Rise, History and Consequences*, Academic Press: San Diego.

M. Bonneau, «Les differentes series ophiolithiques de la Crete: une mise au point», *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 276 (1973), 1249-1252

M. Dermitzakis, «Geological researches of the Neogene deposits of the Hierapetra province», *Annales Géologiques des Pays Helléniques*, 21 (2001), 342-484

M. Dermitzakis, D. Papanikolaou, «Paleogeography and geodynamics of the Aegean region during the Neogene», *Annales Géologiques des Pays Helléniques*, 3 (1981), 246-290

M. Dermitzakis, E. Georgiadou-Dikaoulia, «Stratigraphy and fauna of the Upper Miocene deposits of Almiri Panagia (Iraklion province, Crete)», *Proceedings VIIth International Congress Mediterranean Neogene, Athens*, (1979)

M. Marchand, «Concepts and Science for Coastal Erosion Management. Concise report for policy makers», *International Conference on Coastal Conservation & Management in the Atlantic & Mediterranean, Cascais, Portugal*, (2010)

M. Marcos, M.N. Tsimplis, «Coastal sea level trends in southern Europe», *Geophysical Journal International*, 175 (2008), 70–82

M. Rabineau, S. Berné, J.L. Olivet, D. Aslanian, P. Joseph, «Paleo sea levels reconsidered from direct observation of paleoshoreline position during Glacial Maxima (for the last 500,000 yr)», *Earth and Planetary Science Letters*, 252 (2006), 119–137

M. Siddall, E.J. Rohling, A. Almogi-Labin, Ch. Hemleben, D. Meischner, I. Schmelzer, D.A. Smeed, «Sea-level fluctuations during the last glacial cycle», *Nature*, 423 (2003), 853-858

M. Tsimplis, «Tidal Oscillations in the Aegean and Ionian Seas», *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 39 (1994), 201-208

M.N. Tsimplis, T.F. Baker, «Sea-level drop in the Mediterranean Sea: an indicator of deep water salinity and temperature changes», *Geophysical Research Letters*, 27 (2000), 12

N. Creutzburg «Kreta leben und landschaft», *Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin*, 8 (1962), 16-38

N-A Mörner, «Sea level changes and crustal movements with special aspects on the eastern Mediterranean», *Zeitschrift für Geomorphologie, Supplement: Annual Reports*, 137 (2005), 91- 102

Oppenheimer, M., Glavovic, B.C., Hinkel, J., Van de Wal, R., Magnan, A.K., Abd-Elgawad, A., Cai, R., Cifuentes-Jara, M., Deconto, R.M., Ghosh, T., Hay, J., Isla, F., Marzeion, B., Meyssignac, B., Sebesvari, Z. (2019) «Sea Level Rise and Implications for Low-Lying Islands, Coasts and Communities», In Pörtner, H.O., Roberts, D.C., Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Tignor, M., Poloczanska, E., Mintenbeck, K. Alegría, A., Nicolai, M., Okem, A., Petzold, J., Rama, B., Weyer N.M. (ed.) *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*, (In press).

Ozhan, E. (2002) «Coastal erosion management in the Mediterranean: an overview», In *Priority Action Programme*, Regional Activity Centre: Ankara.

P. Bruun, «The Bruun rule of erosion by sea level rise, A discussion of large scale two and three-dimensional usages», *Journal of Coastal Research*, 4 (1988), 627-648

P. Fraile Jurado, «The CVI. Potentials applications beyond Andalucía and related data needs», *Presentation at the EEA Expert Meeting “Methods and tools for assessing coastal vulnerability to climate change at the European scale, Copenhagen, Denmark*, (2011), 8-9

P. Hannam, «Sydney weather: Flooding, more beach erosion possible for NSW as another winter storm looms, Sydney Morning Herald, 7th November 2019» *The Sun press*, (2016)

P.S. Mujabar, N. Chandrasekar, «Coastal erosion hazard and vulnerability assessment for southern coastal Tamil Nadu of India by using remote sensing and GIS», *Natural Hazards*, 69 (2013), 1295-1314

Perov, G. (2009), *Pleistocene shelf-margin delta: Intradeltaic deformation and sediment bypass, northern Gulf of Mexico*, Master Thesis, Faculty of the Department of Earth and Atmospheric Sciences: University of Houston.

