



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΜΗΜΑ ΩΚΕΑΝΟΓΡΑΦΙΑΣ & ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΒΙΟΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΘΕΜΑ:

«Γεω-χωρικά χαρακτηριστικά και προβλέψεις οπισθοχώρησης
λόγω κλιματικής αλλαγής των κυριότερων παραλιών της Σάμου»



Τσάκων Αγγελική

Επιβλέπων: Χασιώτης Θωμάς, Αναπλ. Καθηγητής

Μυτιλήνη, 2022

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΜΗΜΑ ΩΚΕΑΝΟΓΡΑΦΙΑΣ & ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΒΙΟΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΘΕΜΑ:

«Γεω-χωρικά χαρακτηριστικά και προβλέψεις οπισθοχώρησης
λόγω κλιματικής αλλαγής των κυριότερων παραλιών της Σάμου»

Τσάκων Αγγελική

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Θωμάς Χασιώτης, Αναπλ. Καθηγητής (επιβλέπων)

Αντώνης Βελεγράκης, Καθηγητής

Δρ. Πολίνα Τουρλιώτη, ΕΔΙΠ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ – ABSTRACT

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Κλιματική Αλλαγή-Επιπτώσεις

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΝΟΔΟΣ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΣΤΑΘΜΗΣ

2.1 Ιστορική αναδρομή

2.2 Τοπική και ευστατική θαλάσσια στάθμη

2.3 Μεταβολές θαλάσσιας στάθμης

2.3.1 Αλλαγές στάθμης θάλασσας-Χρονικές κλίμακες

2.3.2 Βραχυχρόνιες και περιοδικές μεταβολές στάθμης θάλασσας

2.4 Προβλέψεις για την αύξηση της στάθμης θάλασσας και συνέπειες αυτής

2.5 Ακραία στάθμη θάλασσας και επεισόδια πλημμύρας

2.5.1 Προβλέψεις ακραίας στάθμης θάλασσας

2.6 Επιπτώσεις μεταβολής στάθμης θάλασσας στον Ελλαδικό χώρο

2.6.1 Μεταβολή στάθμης θάλασσας στο Αιγαίο

2.7 Παράκτιες περιοχές

2.7.1 Εισαγωγή

2.7.2 Παράκτια Ζώνη-Γεωμορφολογία-Ορισμοί

2.7.3 Σημασία της παράκτιας ζώνης

2.7.4 Περιβαλλοντικές πιέσεις των παράκτιων περιοχών

2.8 Διάβρωση παράκτιων περιοχών

2.8.1 Ορισμός-Αίτια-Μηχανισμοί διάβρωσης

2.8.2 Παράκτια Ιζήματα

2.8.3 Εποχιακή και Μόνιμη διάβρωση παράκτιας ζώνης

2.8.4 Διάβρωση στις Ευρωπαϊκές και Ελληνικές ακτές

2.8.5 Παράκτια διάβρωση στη Σάμο

2.8.6 Έργα προστασίας ακτογραμμής

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

3.1 Κύρια χαρακτηριστικά νήσου Σάμου

3.1.1 Γεωγραφική θέση

3.1.2 Δημογραφικά στοιχεία

3.1.3 Γεωλογία της Σάμου

3.1.4 Κλιματικές συνθήκες

3.1.5 Γεωμορφολογία

3.1.6 Υδρογραφικό Δίκτυο

3.1.7 Παράκτιες μορφές θαλάσσιας απόθεσης στη Σάμο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

4.1 Καταγραφή γεω-χαρακτηριστικών

4.2 Εκτίμηση κυματικού καθεστώτος

4.3 Εκτίμηση Ακραίας θαλάσσιας στάθμης

4.5 Μεθοδολογία εκτίμησης οπισθοχώρησης ακτογραμμής

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1 Γεω-χωρικά χαρακτηριστικά παραλιών Σάμου

5.2 Συσχέτιση χωρικών χαρακτηριστικών

5.3 Εκτίμηση Ανεμολογικού καθεστώτος

5.4 Παράκτια Οπισθοχώρηση

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι κλιματικές αλλαγές που παρατηρούνται, αναγνωρίζονται σαν την πιο σοβαρή απειλή για το παγκόσμιο περιβάλλον. Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας, η επιταχυνόμενη διάβρωση των παράκτιων περιοχών, οι έντονες κυματικές καταιγίδες, η εξαφάνιση των παράκτιων οικοσυστημάτων και η έντονη αστικοποίηση συνθέτουν ένα μίγμα που απαιτεί μελέτη, μέτρα και συνείδηση, προτού η κατάσταση του περιβάλλοντος γίνει μη αναστρέψιμη. Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας θεωρείται μια από τις πιο σοβαρές απειλές για τα παράκτια οικοσυστήματα και τους οικισμούς. Ο παράκτιος χώρος έχει ιδιαίτερη σημασία και υφίσταται έντονες πιέσεις. Η πρόβλεψη της φυσικής αντίδρασης της ακτογραμμής σε ενδεχόμενες μεταβολές της στάθμης θάλασσας είναι ιδιαίτερα χρήσιμη προκειμένου να αποφευχθούν απώλειες φυσικών ενδιαιτημάτων και ανθρωπίνων περιουσιών. Στην εργασία αυτή επιχειρείται η πρόβλεψη της φυσικής απόκρισης των ακτογραμμών στις δέκα πιο τουριστικά αναπτυγμένες παραλίες της νήσου Σάμου, με τη βοήθεια αναλυτικών και αριθμητικών μοντέλων.

ABSTRACT

Climatic change that has been observed is acknowledged as the severest threat to the global environment. The rise in sea level, the accelerating erosion of coastal areas, intense storms, the disappearance of coastal ecosystems and intense urbanization compose a combination that demands study, measures and awareness before the state of the environment becomes irreversible. The rise in sea levels is considered to be one of the severest threats for coastal ecosystems and settlements. Coastal areas are of utmost importance and undergo intense pressure. The prediction of the physical reaction of the coastline to possible variation in sea level is especially useful in order to avoid loss of natural dwellings and personal property. In this study the prediction of a natural response to the coastline of the ten most touristically developed beaches on the island of Samos is attempted with the aid of analytical and numerical models.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Κλιματική αλλαγή

Το κλίμα της γής πάντα άλλαζε και πάντα θα αλλάζει. Παλαιότερα, οι αλλαγές αυτές οφείλονταν μόνο σε φυσικά αίτια, ενώ τα τελευταία χρόνια αλλά και τα μελλοντικά, η κλιματική αλλαγή οφείλεται κυρίως στην ανθρώπινη παρέμβαση. Διότι, ο άνθρωπος με τις δραστηριότητές του μπορεί να μεταβάλει τη σύσταση της ατμόσφαιρας μεταβάλλοντας επομένως και το κλίμα (Βαρώτσος, 2001). Οι παράγοντες που οδηγούν στην αλλαγή του κλίματος κατατάσσονται σε δυο κατηγορίες:

- Αλλαγές που οφείλονται στο σύστημα ατμόσφαιρα-υδρόσφαιρα-γεώσφαιρα ή αλλαγές που οφείλονται σε πλανητικά δεδομένα π.χ. αλλαγή στην απόσταση ήλιου και γής και στην τροχιά της γης γενικότερα. Χαρακτηριστικό αυτών των αλλαγών είναι η μακροχρόνια μεταβλητότητά τους.
- Αλλαγές που οφείλονται στην ανθρώπινη παρέμβαση ενισχύοντας το φαινόμενο του θερμοκηπίου και της καταστροφής της στιβάδας του όζοντος. Οι αλλαγές αυτές έχουν το χαρακτηριστικό ότι συμβαίνουν ραγδαία. Είναι ενδεικτικό ότι μέσα σε 30 χρόνια, καταστράφηκε όσο όζον παρήγε η φύση μέσα σε 2 δισεκατομμύρια χρόνια, ενώ ταυτόχρονα αυξήθηκαν οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά 30% (Fifor, 1992)

Η κλιματική αλλαγή αποτελεί αναμφισβήτητα παγκόσμιο φαινόμενο το οποίο έκανε έντονη την εμφάνισή του τις τελευταίες δεκαετίες και αποτελεί σοβαρή απειλή για το περιβάλλον, φυσικό και ανθρωπογενές. Η άνοδος της θερμοκρασίας, η μείωση των βροχοπτώσεων, η έξαρση ακραίων καιρικών φαινομένων, η άνοδος της στάθμης της θάλασσας, η ξηρασία, καθώς και το λιώσιμο των πάγων αποτελούν μερικές από τις επιπτώσεις αυτής και οι οποίες θέτουν σε κίνδυνο την ανθρώπινη ζωή και τη βιωσιμότητα των οικοσυστημάτων.

Καθώς η άνοδος της στάθμης της θάλασσας θεωρείται δεδομένη και συνεχώς αυξανόμενη, αποτελεί μια από τις πιο σοβαρές απειλές για τα παράκτια οικοσυστήματα και τους οικισμούς. Ο παράκτιος χώρος έχει ιδιαίτερη σημασία και υφίσταται έντονες πιέσεις. Η τελευταία αναφορά της διεπιστημονικής επιτροπής για την κλιματική αλλαγή (IPCC), σκιαγραφεί μια πολύ σοβαρή εικόνα των προκλήσεων

που αντιμετωπίζουμε εξαιτίας της αύξησης στάθμης θάλασσας. Η SROCC (Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate) εκτιμά ότι η μέση στάθμη θάλασσας είναι πολύ πιθανό να ανυψωθεί μεταξύ 0.29 και 1.1μ μέχρι το τέλος του αιώνα, καθιστώντας αυτό το σενάριο, το πιο φρικτό που εξήχθη ποτέ από το IPCC. Οι αρνητές και σκεπτικιστές της αλλαγής του κλίματος, συχνά έχουν κατηγορήσει τους επιστήμονες για υπερβολή σχετικά με την απειλή της κλιματικής αλλαγής, αλλά τα στοιχεία δείχνουν ότι όχι μόνο δεν έχουν υπερβάλλει παρά ότι έχουν υποτιμήσει την κατάσταση.

Η στάθμη θάλασσας θα ανυψώνεται κάτω από όλα τα σενάρια εκπομπών επί αιώνες, για να έρθει και να επιταχυνθεί στο δεύτερο μισό αυτού του αιώνα. Τα επίπεδα στάθμης θάλασσας έχουν ήδη ανέβει περίπου 0.3μ τις προηγούμενες δεκαετίες πόλεις κατά μήκος των ανατολικών ακτών και των ακτών του κόλπου της Αμερικής αντιμετωπίζουν ήδη παλιρροιακές πλημμύρες (chronic tidal flooding).

Η αύξηση της θαλάσσιας στάθμης δεν είναι ανησυχητικό μόνο για όσους βρίσκονται κάτω από τη νέα γραμμή πλημμυρίδας. Η ανύψωση της θάλασσας συνεπάγεται υψηλότερο ενδεχόμενο για πλημμυρικά επεισόδια όλων των ειδών. Παλιρροιακές πλημμύρες, κύματα θύελλας, και άλλες μορφές ακραίων γεγονότων της στάθμης θάλασσας (extreme sea level events) σε χαμηλού υψομέτρου παραλιακές περιοχές είναι περισσότερο πιθανό να συμβούν. Η διάβρωση των παραλιών και της παράκτιας γης, η υφαλμύρυνση εδαφών και υδροφορέων και η ανικανότητα πλέον των φυσικών παράκτιων οικοσυστημάτων να συμβαδίσουν με τις βίαιους ρυθμούς αύξησης της στάθμης θάλασσας είναι τα κυριότερα προβλήματα που αυτή προκαλεί.

Η σημασία των παράκτιων περιοχών αναγνωρίζεται κυρίως λόγω της σημαντικής βιοποικιλότητας που αναπτύσσεται σε αυτές, αλλά και λόγω της ακτότητας (coastality) που αυτές παρουσιάζουν. (Κιουσόπουλος, 2008). Σύμφωνα με εκτιμήσεις, το 20,6% του παγκόσμιου πληθυσμού κατοικεί στη ζώνη πλάτους 30 χλμ από τη θάλασσα και το 37% του πληθυσμού στη ζώνη πλάτους 100 χλμ από τη θάλασσα (EUROSION, 2004). Σύμφωνα με το IPCC περίπου το 10% του παγκόσμιου πληθυσμού και των υποδομών βρίσκονται λιγότερα από 10 μ πάνω από το επίπεδο της θάλασσας (Εικ.1).



Εικόνα 1. Μερική άποψη της παραλίας του Μαϊάμι, Φλόριντα, ΗΠΑ με εμφανή την παράκτια ανάπτυξη και εκτεταμένη δόμηση στο παράκτιο μέτωπο.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα όλων των παραπάνω αποτελεί η παράκτια ζώνη της Ελλάδας, καθώς η περιοχή αυτή συγκεντρώνει το μεγαλύτερο ποσοστό πληθυσμού σε σχέση με την ηπειρωτική χώρα. Πέραν της υψηλής συγκέντρωσης πληθυσμού παρατηρείται συγκέντρωση διαφόρων δραστηριοτήτων όλων των τομέων παραγωγής. Παρά το γεγονός ότι συναντάμε σε όλη την έκταση των παράκτιων περιοχών όλες τις δραστηριότητες, θα πρέπει να τονισθεί η σημαντικότητα των περιοχών αυτών κυρίως για την ανάπτυξη του τουρισμού (Σκριμιζέα, 2009). Η χώρα μας ως γνωστόν είναι μια κατ'εξοχήν παράκτια χώρα με μεγάλη ακτογραμμή, περίπου 15.000 χλμ και με πληθώρα νησιών και βραχονησίδων. Το 40% της ακτογραμμής αφορά αμμώδεις και χαλικώδεις ακτές με χαμηλά υψόμετρα, που έχουν προέλθει από ιζηματογένεση. Το μεγάλο λοιπόν ποσοστό των ακτών με ήπια κλίση ευνοεί τη μεγάλη οικιστική τους ανάπτυξη, καθιστώντας τες παράλληλα ευάλωτες στην άνοδο της στάθμης θάλασσας λόγω κλιματικής αλλαγής.

Η εργασία αυτή στοχεύει στην ψηφιοποίηση των 10 πιο τουριστικών παραλιών της Σάμου και στην εκτίμηση της οπισθοχώρησης τους λόγω ανόδου της στάθμης της θάλασσας. Οι παραλίες ψηφιοποιούνται, καταγράφονται ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά τους όπως η περίμετρός τους, το εμβαδόν, η ανάπτυξη, ο προσανατολισμός, η κοκκομετρική τους σύσταση κ.α. Τέλος, με τη χρήση

αναλυτικών και αριθμητικών μορφοδυναμικών μοντέλων υπολογίζεται η παράκτια οπισθοχώρηση των ακτογραμμών τους.