Q. He, B.R., Silliman, «Climate change, human impacts and coastal ecosystems in the Anthropocene», *Current Biology*, 29 (2019)

R.E. Kopp, F.J. Simons, J.X. Mitrovica, A.C. Maloof, M. Oppenheimer, «Probabilistic assessment of sea level during the last interglacial stage», *Nature Geoscience*, 2 (2009), 863-868

R.G. Dean, «Additional Sediment Input into the Nearshore Region», *Shore and Beach*, 55 (1987), 76-81

S. Anastasiou, G. Sylaios, «Assessment of Shoreline Changes and Evaluation of Coastal Protection Methods to Mitigate Erosion», *Coastal Engineering Journal*, 58 (2016)

S. Poulos, G. Chronis, «Coastline changes in relation to longshore sediment transport and human impact, along the shoreline of Kato Achaia (NW Peloponnese, Greece)», *Mediterranean Marine Science*, 2 (2001), 5–13

S. Poulos, V. Kapsimalis, C. Tziavos, T. Paramana, «Origin and distribution of surface sediments and human impacts on recent sedimentary processes. The case of the Amvrakikos Gulf (NE Ionian Sea)», *Continental Shelf Research*, 28 (2008), 2736–2745

S.B. Pavlides, S. Valkaniotis, A. Chatzipetros, «Seismically capable faults in Greece and their use in seismic hazard assessment», *Proceedings of 4th International Conference on Geotechnical Earthquake Engineering, Thessaloniki*, (2007), 1609

Seidel, E. (1968), *Die Tripolitza und Pindos serie in raum von aleochora (S.W Kreta)*, Dissertation, Germany: University of Wurzburg.

Soukissian, T., Hatzinaki, M., Korres, G., Papadopoulos, A., Kallos G., Anadranistakis, E. (2007), *Wind and wave atlas of the Hellenic Seas*, Athens, Greece: Hellenic Centre for Marine Research Publication.

Spratt, T.A. (1865), *Travels and researches in Crete'*, London: J.Voorst.

UNEP (2009), *Sustainable Coastal Tourism: An integrated planning and management approach*, MAP/PAP: Split, Croatia.

V. Kapsimalis, S.E. Poulos, A.P. Karageorgis, P. Pavlakis, M. Collins, «Recent evolution of a Mediterranean deltaic coastal zone: human impacts on the Inner Thermaikos Gulf, NW Aegean Sea», *Journal of the Geological Society*, 162 (2005), 897–908

V.M. Gornitz, T.W. White, R.M. Cushman, «Vulnerability of the U.S. to future sea-level rise», *Proceedings of Seventh Symposium on Coastal and Ocean Management. Long Beach, CA (USA)*, (1991), 2354-2368

Velegrakis, A.F., Vousdoukas, M.I., Meligonitis, R. (2005) «Beach erosion: Phenomenology and causes of the degradation of the greatest natural resource of the Greek Archipelago», pp. 243-262, In Tsaltas, *The Greek Archipelago in the 21st Century, Vol. I*, Sideris Publications.

W.R. Peltier, R.G. Fairbanks, «Global glacial ice volume and Last Glacial Maximum duration from an extended Barbados sea level record», *Quaternary Science Reviews*, 25 (2006), 3322-3337

W.T. Pfeffer, J.T. Harper, S., O'Neel, «Kinematic constraints on glacier contributions to 21st-century sea-level rise», *Science*, 321 (2008), 1340–3

X.I. Loizidou, N.G. Iacovou, «Human activities, coastal erosion and shoreline management in an island country. Case Study: Cyprus», *Proceedings of MEDCOAST '99 – EMECS '99, Antalya, Turkey*, (1999)

Y. Gorokhovich, A. Leiserowitz, D. Dugan, «Integrating Coastal Vulnerability and Community-Based Subsistence Resource Mapping in Northwest Alaska», *Journal of Coastal Research*, 30 (2014), 158–169

Zager D. (1972), *Sedimentologie der Tripolitza-Karbonate im nördlichen Mittelkreta (Griechenland)*, University of Freiburg, Germany: PhD thesis.

N. Creutzburg, E. Seidel, «On the Present Knowledge of the Pre-Neogene Geology in Crete (Greece)», *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie*, 149 (1975), 363-383

Ελληνική βιβλιογραφία

A. Παπαπέτρου- Ζαμάνη, «Συμβολή στη γνώση του Νεογενούς της περιοχής Ηρακλείου, Κρήτη», *Annales Géologiques des Pays Helléniques*, 16 (1966), 207-232

Βελεγράκης, Α.Φ. (2008), *Σημειώσεις παράκτιας γεωλογίας, Τμήμα Επιστημών της Θάλασσας*, Μυτιλήνη: Σχολή Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου.

Βιδάκης και Fortuin, (1993), *Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας 1:50000, φύλλο Ιεράπετρα*, Αθήνα: ΙΓΜΕ.

Βίττης, Ν. (2004), *Ολοκληρωμένη Διαχείριση Παράκτιων Ζωνών και Ελληνική Νομοθεσία*, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο: Διπλωματική Εργασία.

Γ. Αλεξανδράκης, Α. Καρδισά, Σ. Πούλος, Γ. Γκιώνης, Ν. Καμπάνης, «Εκτίμηση της τρωτότητας των ακτών του Αιγαίου στην αύξηση της θαλάσσιας στάθμης», *9^ο Πανελλήνιο Συμπόσιο Ωκεανογραφίας & Αλιείας*, (2009), 327–332

Δασκαλάκης, Μ. (2009), *Λιμάνια, θαλάσσια κύματα, λιμενικά έργα*, Αθήνα.

Δερμιτζάκης, Μ. (1969), *Γεωλογικαί έρευναι επί του Νεογενούς της επαρχίας Ιεράπετρας νήσου Κρήτης*, Πανεπιστήμιο Αθηνών: Διδακτορική Διατριβή.

Δουκάκης, Ε. (2007), *Μέθοδοι προσδιορισμού του ρυθμού μεταβολής των ακτογραμμών*, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Ε. Δουκάκης, «Κλιματικές, γεωδυναμικές, γεωλογικές και φυσικές μεταβλητές προσδιορισμού της παράκτιας επικινδυνότητας», *3^ο Πανελλήνιο Συνέδριο με θέμα «Διαχείριση και Βελτίωση Παράκτιων Ζωνών»*, Αθήνα, (2005)

Ζ. Καροτσιέρης, Σ. Λόζιος, Μ. Δερμιτζάκης, «Η νεοτεκτονική δομή της ευρύτερης περιοχής Ιεράπετρας-Αγίου Νικολάου (Λασιθίου Κρήτης)», *Annales Géologique des Pays Helléniques*, 38/C (2000), 77-115

Καρύμπαλης, Ε. (2004), *Σημειώσεις Παράκτιας Γεωμορφολογίας*, Αθήνα: Τμήμα Γεωγραφίας - Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο.

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

Καρύμπαλης, Θ.Ε., Γάκη-Παπαναστασίου, Κ., Μαρουσιάν, Χ., Βαλκάνου, Κ. (2008), *Αίτια μεταβολής στάθμης θάλασσας – Μεθοδολογίες εκτίμησης της επικινδυνότητας των ελληνικών ακτών στη μελλοντική της άνοδο*, Εκδόσεις Σταμούλη.

Κενανίδου, Χ. (2017), *Μελέτη της Επίδρασης της Κλιματικής Αλλαγής στην Αποτελεσματικότητα των Έργων Προστασίας Ακτών. Περίπτωση Ύφαλων κυματοθραυστών της Παραλίας Κατερίνης*, Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Διπλωματική Εργασία.

Κισκύρας (1962), *Η διαμόρφωση της Κρήτης κατά τους τελευταίους γεωλογικούς χρόνους*, Κρητική Πρωτοχρονιά.

Κοκκώσης, Χ. (2006), *Ολοκληρωμένη Διαχείριση Παράκτιων Ζωνών*.

Κοτίνη, Ζαμπάκα Σ. (1983), *Συμβολή στη μελέτη του κλίματος της Ελλάδας*, Ακαδημία Αθηνών, Κέντρον Έρευνας Φυσικής της Ατμόσφαιρας και Κλίματος.

Κουτσουβέλα, Δ. (2010), *Ήπιες μέθοδοι προστασίας ακτών από διάβρωση: βυθισμένοι κυματοθραύστες, Ανάπτυξη αριθμητικών μοντέλων κυματικού κλίματος και παράκτιας στερεομεταφοράς*, Μυτιλήνη, Διδακτορική Διατριβή.

Μοιραλιώτης, Σ. (2012), *Τοπογραφικά και γεωμορφολογικά στοιχεία της Ροδιάς*, Παράρτημα Χανίων, Τ.Ε.Ι Κρήτης: Πτυχιακή εργασία, Τμήμα Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Τομέας Υδατικών Πόρων και Γεωπεριβάλλοντος.