Η διάρθρωση της εργασίας γίνεται σε 5 κεφάλαια με το 1^ο να εισαγάγει και να συσχετίζει το περιβαλλοντικό πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής και της άμεσης συνέπειας της ανόδου της στάθμης θάλασσας με την παράκτια ζώνη, το 2^ο να παραθέτει βιβλιογραφικές αναφορές εμφάνισης του φαινομένου της ανόδου της στάθμης της θάλασσας στο χρόνο και των επιπτώσεων αυτού στα παράκτια οικοσυστήματα, το 3^ο παρουσιάζει την περιοχή μελέτης, το 4^ο αναλύει τη μεθοδολογία που εφαρμόστηκε, ενώ το 5^ο και 6^ο παρουσιάζει τα αποτελέσματα και συμπεράσματα.

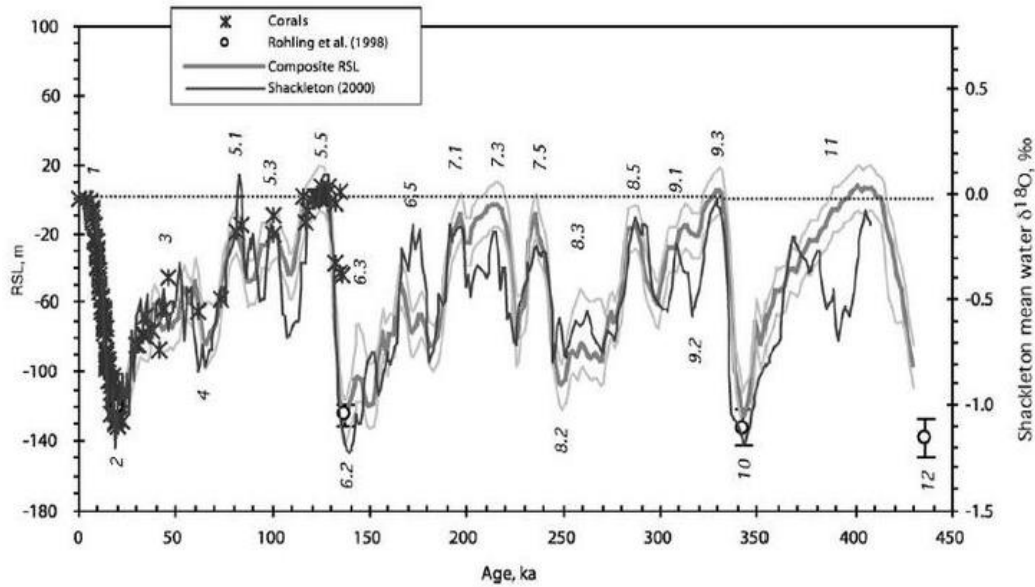
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΝΟΔΟΣ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΣΤΑΘΜΗΣ

2.1 Ιστορική αναδρομή

Η παγκόσμια μέση στάθμη της θάλασσας έχει ακολουθήσει μεταβολές στο βάθος του γεωλογικού χρόνου, που καθορίστηκαν κατά πολύ από την ανακατανομή ηπείρων και ωκεανών μέσα από ορογενετικές διαδικασίες όπως και από τις κλιματικές μεταβολές. Η μέση θαλάσσια στάθμη άγγιζε περίπου τα 600 μ ψηλότερα από σήμερα 450 εκατομμύρια χρόνια πριν για να φτάσει περίπου τα 300 μ ψηλότερα στα 90 εκατομμύρια χρόνια πριν. Στην συνέχεια, στα 34 εκατομμύρια έτη πριν, δημιουργήθηκαν οι παγετώνες της Ανταρκτικής (Barret 1996), ενώ 2,6 εκατομμύρια έτη πριν αναπτύχθηκαν και οι παγετώνες του βορείου ημισφαιρίου (π.χ. Maslin et al., 1998). Από τότε αρχίζει και η τελευταία γεωλογική περίοδος του Τεταρτογενούς, το λεγόμενο Ice Age, με τις χαρακτηριστικές εναλλαγές των σχετικά σύντομων (10–30 χιλιάδες χρόνια) μεσοπαγετωδών και παρατεταμένων παγετωδών περιόδων, όπου η στάθμη της θάλασσας πέφτει σε επίπεδα χαμηλότερα των σημερινών με εξαίρεση τις θερμές μεσοπαγετώδεις περιόδους κατά τις οποίες τα επίπεδα στάθμης πλησιάζουν τα σημερινά. Οι εναλλαγές των μεσοπαγετωδών και παγετωδών περιόδων συνοδευόμενες από τις μεταβολές της στάθμης της θάλασσας απέκτησαν αισθητά μεγαλύτερη ένταση και μικρότερη συχνότητα κατά το τελευταίο 1 εκατομμύριο χρόνια και πολύ περισσότερο τα τελευταία 600 χιλιάδες χρόνια. Επομένως, παρατηρώντας την εξέλιξη της παγκόσμιας στάθμης της θάλασσας κατά τα τελευταία 500 χιλιάδες χρόνια, εκτιμάται ότι κατά την μεσοπαγετώδη περίοδο των 400 ka MIS 11 (Marine Isotop Stage) η στάθμη της θάλασσας είχε φτάσει ενδεχομένως τα σημερινά επίπεδα (Bowen 2009; Rohling et al., 2010). Παρόμοιες εκτιμήσεις πιθανολογούνται και για τις νεότερες μεσοπαγετώδεις περιόδους των 320 ka (MIS 9c), 237 ka και 197 ka (MIS 7e και MIS 7a αντίστοιχα) (π.χ. Siddall et al., 2003; Rabineau et al., 2006). Στην προηγούμενη μεσοπαγετώδη περίοδο, στο MIS 5 (120–125 ka), αυτή βρισκόταν 4–9 μ ψηλότερα (Εικ. 2) από τη σημερινή (π.χ. Stirling et al., 1998), όταν η θερμοκρασία στους πόλους ήταν 4–6°C ψηλότερα (Otto-Bliesner et al., 2006) από την σημερινή. Ο ρυθμός αύξησης της στάθμης για την προηγούμενη μεσοπαγετώδη περίοδο εκτιμάται στα 1.0–1.6 μ/100 έτη (16 χλστ/έτος) σύμφωνα με αναλύσεις τρηματοφόρων στην Ερυθρά θάλασσα (Rohling et al., 2008), ενώ παρόμοιοι ρυθμοί,

δηλαδή 10 – 20 χλστ/έτος, εκτιμήθηκαν τόσο για την μακρά μεσοπαγετώδη περίοδο του MIS 11 (400 ka) όσο και για την σημερινή μεσοπαγετώδη περίοδο (αλλά για την χρονική περίοδο πριν τα 6 ka) (Rohling et al., 2010). Παρόμοιοι ρυθμοί ανόδου της στάθμης της θάλασσας προκύπτουν και κατά τις τέσσερις θερμές διακυμάνσεις του MIS 3 (60-25 ka) (Siddall et al., 2008). Κατά την διάρκεια μιας θερμής διακύμανσης της τελευταίας παγετώδους περιόδου πριν από 40 με 41 χιλιάδες χρόνια εκτιμήθηκε μέγιστος ρυθμός αύξησης της στάθμης 20 χλστ/έτος μέσα σε 1000 χρόνια σύμφωνα με δεδομένα ισοτόπων οξυγόνου και κοραλλιών της Ερυθράς θάλασσας (Siddall et al., 2003). Σημαντικό είναι να αναφέρουμε πως πριν από 20.000 χρόνια περίπου στο τέλος της τελευταίας παγετώδους περιόδου, η στάθμη της θάλασσας βρισκόταν περίπου 120 μ χαμηλότερα από ότι σήμερα καθώς ένα μεγάλο μέρος του νερού ήταν εγκλωβισμένο στους παγετώνες. 18.000 χρόνια πριν από σήμερα παρατηρείται η τελευταία μεγαλύτερη εξάπλωση των παγετώνων. Θα μπορούσε να πει κανείς ότι, τα τελευταία 60.000 χρόνια περίπου και μέχρι 18.000 πριν από σήμερα στο μεγαλύτερο τμήμα της Γης επικρατούσε ένας ατέλειωτος χειμώνας. Το πάχος των παγετώνων σε ορισμένες περιοχές της Σκανδιναβίας και του Καναδά ξεπερνούσε τα 3.000 μ, ενώ ο όγκος τους τα $15 \times 10^6 \text{ τμ}^3$ ($1 \text{ τμ}^3 = 1 \text{ δις } \mu^3$).

Ο προσδιορισμός της παλαιοθερμοκρασίας και των μεταβολών της γίνεται με διάφορες μεθόδους που έχουν αναπτυχθεί τις τελευταίες δεκαετίες. Η σημαντικότερη από αυτές είναι εκείνη που βασίζεται στο λόγο των ισοτόπων ^{18}O και ^{16}O και εκφράζεται ως $\delta^{18}\text{O}_b \text{ ‰}$ που εμπεριέχεται στα ανθρακικά σκελετικά στοιχεία βενθικών τρηματοφόρων (Waelbroeck, 2001). Η αναλογία αυτή εξαρτάται από την μέση θερμοκρασία του παλαιο-βιοτόπου των οργανισμών και κατέχει πληροφορίες σχετικά με την παρουσία φύλλων πάγου και συνεπώς πλανητικών αλλαγών του κλίματος στην επιφάνεια της γης μας. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι το οξυγόνο 16 εξατμίζεται κατά προτίμηση από τους ωκεανούς, μερικοί από τους οποίους πέφτουν σαν χιόνι στις ηπείρους. Στα διαστήματα που παρατηρούνται αυξημένοι όγκοι χιονιού και παγετώδους πάγου, παρατηρείται ένας αντίστοιχος εμπλουτισμός των ωκεανών με οξυγόνο 18 . Έτσι ο λόγος $\text{O}^{18} / \text{O}^{16}$ μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου, ως επί το πλείστον ως συνάρτηση του όγκου του παγετώδους πάγου στον πλανήτη. Στην Εικ. 2 που ακολουθεί δίνονται οι αυξομειώσεις της θαλάσσιας στάθμης κατά τα τελευταία 432.000 χρόνια (Waelbroeck et al., 2001).



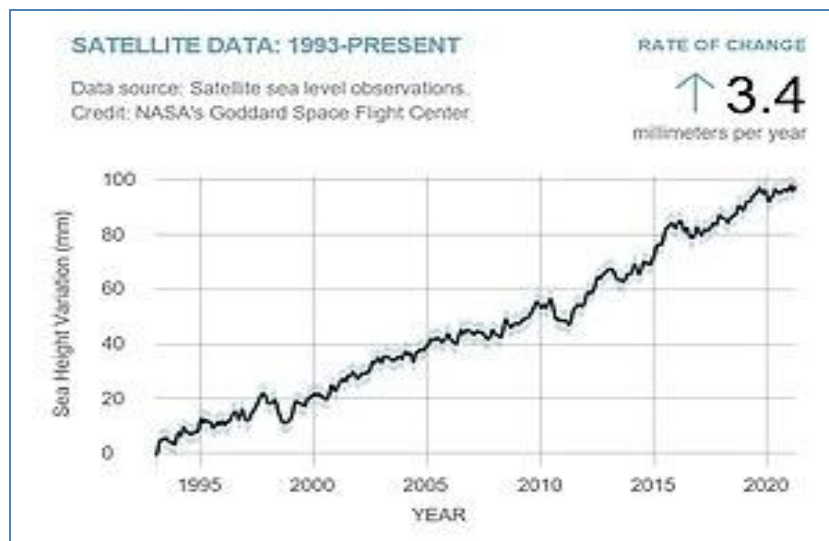
Εικόνα 2. Συνθετική σχετική στάθμη θάλασσας (RSL) (συνεχής γκρι γραμμή) για τα τελευταία 450 ka (από Waelbroeck et al., 2002). Στον οριζόντιο άξονα δίνεται η ηλικία (age) σε χιλιάδες χρόνια (ka), στον αριστερό κατακόρυφο άξονα η σχετική μεταβολή θαλάσσιας στάθμης (RSL) σε μέτρα (m), ενώ στον δεξιό κατακόρυφο άξονα οι τιμές της μέσης τιμής $\delta^{18}O$ στο ωκεάνιο νερό (από Shackleton, 2000). x: αντιστοιχούν σε δεδομένα από κοράλλια. ο: κατώτατα επίπεδα στάθμης θάλασσας (lowstands) σύμφωνα με (Rohling et al., 1998). Η συνεχής μαύρη γραμμή αντιπροσωπεύει της μέσης τιμής $\delta^{18}O$ στο ωκεάνιο νερό. Τα νούμερα πάνω από τις καμπύλες στάθμης θάλασσας αντιπροσωπεύουν ιστοτοπικά στάδια (MIS)

Από το 1900, υπολογίζεται ότι η στάθμη αυξανόταν κατά 1-2 χλστ. το χρόνο. Επίσης, από το 1993, με την συμβολή της τεχνολογίας, οι μετρήσεις της αύξησης της στάθμης ήταν πλέον ακριβείς και ο ρυθμός αύξησης ήταν της τάξης των 3 χλστ. ανά έτος (Εικ. 3).

2.1. Μέση στάθμη θάλασσας

Οι αλλαγές στη στάθμη των θαλασσών της γης για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα παρέμενε υπό αμφισβήτηση. Με την πάροδο των χρόνων όμως αποδείχτηκε ότι το φαινόμενο αυτό είναι υπαρκτό και άμεσο επακόλουθο της αλλαγής του παγκόσμιου κλίματος και αναμένεται να προκαλέσει σημαντικές επιπτώσεις, κατά κύριο λόγο στις παράκτιες περιοχές όπου και ζει το 60% του πληθυσμού του πλανήτη (Δουκάκης, 2005). Ως ορισμός της στάθμης θάλασσας, νοείται η απόσταση της επιφάνειας της θάλασσας από το βυθό. Η απόσταση αυτή δεν παραμένει σταθερή και η μεταβολή της εξαρτάται από φαινόμενα όπως η παλιρροιακή αλληλεπίδραση μεταξύ γης και σελήνης αλλά και μεταξύ γης και ήλιου, από τη μεταβολή της βαρομετρικής πίεσης

στην επιφάνεια της θάλασσας και την αλλαγή της θερμοκρασίας σε αυτή. Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τη στάθμη θάλασσας είναι οι άνεμοι που πνέουν στην επιφάνειά της, η εξάτμιση, αλλά και η προσθήκη γλυκού νερού σε εκβολές ποταμών, τα ρεύματα άντλησης καθώς και οι τοπικές διαφοροποιήσεις της αλατότητας του θαλάσσιου νερού. Ωστόσο, παρά τις δυσκολίες που δημιουργούνται από τους παραπάνω παράγοντες, έχει γίνει προσπάθεια καθορισμού της μέσης θαλάσσιας στάθμης.



Εικόνα 3. Ρυθμός αύξησης στάθμης θάλασσας από το 1900 έως σήμερα (από Hallegatte, 2008).