Μουντράκης, Δ.Μ. (2010), *Γεωλογία και γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας*.

Ν. Φυτρολακης, «Συμβολή της στη γεωλογική έρευνα της Κρήτης», *Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας*, 8/2 (1978), 101-115

Ξύξη, Μ. (2004), *Μελέτη της Παράκτιας Εμβαλότητας από τις Κλιματικές Αλλαγές*, Αθήνα: Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Διπλωματική Εργασία.

Παναγιωτίδης, Π., Χατζημπίρος, Κ. (2004), *Παράκτια οικοσυστήματα & ανθρωπογενείς πιέσεις στις ακτές - παραδείγματα από την Ελλάδα*, Αθήνα: Ελληνικό Κέντρο Θαλασσίων Ερευνών και Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Διατμηματικό Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών: Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων.

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

Σ. Πούλος, Α. Καρδitsά, «Ανθρωπογενείς και Φυσικές Αιτίες της Διάβρωσης των Ακτών – Διαχειριστικό Θεσμικό Πλαίσιο», *Ημερίδα «Διάβρωση Ακτών: Αίτια –Αντιμετώπιση –Θεσμικό Πλαίσιο»*, Εργαστήριο Φυσικής Γεωγραφίας, Ε.Κ.Π.Α., (2017)

Σαρταμπάκου, Α. (2013), *Δείκτης Παράκτιας Επικινδυνότητας - Διερεύνηση της αξιολόγησης των παραμέτρων κινδύνου του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας*, Μεταπτυχιακή Ερευνητική Διατριβή.

Σιαφάκας, Β. (2003), *Επιπτώσεις των κλιματικών αλλαγών στις παράκτιες ζώνες. Παράκτια επικινδυνότητα σε περιοχές της Κω*, Αθήνα: Διπλωματική Εργασία, Ε.Μ.Π., ΣΑΤΜ–Τομέας Τοπογραφίας.

ΥΠΕΧΩΔΕ (1997), *Υπουργική Απόφαση οικ. 82819/1997 - ΦΕΚ Β-704/19-8-1997*.

ΥΠΕΧΩΔΕ (2006), *Υ.Α. ΥΠΕΧΩΔΕ/ΕΥΠΕ/οικ. 107017/2006 - ΦΕΚ 1225/Β` 5.9.2006*.

Φυτρολάκης, Ν. (1980), *Η γεωλογική δομή της Κρήτης –προβλήματα, παρατηρήσεις και συμπεράσματα (μεθ' ενός τεκτονικού χάρτου εκτός κειμένου)*, Αθήνα: Διατριβή Υψηγείας, Εκδόσεις Έδρας Ορυκτολογίας-Πετρογραφίας-Γεωλογίας, Ε.Μ.Π.

Χριστοδούλου, (1963), *Γεωλογικά και μικροπαλαιοντολογικά έρευναι επί του νεογενούς της νήσου Κρήτης*.

Ψαριανός «Η επίδραση των ηπειρογενετικών κινήσεων επί της μορφολογίας της νήσου Κρήτης», *Archiv für Geschichte der Philosophie XII*, (1961), 129-138

Διαδικτυακοί τόποι

http://www.poseidon.hcmr.gr/sealevel_forecast

http://english.scio.gov.cn/m/in-depth/2019-01/24/content_74404601_3.htm

<http://www.apdkritis.gov.gr/>

http://www.coastalwiki.org/wiki/Floating_breakwaters

<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/coastal-erosion-patterns-in-europe-1; Euroasion, 2004b>

<https://biogeographybiol313.weebly.com/uploads/2/2/1/5/22154302/05-trichas.pdf>

https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Crete_topo.png&oldid=596100838

<https://geodata.gov.gr/dataset/corine-2000>

<https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>

<https://www.abc.net.au/news/2020-01-08/bluestone-seawall-at-brighton-beach-in-melbourne-2009-1/11799148?nw=0>

<https://www.agrinioculture.gr/>, <http://greenagenda.gr/>

<https://www.cbi.tamucc.edu/CHRGIS/Indianola-Beach/>

<https://www.copernicus.eu>

<https://www.grida.no/resources/5892>

<https://www.tovima.gr/2021/10/06/society/kriti-poia-einai-ta-pio-epikindyna-rigmata-apokalyptikoi-xartes/>