Η μέση στάθμη θάλασσας (ΜΣΘ) προκύπτει να είναι μια ιδεατή επιφάνεια που αποτελείται από τις στάθμες θάλασσας σε κάθε σημείο, εάν από αυτές απομονώσουμε την επίδραση των κυματισμών, της παλίρροιας και των ρευμάτων θάλασσας. Είναι επομένως μια επιφάνεια σε κάθε σημείο της οποίας ασκείται ίση και σταθερή η δύναμη της βαρύτητας, μην επιτρέποντας έτσι καμμία κίνηση-ροή λόγω διαφοράς δυναμικού. Το μέσο επίπεδο αναφοράς της στάθμης των ωκεανών καλείται γεωειδές το οποίο είναι η ισοδυναμική επιφάνεια του πεδίου βαρύτητας της Γης και το οποίο θεωρητικά συμπίπτει με το μέσο επίπεδο της στάθμης της θάλασσας. Η μέση στάθμη της θάλασσας όμως αποκλίνει από το γεωειδές δημιουργώντας την λεγόμενη τοπογραφία της επιφάνειας της θάλασσας (Παπανικολάου κ.α., 2011).

2.2 Τοπική και ευστατική θαλάσσια στάθμη

Αν και έχουμε την τεχνολογία για να μετρήσουμε πόσο απέχει το ύψος στάθμης θάλασσας από το κέντρο της γής, η πληροφορία αυτή δεν είναι πολύ χρήσιμη. Εξαιτίας της γης η οποία δεν είναι μια τέλεια σφαίρα, των διαφοροποιήσεων στη βαρύτητα σε διαφορετικά σημεία του κόσμου καθώς και διαφοροποιήσεων στην ατμοσφαιρική και υδροστατική πίεση, το ύψος στάθμης θάλασσας μπορεί να είναι εκπληκτικά μεταβλητό. Για το λόγο αυτό, οι ερευνητές δε μιλούν για απόλυτη θαλάσσια στάθμη και αντί αυτής μιλούν για ευστατική ή τοπική θαλάσσια στάθμη

Η ευστατική στάθμη θάλασσας (MSL-Mean Sea Level) είναι η μέση παγκόσμια θαλάσσια στάθμη. Επειδή ακριβώς είναι μια μέση τιμή, οι επιστήμονες πάντα μιλούν για την αλλαγή στην ευστατική στάθμη θάλασσας. Μια δήλωση ότι η ευστατική στάθμη θάλασσας είναι για παράδειγμα 30 εκ. δε σημαίνει τίποτα εκτός και αν γνωρίζουμε από πού πάρθηκαν οι μετρήσεις αναφοράς. Παράγοντες που επηρεάζουν την ευστατική στάθμη θάλασσας είναι συμβάντα μεγάλης κλίμακας. Η ευστατική αλλαγή επηρεάζει την στάθμη της θάλασσας σε παγκόσμια κλίμακα και οδηγεί σε αλλαγές του όγκου του νερού στους ωκεανούς ή αλλαγές στον όγκο των ωκεάνιων λεκανών

Η τοπική θαλάσσια στάθμη (LMSL- Local Mean Sea Level) είναι μια πιο σημαντική μέτρηση για τους περισσότερους ανθρώπους, είναι το μέγεθος του πόσου ψηλός είναι ο ωκεανός σε σχέση με τη στεριά σε μια δεδομένη τοποθεσία. Ορίζεται ως η στάθμη της θάλασσας μιας συγκεκριμένης περιοχής υπολογισμένη κατά μέσο όρο σε μια χρονική περίοδο τέτοια ώστε οι διακυμάνσεις των κυμάτων ή των ρευμάτων να μην την επηρεάζουν. Η ευστατική θαλάσσια στάθμη επηρεάζει αυτό το ύψος, αλλά το ίδιο μπορούν να κάνουν τοπικές μεταβλητές είτε σε μακρές είτε σε σύντομες περιόδους (NASA, Sea Level Change).

2.3 Μεταβολές θαλάσσιας στάθμης

Οι μεταβολές στη θαλάσσια στάθμη (ανοδική ή καθοδική κίνηση σε σχέση με τη στεριά) είναι ένα φαινόμενο που έχει επαναληφθεί αρκετές φορές στον πλανήτη μας και είναι αποτέλεσμα διεργασιών που λειτουργούν σε ένα μεγάλο εύρος χρονικής κλίμακας που κυμαίνεται από ορισμένα δευτερόλεπτα έως και εκατομμύρια (IPCC,

2018). Οι μεγάλης χρονικής κλίμακας μεταβολές της θέσης της ακτογραμμής, που οριοθετεί ουσιαστικά τη θαλάσσια επιφάνεια, οφείλονται στις διακυμάνσεις της θαλάσσιας στάθμης λόγω ευστατικών (κλιματικών), ισοστατικών και τεκτονικών αιτιών ή σε συνδυασμό όλων αυτών.

Οι μικρής χρονικής κλίμακας μεταβολές οφείλονται, κυρίως, σε αιτίες όπως είναι η δράση του φαινομένου της παλίρροιας, η επίδραση από τις μετεωρολογικές συνθήκες και η δράση του κυματισμού (Καρύμπαλης 2010).

Οι αιτίες ή μηχανισμοί που είναι υπεύθυνοι για τις ανοδικές ή καθοδικές κινήσεις της στάθμης της θάλασσας (επίκλυση και απόσυρση) μπορούν να χωριστούν λοιπόν σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

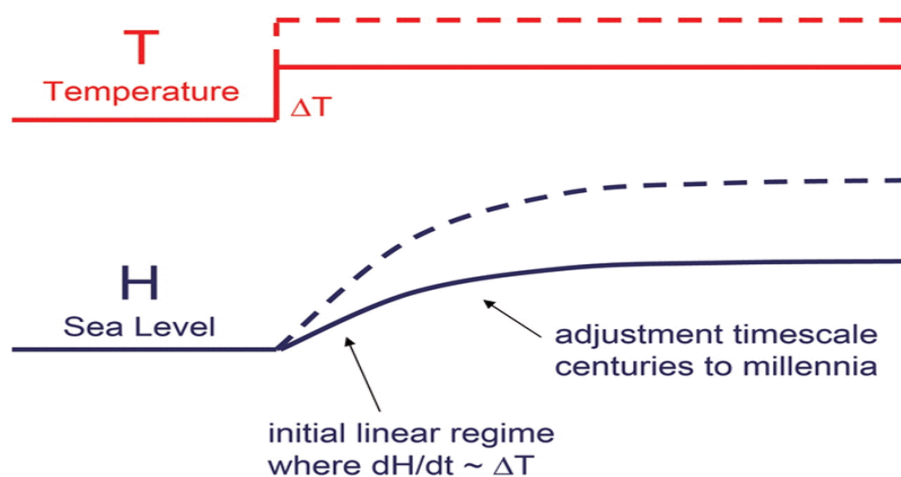
(1) Μηχανισμοί που επηρεάζουν σε παγκόσμια κλίμακα τη στάθμη θάλασσας (ευστατισμός).

Αυτοί μπορεί να οφείλονται στις εξής αιτίες:

- Μεταβολές στην πυκνότητα του θαλασσινού νερού που μεταβάλλουν το όγκο του (κλιματικά αίτια).

Ο ρυθμός ανόδου της στάθμης θάλασσας κατά τη διάρκεια του 20ου αιώνα έχει παρατηρηθεί ότι είναι σε αναλογία με το ρυθμό ανόδου της θερμοκρασίας. Η τελευταία παγετώδης περίοδος τελείωσε πριν από 16.000 χρόνια περίπου και τη διαδέχτηκε μια θερμή περίοδος η οποία είναι αυτή που διανύουμε. Κατά τη διάρκεια αυτής έχει παρατηρηθεί ότι η θερμοκρασία του πλανήτη αυξάνει εξαιτίας του φυσικού φαινομένου του θερμοκηπίου το οποίο ενισχύεται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Το ωκεάνιο νερό διαστέλλεται καθώς απορροφά την παγιδευμένη θερμότητα, προκαλώντας αύξηση της στάθμης θάλασσας (κυβική θερμική διαστολή του νερού). Η θερμική διαστολή των ωκεανών είναι ο παράγοντας που ευθύνεται περισσότερο (κατά 2/3) απ' ό,τι οι άλλες αιτίες για την άνοδο της στάθμης θάλασσας (στερική στάθμη θάλασσας) κατά τον 20^ο και 21^ο αιώνα. Το νερό σε υψηλότερες θερμοκρασίες ή υπό μεγαλύτερη πίεση (πχ. σε μεγαλύτερα βάθη) διαστέλλεται περισσότερο για μια δεδομένη εισαγωγή θερμότητας. Είναι εύκολα αντιληπτό λοιπόν ότι οι περιοχές που παρουσιάζουν εντονότερο αυτό το φαινόμενο είναι οι τροπικές κι υποτροπικές. Οι αλλαγές στην

αλατότητα του ωκεάνιου νερού έχουν επίσης μια σημαντική επιρροή στην τοπική πυκνότητα, με μικρό όμως αποτύπωμα στην αλλαγή της μέσης παγκόσμιας στάθμης (UNEP, 2001). Χρησιμοποιώντας σαν οδηγό τη μέση παγκόσμια θερμοκρασία του αέρα στην επιφάνεια της θάλασσας, στην παρακάτω (Εικ. 3) φαίνεται μια ημι εμπειρική προσέγγιση της απόκρισης της στάθμης θάλασσας σε μια συνάρτηση βημάτων αύξησης της θερμοκρασίας, όταν έχει επέλθει ισορροπία μεταξύ του κλίματος και των παραμέτρων αύξησης στάθμης θάλασσας (Rahmstorf, 2007).

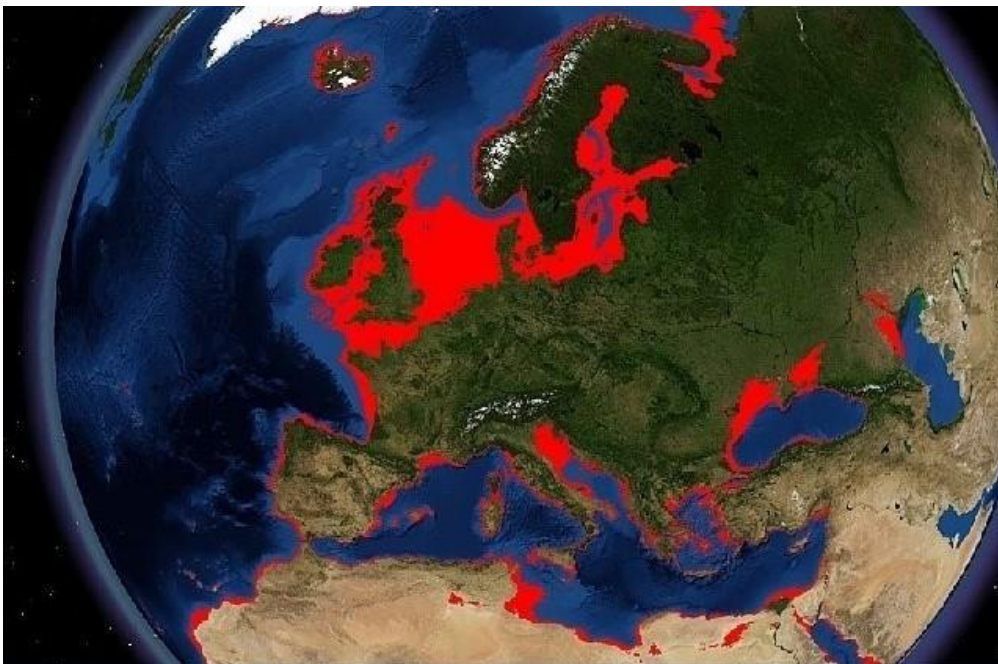


Εικόνα 4. Σχηματική απεικόνιση της απόκρισης της στάθμης θάλασσας στη μεταβολή της θερμοκρασίας. Η συνεχής και η διακεκομμένη γραμμή δείχνουν δυο παραδείγματα μεταβολής θερμοκρασίας

Ο αρχικός ρυθμός αύξησης της στάθμης θάλασσας αναμένεται να είναι ανάλογος στο ρυθμό μεταβολής της θερμοκρασίας $dH/dt = a \cdot dT/dt$, όπου H είναι η παγκόσμια στάθμη θάλασσας, t ο χρόνος, a η σταθερά αναλογικότητας και T η μέση παγκόσμια θερμοκρασία. Η χρονική κλίμακα κατά την οποία θα επέλθει ισορροπία είναι της τάξης των χιλιετιών. Η σχέση αυτή δοκιμάστηκε χρησιμοποιώντας δεδομένα παγκόσμιας στάθμης θάλασσας και θερμοκρασιών από τη NASA για την περίοδο 1880-2001 και αυτό που βρέθηκε ήταν μια υψηλή συσχέτιση μεταξύ των δυο αυτών μεγεθών με κλίση της καμπύλης ίση με $3.4 \text{ χλστ}/^\circ\text{C}$ (Rahmstorf, 2007). Έρευνες και διάφορα μαθηματικά μοντέλα αποδεικνύουν ότι η συμβολή της θερμικής διαστολής οδήγησε σε μια ΑΣΘ των 10 εκ. τον περασμένο αιώνα (Church and Gregory, 2001).

- Τήξη και πήξη των αλπικών παγετώνων και παγοκαλυμμάτων (κλιματικά αίτια)

Η ιστορία της Γης χαρακτηρίζεται από εναλλαγές παγετωδών (κρύων) και μεσοπαγετωδών (θερμών) περιόδων. Κατά τη διάρκεια των παγετώνων, μεγάλη ποσότητα νερού συσσωρεύεται με τη μορφή πάγου στην επιφάνεια της ξηράς, προκαλώντας ταπείνωση της θαλάσσιας στάθμης. Αντιστρόφως, κατά τη διάρκεια των μεσοπαγετωδών περιόδων, η θερμοκρασία αυξάνεται σε παγκόσμια κλίμακα, με αποτέλεσμα το λιώσιμο των πάγων και την άνοδο της παγκόσμιας θαλάσσιας στάθμης. Ειδικά κατά την τελευταία παγετώδη περίοδο, η μεγάλη επέκταση των ηπειρωτικών παγετωνικών καλυμμάτων προκάλεσε την υποχώρηση της στάθμης της θάλασσας έως και 150μ χαμηλότερα απ' ό,τι σήμερα. Αυτό συνέβη περίπου 18.000 χρόνια πριν από σήμερα. Υπολογίζεται ότι αυτή η υποχώρηση αύξησε την Ευρωπαϊκή ήπειρο κατά 3,2 εκατομμύρια τετραγωνικά χιλιόμετρα, προσδίδοντας της περίπου 40% περισσότερη επιφάνεια σε σχέση με τη σημερινή έκταση της (Bailey et al., 2012) (Εικ. 5).



Εικόνα 5. Κατά τη διάρκεια του μέγιστου σημείου της τελευταίας παγετώδους περιόδου, η στάθμη θάλασσας ταπεινώθηκε κατά 120μ. Ως αποτέλεσμα, ρηχές περιοχές των ωκεανών αναδύθηκαν (κόκκινες περιοχές)

Εξαιτίας της συνεχούς θερμαινόμενης ατμόσφαιρας, τα φύλλα πάγου και οι ορεινοί παγετώνες λιώνουν, προσθέτοντας επιπλέον νερό στη θαλάσσια μάζα. Τα φύλλα πάγου έχουν δυνητικά τη μεγαλύτερη πιθανή επίδραση στην αύξηση στάθμης θάλασσας, γιατί το ολοκληρωτικό λιώσιμό τους θα είχε ως αποτέλεσμα μια αύξηση της παγκόσμιας στάθμης θάλασσας της τάξεως των 70μ (Rahmstorf, 2007). Εντούτοις, η δυναμική τους δεν είναι ακόμη πλήρως κατανοητή και η διαδικασία που ελέγχει την απόκριση της ροής του πάγου σε ένα θερμαινόμενο κλίμα, δεν περιέχεται στα τρέχοντα μοντέλα φύλλων πάγου. Για το λόγο αυτό υπάρχει μια αμφιβολία σχετικά με τη συμβολή των στρωμάτων πάγου στην άνοδο της στάθμης θάλασσας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η περίπτωση του παγετώνα του βόρειου ωκεανού και της Γροιλανδίας που αποτελεί το 10% των ολικών μόνιμων πάγων και σήμερα βρίσκεται σχεδόν σε δυναμική ισορροπία. Αν και ο παγετώνας της Γροιλανδίας έχει αρχίσει να λιώνει μετατρέποντας χιλιάδες τόνους πάγου σε νερό με άμεση συνέπεια την άνοδο της στάθμης των θαλασσών, όλη η αύξηση του από τη χειμερινή απόθεση χιονιού είναι περίπου ίση με τη μείωση κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και την αποκόλληση τμημάτων πάγου με τη μορφή παγόβουνων, που είναι και η αιτία της αύξησης της θαλάσσιας στάθμης (Μελάς 2000).

- Στη μεταβολή της χωρητικότητας των ωκεάνιων λεκανών

Οι ωκεάνιες λεκάνες είναι τα χαμηλότερα τμήματα της λιθόσφαιρας που βρίσκονται μεταξύ των ηπειρωτικών μαζών και καλύπτονται από θαλασσινό νερό (Δερμιτζάκης, 2000). Η λιθόσφαιρα βρίσκεται σε καθεστώς κίνησης, το οποίο περιγράφεται από την τεκτονική των λιθοσφαιρών πλακών, σύμφωνα με την οποία, η λιθόσφαιρα συντίθεται από δώδεκα κύρια επιμέρους τμήματα που περιγράφονται ως τεκτονικές πλάκες, με χαρακτηριστικό τους το ότι κινούνται, συγκλίνοντας ή αποκλίνοντας, με συνέπεια να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Όταν δύο πλάκες συγκλίνουν (πλησιάζουν), η μία βυθίζεται κάτω από την άλλη (ωκεάνια τάφρος) και όταν φτάνει σε μεγάλο βάθος λιώνει και γίνεται μάγμα. Έτσι χάνονται τμήματα του φλοιού και ελαττώνεται η χωρητικότητα των ωκεανών όταν αυτοί υπέρκεινται σε περιοχές σύγκλισης. Παράλληλα το διάπυρο μάγμα ανεβαίνει μέσα από τα ρήγματα ως λάβα δημιουργώντας τα ηφαίστεια τα οποία μειώνουν περαιτέρω τον όγκο των θαλασσίων λεκανών. Στα όρια αποκλίνουσων πλακών δημιουργούνται μεσοωκεάνιες ράχες, λαμβάνει χώρα ακριβώς η απομάκρυνση των δύο ηπειρωτικών πλακών και ταυτόχρονη δημιουργία νέου ωκεάνιου φλοιού. Συγχρόνως από τις

διαρρήξεις αυτές, ανέρχεται βασαλτικό υλικό, από τον άνω μανδύα, το οποίο ενσωματώνεται και συμπληρώνει τον ήδη υπάρχοντα ωκεάνιο φλοιό, μεγαλώνοντας έτσι τη χωρητικότητά του.

Εκτός των τεκτονικών αιτιών μεταβολής του όγκου των ωκεάνιων λεκανών, η ιζηματοπόθεση (αιολική, ποτάμια, μέσω παγετώνων) συμβάλει επίσης στη μείωση του όγκου των ωκεανών αν και με αργό ρυθμό πλήρωσης (33χλστ/100έτη)(IPCC, 2007) και επομένως στην άνοδο της στάθμης θάλασσας.

- Ανθρώπινες επεμβάσεις που επηρεάζουν τον υδρολογικό κύκλο του νερού

Πολλές ανθρώπινες δραστηριότητες είναι δυνατό να φέρουν αλλαγή στα αποθέματα του επιφανειακού και υπόγειου γλυκού νερού η οποία συνδέεται άμεσα με τη μεταβολή της στάθμης θάλασσας. Η υπεράντληση υπόγειου νερού, η αποψίλωση δασικών εκτάσεων και καταστροφή υγροτόπων μπορούν να επηρεάσουν τον υδρολογικό κύκλο απομακρύνοντας μόνιμα το νερό από το έδαφος. Το νερό αυτό τελικά καταλήγει στον ωκεανό μέσω της ατμόσφαιρας ή της επιφανειακής ροής, συνεισφέροντας στην άνοδο της θαλάσσιας στάθμης. Η δημιουργία φραγμάτων, από την άλλη πλευρά, συντελεί στην κατακράτηση νερού η οποία έχει οδηγήσει σε μια ταπείνωση της στάθμης θάλασσας τις προηγούμενες δεκαετίες. Είναι πολύ δύσκολο να υπάρξουν ακριβείς υπολογισμοί της ανθρωπογενούς συνεισφοράς δεδομένης της έλλειψης παγκόσμιας πληροφορίας για κάθε ένα από τους παραπάνω παράγοντες, αν και η επίδραση των φραγμάτων είναι η περισσότερο γνωστή. Σύμφωνα με τους (Chao et al.,1994), η συνολική επίδραση της δημιουργίας φραγμάτων στην ταπείνωση της στάθμης θάλασσας τα προηγούμενα 50 χρόνια, θα μπορούσε να είναι της τάξης των 0.05χλστ/έτος.

(2) Οι τοπικοί μηχανισμοί που μεταβάλλουν την στάθμη της θάλασσας τοπικά είναι:

- Ανύψωση ή ταπείνωση της ξηράς εξαιτίας τοπικών τεκτονικών κινήσεων

Ο ρόλος του τοπικού τεκτονισμού είναι ιδιαίτερα σημαντικός σε τεκτονικά ενεργές ζώνες (Vött, 2007), καθώς μπορεί να εξουδετερώσει τη σχετική άνοδο της στάθμης της θάλασσας όταν αυτή αφορά ανερχόμενα τεμάχια ενεργών ρηγμάτων, ή, αντιθέτως, να την ενισχύσει στη περίπτωση σχετικά κατερχόμενων τεμαχίων. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν η παράκτια ζώνη της Βόρειας

Πελοποννήσου, με ρυθμούς ανύψωσης από 0,3 έως 1,5 mm/έτος, της Κρήτης με 0,7 έως 4 mm/έτος και της Ρόδου με 1,2- 1,9 mm/έτος. Έτσι, για παράδειγμα, μια μέση τιμή ανόδου της στάθμης της θάλασσας της τάξεως των 4,3 mm/έτος θα μειωθεί στα 3,5 mm./έτος με την αφαιρετική δράση μιας μέσης τιμής τεκτονικής ανύψωσης της τάξεως των 0,8 mm/έτος (IPCC,2011).

- Ανύψωση ή ταπείνωση της ξηράς λόγω ισοστατικών ανοδικών ή καθοδικών κινήσεων

Η ισοστασία είναι μια διεργασία που, σε αντίθεση με την ευστασία, είναι πάντα σε τοπικό επίπεδο. Οι ισοστατικές κινήσεις περιλαμβάνουν μετατόπιση υλικών με διαφορετικές πυκνότητες και δημιουργούν σχετικές μεταβολές της μέσης θαλάσσιας στάθμης. Μια από τις περισσότερο γνωστές αιτίες λιθοσφαιρικής παραμόρφωσης αποτελεί η παγετώδης ισοστασία. Η βυθιζόμενη μάζα με παγετικό κάλυμμα, πιέζει τα υλικά στο βάθος και δημιουργείται ένα ανυψωμένο περιφερειακό χείλος. Έχει διαπιστωθεί ότι η ταπείνωση αυτή ισούται με το ένα τρίτο του μέγιστου πάχους του πάγου που δημιουργείται. Όταν λιώσουν οι πάγοι, η εκφόρτιση προκαλεί ανυψωτικές τάσεις επαναφοράς την προηγούμενη κατάσταση. Η διαδικασία αυτή απαιτεί τεράστια ποσά βάρους και δεκάδες χιλιάδες ετών. Πολλά μέρη μάλιστα της Βόρειας Αμερικής και της Ευρώπης, αναδύονται ακόμη μετά το λιώσιμο των παγετώνων της τελευταίας παγετώδους περιόδου. Τα ύδατα που αποδεσμεύονται κατά την τήξη προκαλούν αύξηση του φορτίου στον ωκεάνιο φλοιό. Κατανοεί κανείς ότι η μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης (SLC) αποτελεί το ολοκληρωμένο αποτέλεσμα του ευστατισμού (E), της ισοστασίας (I) και του τεκτονισμού (T) (Lambeck 1995; Lambeck & Purcell, 2005)

2.3.1 Αλλαγές στάθμης θάλασσας-χρονικές κλίμακες

Οι σύνθετες διαδικασίες που επιδρούν στη στάθμη της θάλασσας λειτουργούν σε χρονικές κλίμακες, που κυμαίνονται από μερικές ώρες (όπως είναι για παράδειγμα η περίπτωση της παλίρροιας), μέχρι μερικά εκατομμύρια χρόνια (η τροποποίηση των λεκανών απορροής των ωκεανών ως αποτέλεσμα των τεκτονικών κινήσεων). Ο Fairbridge (1983) τις ταξινόμησε ως εξής: (α) μακράς διάρκειας (10^6 - 10^9 χρόνια), πχ: δράση γεωλογικών φαινομένων, ευρύτερες κλιματικές αλλαγές (β) μέσης διάρκειας

(10^3 - 10^6 χρόνια), πχ. κλιματικές αλλαγές που συνδέονται με την εκδήλωση παγετώδων/μεσοπαγετώδων περιόδων και (γ) μικρής διάρκειας (10^{-1} - 10^3 χρόνια), μικρότερης διάρκειας και έντασης κλιματικές μεταβολές που συνδυάζονται με αλλαγές στο κυματικό καθεστώς. Στην περιοδική μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης συμβάλλει και η παλίρροια.

Οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν το μέσο επίπεδο της στάθμης της θάλασσας είναι εκείνοι που λειτουργούν σε χρονικές κλίμακες από δέκα έως εκατό έτη και εξαρτώνται από το κλίμα και τις κλιματικές αλλαγές (IPCC, 2007) και είναι αυτοί που αναφέρθηκαν διεξοδικά στην προηγούμενη υποπαράγραφο.

2.3.2 Βραχυχρόνιες και περιοδικές μεταβολές στάθμης θάλασσας

Υπάρχουν ποικίλοι παράγοντες που επιφέρουν βραχυχρόνιες (από μερικά λεπτά μέχρι μήνες) αλλαγές στην στάθμη της θάλασσας όπως είναι οι παλίρροιες, τα κύματα, τα κύματα καταιγίδας, οι εποχιακές διακυμάνσεις, αλλά και βραχυπρόθεσμα γεωλογικά φαινόμενα (π.χ. σεισμοί, καθιζήσεις) (Πίν. 1).

Οι παροδικές μεταβολές στη στάθμη της θάλασσας είναι δυνατόν να παρατηρηθούν, εντοπίζονται όμως σε συγκεκριμένη τοποθεσία και οι επιπτώσεις τους δεν αποτελούν κίνδυνο για την παγκόσμια μεταβολή της στάθμης της θάλασσας. Όπως φαίνεται και από τον παραπάνω (Πίν.1), οι σοβαρότερες βραχυχρόνιες επιδράσεις στην τοπική στάθμη θάλασσας είναι δυνατό να προκληθούν από τα φαινόμενα των παλιρροιών και των μετεωρολογικών παλιρροιών (storm surges).

Επίδραση της παλίρροιας

Ως παλίρροια ορίζουμε τη διαδοχική ανύψωση και πτώση του επιπέδου της θάλασσας σε σχέση με την ξηρά, που δημιουργείται εξαιτίας των βαρυτικών ελκτικών δυνάμεων μεταξύ γης, σελήνης και ήλιου, αλλά και λόγω της περιστροφής αυτών των ουράνιων σωμάτων. Επειδή το ύψος της στάθμης εξαρτάται όχι μόνο από την απόσταση Γης - Σελήνης αλλά και Γης - Ηλίου προκύπτει ότι και ο Ήλιος έχει σχέση με την παλίρροια και διαπιστώνεται ότι το ύψος των υδάτων εξαρτάται από τις φάσεις της Σελήνης, δηλαδή από τη θέση της ως προς τον Ήλιο.

Πίνακας 1. Παράγοντες που επηρεάζουν περιοδικά την θαλάσσια στάθμη.

Βραχυχρόνιες Περιοδικές περιπτώσεις	Χρονικό διάστημα (P = περίοδος)	Κάθετη επίδραση
Περιοδικές αλλαγές της θαλάσσιας στάθμης		
Ημερήσιες και ημιημερήσιες αστρονομικές παλίρροιες	12-24 ώρες	0.2-10 m
Παλίρροιες συζυγίας/τετραγωνισμού	2 φορές ανά μήνα	Τοπική επίδραση εως 17μ
παραλλαγή του γεωγραφικού πλάτους του Chandler (Chandler wobble)	14 μήνες	*
Μετεωρολογικές και ωκεανογραφικές διακυμάνσεις		
Ατμοσφαιρική πίεση	Ώρες έως μήνες	- 0.7 - 1.3 m
Μετεωρολογικές παλίρροιες (storm surges)	1-3 μέρες	Εως 12 m
Εξάτμιση και ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις	Μέρες έως εβδομάδες	
Τοπογραφία της επιφάνειας των ωκεανών (αλλαγές στην πυκνότητα, ρεύματα)	Μέρες έως εβδομάδες	Εως 1μ
El Nino southern oscillation (ENSO)	6 μήνες κάθε 5-10 χρόνια	Εως 0.6μ
Εποχιακές διακυμάνσεις		
Ισοζύγιο του νερού μεταξύ των ωκεανών (Ατλαντικός, Ειρηνικός, Ινδικός)	*	*
Εποχιακές διακυμάνσεις της κλίσης επιφανειακών υδάτων	*	*
Ποτάμια απορροές	2 μήνες	1μ
Αλλαγές στην πυκνότητα του νερού (αλατότητα, θερμοκρασία)	6 μήνες	0.2 μ
Εποχιακά Στάσιμα Κύματα		
Κυματανάπαυση (στάσιμα κύματα)	Λεπτά έως ώρες	Εως 2 m
Σεισμοί		
Τσουνάμι	ώρες	Εως 10 m
Απότομη αλλαγή στο επίπεδο του εδάφους	λεπτά	Εως 10 m

* οι επιδράσεις μεταβάλλονται ανά περιοχή

Και αυτό διότι κατά τις συζυγίες δηλαδή κατά τη σύνοδο (νέα σελήνη) και κατά την αντίθεση (πανσέληνος) παρατηρείται η υψηλότερη στάθμη παλίρροιας, ενώ κατά τους τετραγωνισμούς σημειώνεται η χαμηλότερη. Μη αστρονομικοί παράγοντες, όπως η τοπογραφία της αβαθούς παράκτιας περιοχής, το βάθος της ωκεάνιας λεκάνης αλλά και τοπικά μετεωρολογικά φαινόμενα επηρεάζουν το εύρος και το ύψος της παλίρροιας. Η παλίρροια γίνεται αντιληπτή ως επικάλυψη και αποκάλυψη της παράκτιας ζώνης από τη θάλασσα που ονομάζονται πλημμυρίδα και άμπωτη αντίστοιχα. Στην Ελλάδα το φαινόμενο αυτό δε γίνεται ιδιαίτερα αντιληπτό καθώς η κάθετη διακύμανση της θαλάσσιας στάθμης λόγω παλίρροιας δεν ξεπερνά τα 30cm.

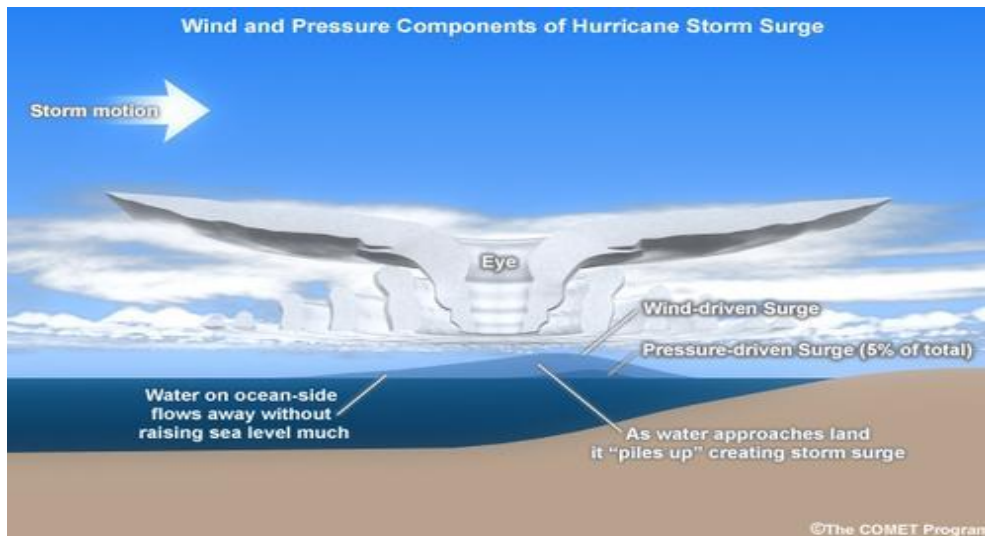
Σε περιοχές όμως που το εύρος αυτό είναι αρκετά μέτρα, όπως στον κόλπο Fundy στον Καναδά όπου το εύρος αυτό φτάνει τα 15μ, μεγάλες εκτάσεις θαλάσσιου πυθμένα εξαφανίζονται και αποκαλύπτονται από το νερό σε κάθε παλιρροϊκό κύκλο. Το φαινόμενο αυτό επαναλαμβάνεται δύο φορές το 24ώρο (ακριβέστερα 24 ώρες 50' και 30") αφού 24 ώρες και 50,5 λεπτά μεσολαβούν και μεταξύ δύο "διαβάσεων" της Σελήνης πάνω από ένα τόπο, δηλαδή δύο "άνω μεσουρανήσεων" όπως λέγονται.

Μετεωρολογική παλίρροια

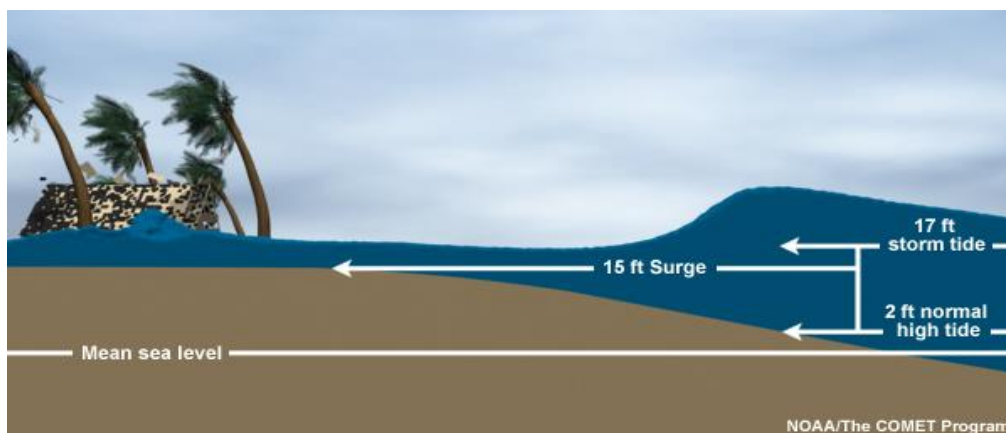
Καθώς το κλίμα γίνεται θερμότερο, παρατηρούνται πιο δυνατοί άνεμοι, μεγαλύτερες καταιγίδες και καταγράφονται υψηλότερες βροχοπτώσεις κατά τη διάρκεια της εποχής των τυφώνων. Ως μετεωρολογική παλίρροια (storm surge) δηλώνεται, η παροδική άνοδος της στάθμης του νερού κατά μήκος της ακτογραμμής, που προκαλείται από τις δυνάμεις ανέμου και πίεσης ενός τυφώνα ή μιας έντονης καταιγίδας, η οποία μπορεί να γίνει επικίνδυνη όταν πλησιάσει τη στεριά.

Η πρωταρχική αιτία της μετεωρολογικής καταιγίδας είναι ο δυνατός άνεμος. Η καταιγίδα αρχίζει να σχηματίζεται καθώς ο άνεμος στροβιλίζεται διοχετεύοντας νερό στο κέντρο της καταιγίδας δημιουργώντας μια συγκέντρωση νερού. Αν αν και σε μικρό ποσοστό (5%) η χαμηλή ατμοσφαιρική πίεση στο κέντρο του τυφώνα ή της τροπικής καταιγίδας προσθέτει επιπλέον νερό στο σχηματισμένο λόφο (Εικ. 6). Όταν η καταιγίδα πλησιάζει τη στεριά, το συσσωρευμένο νερό μην έχοντας άλλη διαφυγή παρά την ακτή, προκαλεί πλημμυρικά φαινόμενα μεγάλης έντασης. Η δύναμη των κυμάτων αυτών μπορεί να προκαλέσει καταστροφή κτιρίων, διάβρωση γής και υφαλμύριση παράκτιων υδροφορέων.

Όταν η αστρονομική παλίρροια (tide) συμπίπτει χρονικά με την μετεωρολογική (surge), τότε η συνεργιστική δράση αυτών δημιουργεί την παλίρροια θύελλας (storm tide) (Εικ. 7) κατά την οποία η στάθμη θάλασσας μπορεί να ανέλθει έως και 6μ πάνω από τη φυσιολογική της τιμή, γεγονός που είναι ιδιαίτερα επικίνδυνο για τις παράκτιες περιοχές με χαμηλό υψόμετρο.



Εικόνα 6. Σχηματική τομή τυφώνα κινούμενου προς τη στεριά (UCAR/COMET).



Εικόνα 7. Συνδυασμός αστρονομικής και μετεωρολογικής παλίρροιας (NATIONAL WEATHER SERVICE)

Η άνοδος της θαλάσσιας στάθμης σε μια παράκτια περιοχή λόγω των μετεωρολογικών παλιρροιών εξαρτάται από: (α) Τη μορφολογία του πυθμένα της θαλάσσιας λεκάνης που γειτνιάζει της θαλάσσιας περιοχής. Βαθύτεροι πυθμένες είναι λιγότερο πιθανό να επηρεαστούν από μεγάλες μετεωρολογικές παλίρροιας απ ότι οι αβαθείς (Εικ. 8). (β) Από το σχήμα και τη μορφολογία της ακτογραμμής. Ακτές με χαμηλή κλίση προς το εσωτερικό εμφανίζουν συχνότερα επεισόδια μετεωρολογικής παλίρροιας απ ότι αυτές με κλίση προς τα έξω, καθιστώντας τους κόλπους εξαιρετικά ευάλωτες περιοχές εκδήλωσης τέτοιων φαινομένων. Επίσης, η ύπαρξη νησιών προστασίας, κοραλλιογενών υφάλων, ή παράκτιας βλάστησης μειώνει την ένταση των μετεωρολογικών παλιρροιών. (γ) Από μετεωρολογικά

δεδομένα όπως η ταχύτητα πνοής του ανέμου και η ύπαρξη χαμηλής βαρομετρικής πίεσης που συντελούν στη δημιουργία τυφώνων.



Εικόνα 8. Παράκτια περιοχή κοντά σε αβαθή πυθμένα (αριστερά εικόνα) επηρεάζεται περισσότερο από τη μετεωρολογική παλίρροια, απ ότι περιοχή δίπλα σε βαθιά θάλασσα (δεξιά εικόνα)

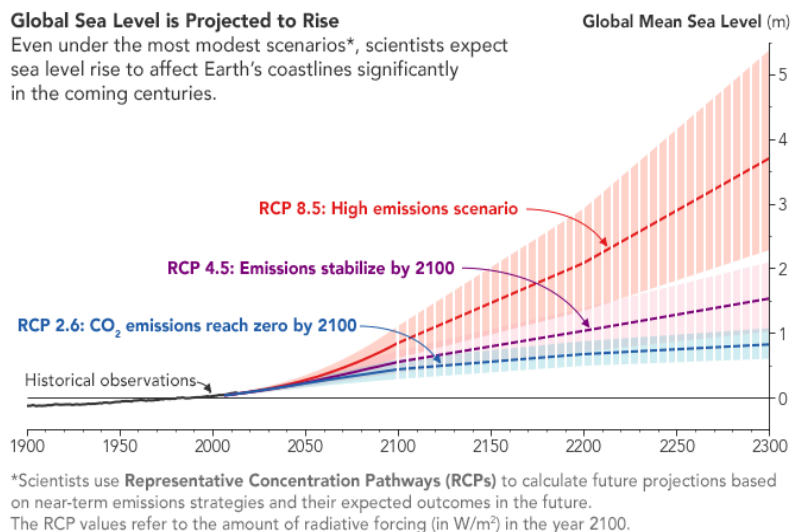
2.4 Προβλέψεις για την αύξηση της στάθμης θάλασσας και συνέπειες αυτής

Παρά την πολυπλοκότητα των μηχανισμών που ελέγχουν τη στάθμη θάλασσας, τις τελευταίες δεκαετίες έχει γίνει δραματική βελτίωση στην επιστημονική κατανόηση αυτών, καθώς και στις μετρήσεις της αλλαγής της στάθμης στο παρελθόν και επομένως και στις προβλέψεις των μελλοντικών αλλαγών σε αυτή. Η αυξανόμενη αυτή γνώση, έχει ωθήσει επιστημονικούς οργανισμούς όπως η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC) να εκδώσουν προβλέψεις σχετικά με την αύξηση στάθμης θάλασσας με αυξανόμενα επίπεδα εμπιστοσύνης.

Η μελλοντική αύξηση στη Μέση Παγκόσμια Στάθμη Θάλασσας, που προκαλείται κυρίως από τη θερμική διαστολή των ωκεανών και την τήξη των παγετώνων και στρωμάτων πάγου, είναι πολύ ισχυρά εξαρτώμενη από το ποιο αντιπροσωπευτικό μονοπάτι συγκέντρωσης (RCP) αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου θα ακολουθηθεί (Εικ. 9). Τα 4 RCP που έχουν προταθεί εκτείνονται από το RCP 8.5 έως το RCP 2.6 με ενδιάμεσα τα RCP 4.5 και RCP 6.0. Οι αριθμητικές τιμές αυτών αναφέρονται σε συγκεντρώσεις – στόχους για το έτος 2100.

Στην αναφορά του 2019, το IPCC προέβλεψε αύξηση της στάθμης θάλασσας εύρους 0.6-1.1μ έως το 2100 (ρυθμός αύξησης 15χλστ ανά έτος), εάν οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου παρέμεναν σε υψηλούς ρυθμούς (RCP8.5). Έως το 2300, οι ωκεανοί μπορεί να ανυψώσουν τη στάθμη τους έως και 5μ από τα σημερινά επίπεδα στάθμης θάλασσας, εάν ακολουθηθεί το χειρότερο σενάριο (RCP8.5). Εάν οι χώρες περιορίσουν σημαντικά τις εκπομπές τους σε αέρια του θερμοκηπίου

(RCP2.6), η αύξηση στη στάθμη θάλασσας που αναμένεται από το IPCC έχει εύρος από 0.3 έως 0.6 μ μέχρι το έτος 2100.



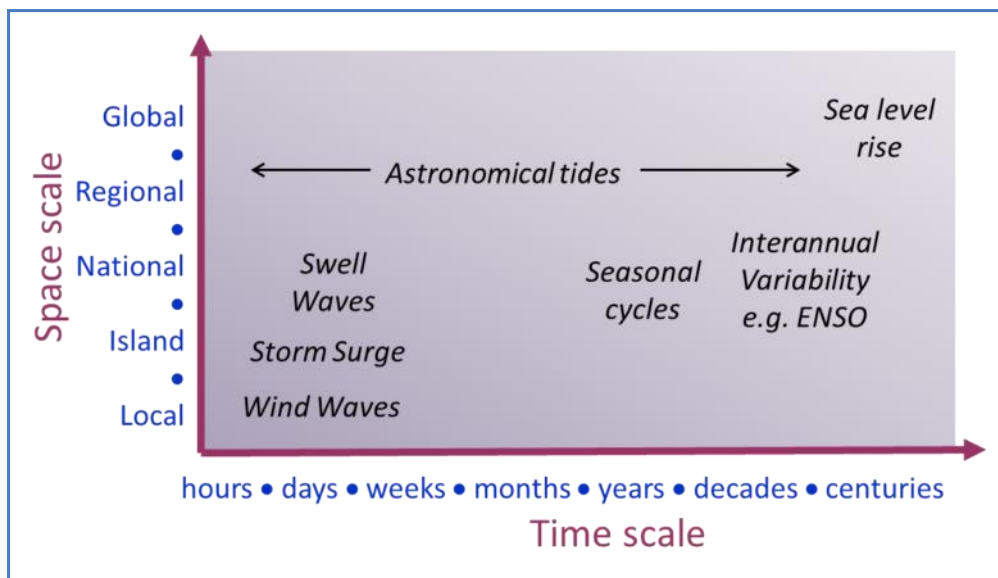
Εικόνα 9. Χρήση RCPs στην μελλοντική πρόβλεψη στάθμης θάλασσας.

Οι συνέπειες από ενδεχόμενη αύξηση της θαλάσσιας στάθμης μπορεί να επηρεάσει σημαντικά της παράκτιες και νησιωτικές περιοχές οι οποίες είναι πιο ευάλωτες. Το γεγονός αυτό δεν θα επηρεάσει μόνο το δομημένο περιβάλλον, αλλά και τα παράκτια οικοσυστήματα των υδροβιοτόπων. Σύμφωνα με την IPCC (2007) το 33% των υδροβιοτόπων μέχρι το 2080 θα μετατραπεί σε ανοιχτή θάλασσα. Χαμηλές παράκτιες πεδινές εκτάσεις θα πλημμυρίσουν ενώ έντονα θα είναι και τα διαβρωτικά φαινόμενα σε ακτές. Θα προκληθεί σοβαρή υποβάθμιση των παράκτιων αποθεμάτων νερού, λόγω της αυξημένης αλατότητάς του, ενώ σε ποτάμια και λίμνες η εισχώρηση των θαλάσσιων υδάτων θα οδηγήσει σε σοβαρές επιπτώσεις για το οικοσύστημα. Επίσης, η ενδεχόμενη ΑΣΘ ενέχει σημαντικές οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις. Τομείς όπως ο τουρισμός, η αλιεία και η γεωργία θα επηρεαστούν αρνητικά γεγονός που θα έχει σοβαρές επιπτώσεις στην παραγωγική βάση και στην οικονομία των περιοχών.

2.5 Ακραία στάθμη θάλασσας και επεισόδια πλημμύρας

Η αύξηση της παγκόσμια θερμοκρασίας αναμένεται να ωθήσει σε αύξηση τις ακραίες στάθμες θάλασσας (ESL-Extreme Sea Level) και τον κίνδυνο πλημμυρών κατά

μήκος των παγκόσμιων ακτογραμμών. Οι πιθανολογικές προβλέψεις ESL για τον αιώνα που διανύουμε λαμβάνουν υπόψη τις αλλαγές στη μέση στάθμη θάλασσας (MSL), τις παλίρροιες, τα ανεμογενή κύματα και τις κυματικές καταιγίδες. Μεταξύ των ετών 2000 και 2100 προβλέπεται μια πολύ πιθανή αύξηση ESL με μέσο όρο εκατονταετίας, μεταξύ 34-76 εκ. υπό ένα μέτριο σενάριο πολιτικής άμβλυνσης εκπομπών και μεταξύ 58-172 εκ. κάτω από ένα σενάριο συνηθισμένης επιχειρησιακής δραστηριότητας. Οι άνοδοι των ESL κυρίως επηρεάζονται από τη θερμική διαστολή των ωκεανών και ακολουθούν οι συνεισφορές της τήξης των παγετώνων και των καλυμμάτων πάγου της Ανταρκτικής και της Γροιλανδίας. Υπό αυτά τα σενάρια, μεγάλο μέρος των τροπικών, από το 2050 και μετά θα βρεθούν εκτεθειμένα κάθε χρόνο σε ακραίες στάθμες θάλασσας οι οποίες έως σήμερα είχαν περίοδο επαναφοράς 100 χρόνια. Μέχρι το τέλος του αιώνα, αυτό θα ισχύσει για τις περισσότερες παράκτιες περιοχές παγκοσμίως, με πρωτοφανή επίπεδα πλημμυρικού κινδύνου, εκτός και αν ληφθούν έγκαιρα μέτρα προσαρμογής (Vousdoukas, 2018). Ακραίες στάθμες θάλασσας συμβαίνουν σε διάφορες χωρο-χρονικές κλίμακες σε μια παράκτια τοποθεσία και έτσι η συνεισφορά κάθε φαινόμενου στη διαμόρφωση του επιπέδου ακραίας στάθμης ποικίλει (Εικ. 10).



Εικόνα 10. Χωρο χρονική συμβολή παραγόντων Ακραίας Στάθμης Θάλασσας (ESL).

Οι παράκτιες περιοχές απειλούνται όταν οι παλιρροιακοί κυματισμοί ($12h < T < 24h$) συμπίπτουν με ακραία καιρικά φαινόμενα οδηγώντας σε ακραίες στάθμες θάλασσας. Τα ακραία καιρικά φαινόμενα συμβάλλουν στην ESL μέσω των ανεμογενών κυμάτων (κύματα βαρύτητας $1 < T < 30sec$) και κυματικών καταιγίδων (κύματα υπο-βαρύτητας

(30sec<T<5min). Οι κυματικές καταιγίδες είναι μια επεισοδιακή αύξηση στη στάθμη θάλασσας που προέρχεται από μια ανεμογενή κυκλοφορία του νερού προς την ακτή και από την ατμοσφαιρική πίεση. Τα ανεμογενή κύματα, (ocean swells και κυματισμοί από τοπικά πνέοντες ανέμους) δημιουργούνται όταν η ενέργεια του ανέμου μεταφέρεται στον ωκεανό μέσω επιφανειακής τριβής, λόγω της διαφορετικής πυκνότητας του ατμοσφαιρικού αέρα και του νερού, και μετατρέπεται σε κυματική ενέργεια . Όταν τα κύματα συναντήσουν την ακτή, εξαιτίας της επίδρασης της ρήχωσης ο κυματισμός θραύεται και αυτά αλληλεπιδρούν με τη βαθυμετρία της περιοχής προσθέτοντας επιπλέον αύξηση στο επίπεδο του νερού μέσω της θραύσης του κύματος (wave set-up) και του φαινομένου της αναρρίχησης στην ακτή (wave run-up). Ακραίες στάθμες θάλασσας επιδεινώνονται από τους τροπικούς κυκλώνες.

2.5.1 Προβλέψεις Ακράιας Στάθμης Θάλασσας

Τα ακραία επίπεδα στάθμης θάλασσας έχουν αυξηθεί στις περισσότερες τοποθεσίες κατά μήκος της ευρωπαϊκής ακτογραμμής. Και οι παρατηρούμενες αλλά και οι προβλεπόμενες αυξήσεις μπορούν να εξηγηθούν κυρίως από την αύξηση της μέσης τοπικής στάθμης θάλασσας. Εντούτοις, οι ακραίες στάθμες μπορούν να αυξηθούν περαιτέρω από τις κυματικές καταιγίδες και τις αλλαγές στην παλίρροια ειδικά κατά μήκος της βόρειας ευρωπαϊκής ακτής. Απουσίας της καλύτερης προστασίας των ακτών, η πρόβλεψη της ανόδου της στάθμης θάλασσας για το 2100 θα αυξήσει κατά 10 έως 1000 φορές τη συχνότητα επεισοδίων ακραίων παράκτιων πλημμυρών στις παράκτιες ευρωπαϊκές ακτές, ανάλογα την τοποθεσία και τα σενάρια εκπομπών.

Οι αυξανόμενοι κίνδυνοι παράκτιων πλημμυρών απειλούν τα επιτεύγματα μια κλιματικά ανθεκτικής Ευρώπης σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή στρατηγική για προσαρμογή στη κλιματική αλλαγή. Ακραίες στάθμες θάλασσας μπορούν να παρατηρηθούν κατά τη διάρκεια καταιγίδων απουσίας επαρκών μέτρων προστασίας των ακτών. Μια αύξηση στάθμης κατά 10 εκ. χαρακτηριστικά αυξάνει κατά περίπου 3 φορές τη συχνότητα πλημμυράς σε ένα δεδομένο ύψος. Η ακραία στάθμη θάλασσας κατά μήκος των ακτογραμμών είναι αποτέλεσμα συνδυασμού παραγόντων συμπεριλαμβανομένων αυξήσεων στην τοπική στάθμη θάλασσας και επεισοδίων παλίρροιας, επεισοδίων κυματικής καταιγίδας, κυματισμούς και αλλαγές

στην παράκτια μορφολογία. Οι αλλαγές στη μέση στάθμη θάλασσας είναι ο κύριος παράγοντας παρατηρούμενων και προβλεπόμενων αλλαγών στα ακραία επίπεδα στάθμης θάλασσας στις Ευρωπαϊκές ακτές με τις αλλαγές στο κυματικό καθεστώς και σε αυτό των μετεωρολογικών πλημμυρών να παίζουν σημαντικό ρόλο. Οι κυματικές καταιγίδες αναμένονται να αυξηθούν στις ακτογραμμές του Βορείου Ατλαντικού, ενώ οι προβλέψεις είναι ανάμεικτες για τα βόρεια γεωγραφικά πλάτη κάτω των 50 μοιρών. Αξιοσημείωτες αυξήσεις στα μέγιστα ύψη της παλίρροιας προβλέπονται για το βόρειο μέρος της θάλασσας της Ιρλανδίας, το νότιο μέρος της Βόρειας Θάλασσας και για το Γερμανικό κόλπο, ενώ μειώσεις προβλέπονται στο δυτικό μέρος του καναλιού της Μάγχης.

Έως το 2100, ιστορικές (με συχνότητα 1 φορά ανά 100 χρόνια) παράκτιες πλημμύρες προβλέπονται να συμβούν τουλάχιστον μια φορά το χρόνο κατά μήκος των ακτών της Μεσογείου και της Μαύρης Θάλασσας και τουλάχιστον μια φορά κάθε δεκαετία κατά μήκος σχεδόν όλων των υπόλοιπων Ευρωπαϊκών ακτών, ακόμη και υπό το σενάριο χαμηλών εκπομπών. Σύμφωνα με το σενάριο υψηλών εκπομπών, όλες οι Ευρωπαϊκές ακτές πρόκειται να υποστούν μια ιστορική πλημμύρα με συχνότητα τουλάχιστον μια φορά το χρόνο (Environmental Protection Agency).

2.6 Επιπτώσεις μεταβολής στάθμης θάλασσας στον ελλαδικό χώρο

Στην Ελλάδα δεν έχει πραγματοποιηθεί ακόμη συστηματική μελέτη σχετικά με τις μακροχρόνιες τάσεις αλλαγής της στάθμης θάλασσας. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι μετρήσεις της στάθμης θάλασσας άρχισαν πρακτικά μετά το 1970, με τις πιο αξιόπιστες να ξεκινούν μετά το 1985 (Υπ. Περ/ντος, 2006).

Στη Μεσόγειο θάλασσα μια μετατόπιση στη στάθμη της, έγινε αντιληπτή από διάφορους σταθμούς μέτρησης παλιρροιακής στάθμης. Αυτή αφορούσε μια ανοδική τάση με ρυθμό 1.2-1.5 χλστ/έτος πριν από το 1960 και μια καθοδική μετέπειτα με ρυθμό -1.3 χλστ/έτος (Tsimplis and Baker, 2000) . Πρόσφατα δεδομένα υποδεικνύουν μια ακόμη τάση αναστροφής το 1995, με μια απότομη αύξηση στάθμης θάλασσας έως και 20 χλστ/έτος στην ανατολική Μεσόγειο, όπως παρατηρήθηκε από μετρήσεις πεδίου και από δορυφορική αλτιμετρία (Tsimplis and Rixen, 2002). Ο ρυθμός ανόδου της στάθμης θάλασσας στο Αιγαίο που

υπολογίστηκε στο τέλος του 1990, έχει την υψηλότερη τιμή των τελευταίων 30-40 χρόνων και συνδέεται με τη συνεχόμενη αύξηση στη θερμοκρασία της επιφάνειας θάλασσας του ανατολικού μέρους της λεκάνης της Μεσογείου (0.12 °C/έτος) (Cazenave, 2001). Η μέση στάθμη θάλασσας στη Μεσόγειο και δια της επαγωγικής λογικής και στο Αιγαίο, αναμένεται να ανέλθει με ρυθμό 5 εκ. ανά δεκαετία φτάνοντας τα 50 εκ. ολικής αύξησης στάθμης θάλασσας μέχρι το 2100 με εύρος αβεβαιότητας 20-86 εκ. (IPCC, 2013).

Η άνοδος της στάθμης θάλασσας είναι μέγιστης σημασίας για τους πληθυσμούς που ζουν σε χαμηλές παράκτιες περιοχές (περίπου το 25% του παγκόσμιου πληθυσμού), διότι αυξάνει τον κίνδυνο πλημμυρών, οδηγεί στην απώλεια υγροτόπων, διαβρώνει την ακτογραμμή, εισχωρεί στους υδροφορείς υφαλμυρώνοντας τους. Οι Μεσογειακοί παράκτιοι υγρότοποι, επομένως και της Ελλάδας, αναμένεται να πληγούν ιδιαίτερα από τις αλλαγές στη στάθμη θάλασσας. Έχει υπολογιστεί ότι άνοδος 1 μ θα έπληττε τους μισούς από τους παγκόσμιους παράκτιους υγροτόπους με διεθνή σημασία (σύμφωνα με τη συνθήκη Ramsar).

Επιπλέον σε πολλές παράκτιες περιοχές, οι επιδράσεις της αύξησης της στάθμης θάλασσας δρουν συνδυαστικά με άλλους ανθρωπογενείς ή φυσικούς παράγοντες όπως τον ελαττωμένο ρυθμό ποτάμιας ιζηματοπαθόθεσης στις δελταικές περιοχές, την υποχώρηση του εδάφους λόγω τεκτονικής δραστηριότητας, την άντληση υπόγειου νερού και την εξαγωγή υδρογονανθράκων.

Η χώρα μας περιβάλλεται από πολύ μεγάλο μήκος ακτών (15.147 χλμ) και βρίσκεται στην 9^η θέση στον κατάλογο χωρών κατά μήκος ακτογραμμής καθώς έχει πλήθος νησιών που υπολογίζεται στα 2.500 με τα 165 έως 227 να είναι κατοικήσιμα. Η χερσαία έκτασή της είναι 130.800 χλμ² ενώ ο λόγος ακτογραμμής προς ολικό εμβαδό χώρας είναι 113,761μ/χλμ². Το έδαφος της Ελλάδας είναι κατά κύριο λόγο ορεινό ή λοφώδες ενώ μεγάλο μέρος του είναι ξηρό και βραχώδες, με μόνο το 20,45% του εδάφους να είναι καλλιεργήσιμο. Συμπεραίνει λοιπόν κάποιος ότι το πεδινό και αξιοποιήσιμο μέρος της Χώρας θα βρίσκεται ή θα γειτνιάζει με παράκτιο χώρο. Το 33% του ελληνικού πληθυσμού κατοικεί σε παράκτιες περιοχές που απέχουν 1-2 χλμ. από την ακτή, ενώ, εάν ως παράκτιος πληθυσμός θεωρηθεί αυτός που κατοικεί σε απόσταση έως και 50 χλμ. από την ακτή, τότε το ποσοστό του παράκτιου πληθυσμού εκτιμάται στο 85% του συνολικού. Από τα παραπάνω

συμπεραίνεται ότι η άνοδος της μέσης στάθμης θάλασσας στην Ελλάδα, θα επηρεάσει την κατάσταση του μεγαλύτερου μέρους της χώρας.

2.6.1 Μεταβολή στάθμης θάλασσας στο Αιγαίο

Η κύρια φάση της απότομης αύξησης της στάθμης θάλασσας στην περιοχή του κεντρικού Αιγαίου ολοκληρώθηκε πριν το 5500 π.Χ. με τη θαλάσσια στάθμη να είναι 4-5 μ κάτω από την τωρινή της. Στη συνέχεια, η θαλάσσια στάθμη συνέχισε να αυξάνει με ρυθμό 0.9 χιλιοστά ανά έτος προς το σημερινό της επίπεδο χωρίς όμως ποτέ να το υπερβεί. Εξαιτίας της τεκτονικής σταθερότητας του Αττικό-Κυκλαδικού όγκου (στο κεντρικό Αιγαίο πέλαγος), η αύξηση του επιπέδου της θάλασσας αποδίδεται σε ευστατικούς παράγοντες, με κυρίαρχο αυτό της θερμικής διαστολής και αμέσως επόμενο την τήξη των παγετώνων και των πάγων. Επομένως, η τρέχουσα μεταβατική φάση αυτή της μεταπαγετώδους περιόδου δεν έχει ακόμη ολοκληρωθεί. Οι εκτιμήσεις αύξησης της στάθμης θάλασσας στο Αιγαίο έως το 2100, σύμφωνα με την Αττικοκυκλαδική καμπύλη, υποθέτοντας σταθερό ρυθμό αύξησης, είναι περίπου 9 εκ. πολύ χαμηλότερο από το δυσοίωνο σενάριο πρόβλεψης από το IPCC των 49 εκ. Οποιαδήποτε υπέρβαση στην πρόβλεψη της αύξησης των 9 εκ. τις επόμενες δεκαετίες, θα αποδοθεί στην Παγκόσμια Κλιματική Αλλαγή λόγω ανθρωπογενών δραστηριοτήτων (Roulos et al., 2009)

2.7 ΠΑΡΑΚΤΙΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ

2.7.1 Εισαγωγή

Οι παράκτιες περιοχές αποτελούσαν ανέκαθεν πόλο έλξης για τους ανθρώπους. Η διαχρονική αξία των περιοχών αυτών οφείλεται στο γεγονός ότι παρέχουν εύφορα εδάφη μέσα σε παράκτιες πεδιάδες αλλά και άφθονους θαλάσσιους πόρους προς εκμετάλλευση και άμεση διοχέτευση στις διεθνείς αγορές.

Η παράκτια ζώνη αποτελεί περιοχή έντονου ενδιαφέροντος τόσο για τα μοναδικά φυσικά χαρακτηριστικά της, όσο και για την πληθώρα των πόρων που προσφέρει σε περισσότερο από το 40% του παγκόσμιου πληθυσμού. Φιλοξενεί πλήθος τουριστικών επιχειρήσεων και δραστηριοτήτων καθιστώντας έτσι την τουριστική

βιομηχανία έναν από τους σημαντικότερους κλάδους της οικονομίας σε τοπικό αλλά και εθνικό επίπεδο. Επηρεάζεται άμεσα και από παράγοντες της κλιματικής αλλαγής (άνοδος θαλάσσιας στάθμης, αυξημένη συχνότητα και μέγεθος καταιγίδων και κυμάτων) καθώς και από ανθρωπογενείς (χρήσεις γης, αύξηση πληθυσμού, διαχείριση υδάτων, υποβάθμιση). Η κ συνεχής άνοδος της θαλάσσιας στάθμης, ως απόρροια της κλιματικής αλλαγής εντείνει την διάβρωση των ακτών και τις παράκτιες πλημμύρες, με αποτέλεσμα σημαντικές περιβαλλοντικές μεταβολές, καθώς και σημαντικές οικονομικές απώλειες στον τοπικό πληθυσμό και τον τουρισμό.

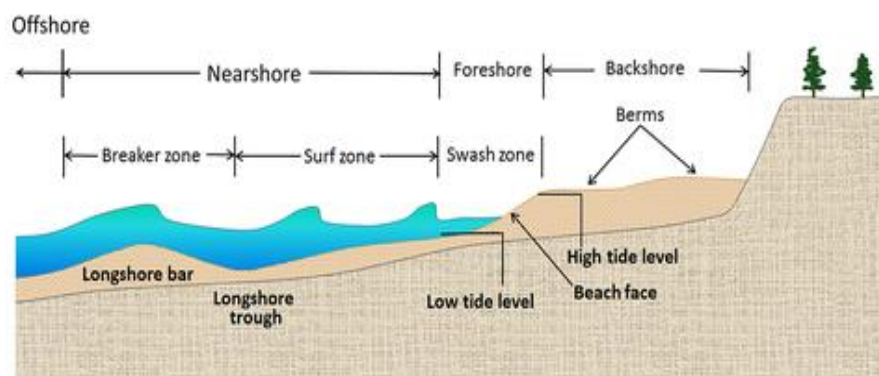
2.7.2 Παράκτια ζώνη-γεωμορφολογία-ορισμοί

Υπάρχουν πάρα πολλοί ορισμοί για την παράκτια ζώνη. Είναι και αυτό μια ένδειξη για την πολυπλοκότητα που χαρακτηρίζει αυτή τη στενή λωρίδα γης και θάλασσας αλλά γενικώς όλοι συγκλίνουν στο ότι η παράκτια ζώνη περιλαμβάνει, όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό, θαλάσσια και χερσαία τμήματα, τα οποία εκτείνονται εκατέρωθεν μέχρι το σημείο στο οποίο μηδενίζονται ή ελαχιστοποιούνται οι επιδράσεις από φυσικές διεργασίες και ανθρωπίνες παρεμβάσεις. Η παράκτια ζώνη είναι το πεδίο αλληλεπιδράσεως μεταξύ της υδρόσφαιρας, της λιθόσφαιρας, της βιόσφαιρας και της ατμόσφαιρας. Χαρακτηριστικό είναι ότι στο χερσαίο τμήμα μπορεί να περιλαμβάνεται ολόκληρη λεκάνη απορροής επιφανειακών υδάτων, ενώ αντίστοιχα στο θαλάσσιο ολόκληρη η υφαλοκρηπίδα (μέχρι το βάθος των 200 m). Η παράκτια ζώνη είναι η επιφάνεια επί της οποίας συναντούνται και αλληλεπιδρούν η γη με τη θάλασσα. Περιλαμβάνει όλα τα χερσαία αλλά και τα θαλάσσια παράκτια φυσικά συστήματα. Τα όρια της παράκτιας ζώνης καθορίζονται τυχαία και διαφέρουν πολύ από κράτος σε κράτος. Πολλές φορές καθορίζονται από διοικητικά και πολιτικά κριτήρια.

Ένας γενικός ορισμός για την Παράκτια Ζώνη είναι αυτός που χρησιμοποιεί ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος αναφερόμενος σε αυτή ως το κομμάτι της ξηράς που επηρεάζεται από την εγγύτητά του με τη θάλασσα και το κομμάτι της θάλασσας που επηρεάζεται από την εγγύτητά του με την ξηρά, μέχρι το σημείο όπου οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες έχουν μετρήσιμες επιδράσεις στη χημεία του νερού και στη θαλάσσια οικολογία. (US Commission on Marine Science, Engineering and Resources, 1969).

Ως **ακτή** (coast) εννοούμε την περιοχή όπου η χέρσος έρχεται σε επαφή με την θάλασσα χωρίς υποχρεωτικά να υπάρχει παραλία. Η ακτογραμμή (coastline ή shoreline) αντιπροσωπεύει την γραμμή επαφής στεριάς – θάλασσας.

Ως **παραλία** (shore ή beach) εννοούμε μια ζώνη με γενικά ομαλή επιφάνεια από ασύνδετα υλικά, χαλαρά ιζήματα, όπως, άμμοι, κροκάλες, λατύπες, και που εκτείνεται χωρικά το βάθος όπου είναι δυνατή η μετακίνηση των ιζημάτων του πυθμένα από υδροδυναμικά αίτια και ορίζεται δυναμικά και κατά περίπτωση από το βάθος κινητικότητας του ιζήματος (closure depth). Είναι προφανές ότι το όριο αυτό βρίσκεται περὰ από τη ζώνη θραύσης των μεγαλύτερων σε ύψος προσερχόμενων κυμάτων. Προς τη χέρσο εκτείνεται μέχρι κάποιο χαρακτηριστικό φυσιογραφικό σημείο, που μπορεί να είναι ένα πεδίο παράκτιων θινών, μια ζώνη έντονης βλάστησης. Διακρίνεται σε δύο κύρια μέρη: (1) το θαλάσσιο και (2) το χερσαίο (Εικ.11).



Εικόνα 11. Διάδοση κυματισμών σε ένα εγκάρσιο παραλιακό προφίλ (από coastal wiki).

1. Το **θαλάσσιο τμήμα** αποτελείται από ένα τμήμα που καλύπτεται περιοδικά από την θάλασσα (foreshore), είτε λόγω του κυματισμού, είτε λόγω της παλίρροιας, συμπεριλαμβάνοντας και το μέτωπο της παραλίας (beach-face), από την περιοχή κοντά στην ακτή (Nearshore zone) που εκτείνεται από την ακτογραμμή προς την ανοικτή θάλασσα μέχρι και την ζώνη θραύσης και από την περιοχή της ανοικτής θάλασσας (offshore), που είναι η σχετικά ομαλή περιοχή και αρχίζει από τη ζώνη θραύσεως των κυμάτων (Breaking zone) και εκτείνεται προς τα ανοικτά μέχρι το άκρο της υφαλοκρηπίδας. Το τμήμα της παραλίας κοντά στην ακτή χωρίζεται στις ζώνες: α. **Ζώνη διαβροχής** (swash zone) που είναι το τμήμα της παράκτιας ζώνης που περιοδικά καλύπτεται και αποκαλύπτεται από τη θάλασσα. β. **Ζώνη**

κυματωγής (surf zone) που είναι το τμήμα της παράκτιας ζώνης που διαδίδονται τα κύματα με τη μορφή μικρών αναδιπλώσεων του κύματος μετά το “σπάσιμο” και εκτείνεται μέχρι το σημείο που αρχίζει πλέον η ανάπτυξη της ζώνης παφλασμού.

γ. **Ζώνη “θραύσης”** του κύματος (breaking zone). Πρόκειται για το τμήμα κοντά στην ακτή, όπου τα κύματα που φτάνουν από την ανοικτή θάλασσα φτάνουν στο οριακό σημείο και από εκείνο το σημείο και μετά αρχίζουν και “σπάνε”.

2. **Το χερσαίο τμήμα** (backshore) της παραλίας, που εκτείνεται από το ανώτερο σημείο της στάθμης της θάλασσας μέχρι εκείνου του βάθους που αλλάζει σημαντικά η μορφολογία της χέρσου. Το τμήμα αυτό της παραλίας μπορεί σποραδικά να βρέχεται από τα κύματα, σε περιόδους έντονων καταιγίδων.

2.7.3 Σημασία της παράκτιας ζώνης

Η παράκτια ζώνη είναι η ζώνη στην οποία είναι εγκατεστημένες οι περισσότερες υποδομές και ανθρώπινες δραστηριότητες που σχετίζονται με τη θάλασσα. Συμφωνά με εκτιμήσεις το 50% περίπου του παγκόσμιου πληθυσμού κατοικεί εκεί, αριθμός που αυξάνεται με ταχείς ρυθμούς λόγω των πλεονεκτημάτων που προσφέρει (Shi, 2001). Περίπου 200 εκ. ευρωπαϊκού πληθυσμού(680 εκ. συνολικά) ζουν σε μια ζώνη 50 χλμ απόστασης από τα παράκτια ύδατα. Το κατώτερο μέρος της παράκτιας ζώνης παίζει το σημαντικότερο ρόλο καθώς είναι ο χώρος οικιστικής και τουριστικής ανάπτυξης.

Από οικολογικής πλευράς, ως γεωγραφικός χώρος αλληλεπίδρασης μεταξύ των χερσαίων και θαλάσσιων οικοσυστημάτων θεωρείται μεγάλης σημασίας για την επιβίωση μεγάλης ποικιλίας φυτών, ζώων και θαλάσσιων ειδών. Συγκεκριμένα στην έκτασή της συναντώνται μεγάλης ποικιλομορφίας χερσαία και θαλάσσια οικοσυστήματα, όπως δέλτα ποταμών, έλη, λιμνοθάλασσες, αμμώδεις και βραχώδεις παραλίες, ύφαλοι, κ.ά., που αποτελούν περιοχές αναπαραγωγής και διαβίωσης πολλών ειδών χλωρίδας και πανίδας.

Εντούτοις, σε πολλές περιπτώσεις, έχει πραγματοποιηθεί υπερεκμετάλλευση της παράκτιας ζώνης οδηγώντας σε υποβάθμιση του φυσικού περιβάλλοντος της περιοχής. Το γεγονός αυτό με τη σειρά του, οδήγησε ανάπτυξη πολιτικών για την διόρθωση ή τη μείωση των προκληθέντων καταστροφών (European Environmental Agency, 2020).

2.7.4 Περιβαλλοντικές πιέσεις των παράκτιων περιοχών

Είναι ευρέως γνωστό πως οι παράκτιες περιοχές αποτελούν περιοχές όπου αναπτύσσονται διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες, οι οποίες συμβάλουν στην ανάπτυξη των οικονομιών των αντίστοιχων ενδοχωρών. Ωστόσο, η ανάπτυξη αυτή στον παράκτιο χώρο (λόγω του ευαίσθητου χαρακτήρα των παράκτιων ζωνών) μπορεί να προκαλέσει δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες τόσο στα εύθραυστα και ευαίσθητα οικοσυστήματα όσο και στην αλλοίωση των παράκτιων τοπίων.

Ως ένα πολύπλοκο, δυναμικό φυσικό σύστημα, η παράκτια ζώνη υπόκειται στις δυνάμεις των υδάτινων ρευμάτων, των ροών των προσχωματικών υλικών και των συχνών καταιγίδων και είναι επίσης ιδιαίτερα ευάλωτη στις άτοπες ή και υπερβολικές ανθρώπινες επεμβάσεις. Το βασικό βιοφυσικό πρόβλημα στις παράκτιες ζώνες συνίσταται στο γεγονός ότι η ανάπτυξη δεν περιορίζεται εντός των ορίων της τοπικής περιβαλλοντικής φέρουσας ικανότητας. Οι συνηθέστερες εκφάνσεις αυτού του προβλήματος είναι:

- Η εκτεταμένη παράκτια διάβρωση λόγω κλιματικής αλλαγής, που συχνά επιδεινώνεται από ακατάλληλη ανθρώπινη υποδομή καθώς τα τεχνικά έργα σε ορισμένες περιοχές λιμένων συνέβαλλαν στην ταχύτερη διάβρωση της παρακείμενης ακτογραμμής επειδή δεν έλαβαν επαρκώς υπόψη τους τη δυναμική και τις διεργασίες της παράκτιας ζώνης.
- μόλυνση των χερσαίων και των υδάτινων πόρων ως αποτέλεσμα της διάχυσης της ρύπανσης από θαλάσσιες ή χερσαίες πηγές, συμπεριλαμβανομένων των χώρων υγειονομικής ταφής και των βιολογικών καθαρισμών προς την ακτογραμμή
- Η διείσδυση αλμυρών υδάτων από την υπερεκμετάλλευση των παράκτιων υδροφόρων οριζόντων αποτελεί κύριο πρόβλημα σε πολλές περιοχές της λεκάνης της Μεσογείου. Η ζημία στον υδροφόρο ορίζοντα έχει συνήθως ως αποτέλεσμα τη μόνιμη μείωση των διαθέσιμων υδάτινων πόρων.

2.8. Διάβρωση παράκτιων περιοχών

2.8.1 Ορισμός-αίτια-μηχανισμοί διάβρωσης

Οι παράκτιες ζώνες δημιουργήθηκαν, αναδύθηκαν ή καταδύθηκαν με το πέρασμα των γεωλογικών χρόνων, ως αποτέλεσμα των μετακινήσεων του στερεού φλοιού της γης σε συνδυασμό με την άνοδο ή κάθοδο της θαλάσσιας στάθμης. Παράλληλα, διάφορα φαινόμενα βραδείας φυσικής εξέλιξης ή ταχείας δράσης συνετέλεσαν και εξακολουθούν να συντείνουν στον σχηματισμό και την διαμόρφωση της ακτογραμμής. Η διαμόρφωση αυτή βρίσκεται σε μια συγκεκριμένη κατάσταση δυναμικής ισορροπίας, η οποία είναι ευαίσθητη και ιδιαίτερος εύθραυστη. Για τον λόγο αυτό, η παράκτια ζώνη μεταβάλλεται συνεχώς με το πέρασμα του χρόνου (Κοκκώσης, 2006).

Η παράκτια διάβρωση είναι μια φυσική διαδικασία που αποτελεί μια έκφραση της παράκτιας δυναμικής. Ορίζεται ως η σταδιακή οπισθοχώρηση της ακτογραμμής υπό την επήρεια της θάλασσας, του αέρα, του πάγου αλλά και της ανθρώπινης δραστηριότητας, σε ικανοποιητικό χρονικό ορίζοντα ώστε η μέτρηση να μην επηρεάζεται από τις επιδράσεις του καιρού, τις κυματικές καταιγίδες και την τοπική δυναμική των ιζημάτων. Καθορίζεται ως το αρνητικό ισοζύγιο μεταξύ της επίδρασης των διεργασιών απόθεσης - διάβρωσης και συνοδεύεται πάντα από απώλεια εδαφικής έκτασης (Eurosion, 2004).

Η διαδικασία της παράκτιας διάβρωσης και πρόσχωσης (αντίθετη διαδικασία) είναι φαινόμενα που υπήρχαν ανέκαθεν και έχουν συμβάλλει ιστορικά στη διαμόρφωση των παράκτιων τοπίων, δημιουργώντας ακτές με μεγάλη ποικιλομορφία. Σε συνδυασμό με την ποτάμια δράση στερεομεταφοράς, συμβάλει στην ανακατανομή των ιζημάτων κατά μήκος των παράκτιων περιοχών συμβάλλοντας στη δημιουργία των ακτών (παραθαλάσσια ζώνη της ξηράς).

Παρόλο που η παράκτια διάβρωση υπήρξε πάντα ένα φυσικό φαινόμενο, η αστικοποίηση της ακτής της έδωσε αρνητική χροιά θεωρώντας τη πλέον ως ένα πρόβλημα με αυξανόμενη ένταση.

Τα φαινόμενα διάβρωσης μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες: βραχυπρόθεσμη διάβρωση, αναστρέψιμου τύπου, που γενικά οφείλεται σε ακραία φαινόμενα (μετεωρολογικές παλίρροιες) και μακροχρόνια διάβρωση συνήθως κυρίως λόγω ανόδου της μέσης (και σχετικής) θαλάσσιας στάθμης ή/και λόγω αρνητικών παράκτιων ιζηματικών ισοζυγίων (Nicholls, R.J et al. , 2007)

Η παράκτια και η εγκάρσια μεταφορά φερτών υλών σε μικρό πλάτος της παράκτιας θαλάσσιας ζώνης έχουν ιδιαίτερη σημασία και σοβαρά μορφολογικά επακόλουθα για τις ακτές.

Σε μια ακτή, η οποία εξελίσσεται μορφοδυναμικά λόγω στερεομεταφορών είναι δυνατόν να περιέχονται πολλές πηγές (sources) και πολλές παγίδες (sinks) φερτών υλών. Οι κυριότερες πηγές και παγίδες φερτών υλών οι οποίες είναι και αιτίες πρόσχωσης ή διάβρωσης αντίστοιχα είναι οι παρακάτω:

Πηγές πρόσχωσης

- Τα υδατορεύματα αποτελούν την κυριότερη πηγή φερτών, καθώς μεταφέρουν σημαντικές ποσότητες φερτών υλών ετησίως. Η μεταφορική ικανότητα αυτών ενισχύεται από τα έντονα φαινόμενα βροχοπτώσεων, οι οποίες προκαλούν τη διάβρωση των χερσαίων εδαφών, παρέχοντας σημαντικές ποσότητες χερσαίων ιζημάτων προς την ακτή (Κουτίτας,1998). Ένα μεγάλο μέρος των ιζημάτων αυτών είναι αργιλώδες και ιλυώδες, ενώ ένα ποσοστό είναι άμμος. Τα πλέον χονδρόκοκκα παραμένουν στις ακτές, ενώ τα υπόλοιπα καθιζάνουν σε μεγαλύτερα βάθη
- Η διάβρωση απότομων γαιωδών πρανών σε ακτές, κάτω από τη δράση της βροχής και τους χειμερινούς κυματισμούς, έχει σαν αποτέλεσμα τον εμπλουτισμό τους με χερσογενή ιζήματα.
- Η μεταφορά κόκκων από τους ανέμους, η βιογενής απόθεση από κελύφη νεκρών θαλάσσιων οργανισμών (κοράλλια τροπικών θαλασσών), και η τεχνητή τροφοδοσία ακτών είναι συμπληρωματικές πηγές φερτών υλών.
- Η τεχνητή τροφοδότηση των ακτών, δηλαδή η τεχνητή επαναπλήρωση των φερτών με υλικό που μεταφέρεται από βαθύτερα, από άλλες ακτές ή ακόμα και από δανειοθαλάμους στην ξηρά. Η τεχνητή τροφοδότηση αποτελεί μια μέθοδο αντιμετώπισης της διάβρωσης των ακτών.

Παγίδες φερτών υλών – αίτια διάβρωσης

- Τα υφαλοπρανή και τα υποβρύχια φαράγγια, στα οποία παγιδεύονται, οδηγούμενα προς τα ανοιχτά, μεγάλες ποσότητες φερτών υλών.
- Εγκάρσια στερεομεταφορά από τους χειμερινούς κυματισμούς που μεταφέρουν τα ιζήματα προς τα ανοιχτά. Εάν αυτά μεταφερθούν σε μεγάλα βάθη, οι θερινοί κυματισμοί μπορεί να μην είναι ικανοί να τα επαναναποθέσουν στην ακτή.
- Προσχώσεις στα σημεία καμπίης των ακτών, όπου μεταφέρονται και εναποτίθενται φερτά. Συχνά τα φερτά αυτά δεν μπορούν να επιστρέψουν πίσω στην ακτή, λόγω της μη ύπαρξης κατάλληλων κυματικών συνθηκών.

- Τα παράκτια τεχνικά έργα, τα οποία προβάλλουν μέσα στη ζώνη θραύσης της κυρίαρχης στερεομεταφοράς, με αποτέλεσμα την κατακράτηση μέρους των κατά μήκος της ακτής κινούμενων μαζών ιζημάτων.

- Διακοπή ή ελάττωση της ποσότητας των χερσογενών ιζημάτων που τροφοδοτούν τις ακτές. Η κατασκευή φραγμάτων, η οικιστική δόμηση, η κατασκευή δρόμων, οι αγροτικές καλλιέργειες συγκρατούν το χερσογενές ίζημα που προέρχεται από τις διαβρώσεις των εδαφών της ενδοχώρας και μεταφέρεται στις ακτές μέσω των ποταμών και των χειμάρρων. Έτσι εμποδίζεται η φυσική τροφοδότησή των ακτών, με αποτέλεσμα τη διάβρωσή τους.

- Θαλάσσιοι τοίχοι προστασίας της ακτής. Η κατασκευή των θαλάσσιων τοίχων οδηγεί κατά κανόνα στη διάβρωση των ακτών γιατί συνοδεύεται γενικά από μείωση του εύρους της ακτής, με συνέπεια τη μείωση του πλάτους της ζώνης θραύσης και αναρρίχησης. Το γεγονός αυτό αποτρέπει την απώλεια σημαντικής κυματικής ενέργειας στη διεργασία της θραύσης. Κατόπιν όμως ένα μεγάλο μέρος της ανακλάται από τον τοίχο, παρασέρνοντας προς τα ανοιχτά το ίζημα οδηγώντας σε περαιτέρω διάβρωση.

- Εξόρυξη άμμου για διάφορες χρήσεις.

Η διάβρωση των παράκτιων περιοχών είναι συνήθως αποτέλεσμα συνδυασμού παραγόντων, τόσο φυσικών όσο και ανθρωπογενών, που λειτουργούν σε διαφορετικές κλίμακες. Τα αίτια της παράκτιας διάβρωσης διακρίνονται σε φυσικά και ανθρωπογενή.

Οι πιο σημαντικοί **φυσικοί παράγοντες** είναι οι άνεμοι και οι καταιγίδες ως γενεσιουργά αίτια των κυματισμών και των ρευμάτων κοντά στην ακτή, οι κατακόρυφες κινήσεις της στεριάς (ισοστατικές, τεκτονικές), η σχετική άνοδος της στάθμης θάλασσας και η κλίση του εδάφους. Οι **ανθρωπογενείς παράγοντες** της παράκτιας διάβρωσης περιλαμβάνουν τις παράκτιες κατασκευές που σχετίζονται με την οικιστική και τουριστική ανάπτυξη, τις αμμοληψίες από παραλίες και ποτάμια, τις διευθετήσεις κοιτών ποταμών (ιδιαίτερα η κατασκευή φραγμάτων), οι βυθοκορήσεις, οι επιδράσεις στην παράκτια βλάστηση, οι εξορύξεις ύδατος όλες τις δραστηριότητες που αναπτύσσονται στο παράκτιο περιβάλλον καθώς και τα τεχνικά έργα που εκτελούνται στην περιοχή αυτή. (Eurosion, 2004).

Στη διαμόρφωση των παράκτιων τοπίων συνέβαλαν οι διαδικασίες διάβρωσης των ακτών και της πρόσχωσης στη διάρκεια των ετών, γεγονός που είχε ως συνέπεια τη δημιουργία μιας μεγάλης ποικιλίας παράκτιων τύπων. Οι μηχανισμοί πρόσχωσης και

διάβρωσης, μπορούν επίσης να διακριθούν σε δυο ομάδες. Στους μηχανισμούς διοχέτευσης ή τροφοδοσίας φερτών υλικών και στους μηχανισμούς διευθέτησης αυτών (Καρύμπαλης, 2010) (Εικ. 12).

Ο μηχανισμός τροφοδοσίας των ακτών με φερτές ύλες εξαρτάται από το γεωλογικό υπόστρωμα της ευρύτερης περιοχής, από τη γεωμορφολογία, από το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής και τη μεταφορική ικανότητα αυτού, το μικροκλίμα της περιοχής και τη φυτοκάλυψη. Ο πιο σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει το υδρογραφικό δίκτυο είναι οι βροχοπτώσεις.

Ο μηχανισμός διευθέτησης των φερτών υλών, σε αντιπαράθεση με το μηχανισμό τροφοδοσίας, εξαρτάται κατά κύριο λόγο από το ανεμολογικό-κυματικό καθεστώς της περιοχής, Έντονο ανεμολογικό καθεστώς δημιουργεί έντονη διαταραχή της διεπιφάνειας αέρα-θάλασσας, έχοντας ως συνέπεια να δημιουργούνται έντονοι κυματισμοί, οι οποίοι αποτελούν έναν από τους κύριους παράγοντες αποσταθεροποίησης των κόκκων των φερτών υλικών και μεταφοράς τους σε μεγάλες οριζόντιες αποστάσεις λόγω των θαλάσσιων ρευμάτων (Κουτίτας 1996).

Κατανοούμε λοιπόν, ότι η γεωλογία της παράκτιας περιοχής (συνεκτικότητα και είδος, οι επικρατούσες κλιματικές συνθήκες(ένταση και συχνότητα ανέμων και βροχοπτώσεων), το βάθος και η κλίση του πυθμένα, οι κυματικές συνθήκες της περιοχής (ένταση και ύψος κύματος), ο τοπικός τεκτονισμός και η παρουσία τεχνικών έργων προστασίας είναι τοπικοί παράγοντες που καθορίζουν το βαθμό της διάβρωσής της, (Σιάφακας, 2003).

2.8.2 Παράκτια ιζήματα

Οι τύποι των ακτών κατηγοριοποιούνται σύμφωνα με το μείγμα χαλικιών και άμμου που περιέχουν, το οποίο επηρεάζει σημαντικά την κλίση της παραλίας και γενικότερα τη μορφολογική απόκρισή της στη δράση του κύματος. Οι τέσσερις κατηγορίες που έχουν ορισθεί είναι α) χαλικώδης (GRAVEL), β) αναμεμειγμένη άμμος και χαλίκια (Mixed Sand Gravel), γ) σύνθετη άμμος και χαλίκια (Composite Sand Gravel) και δ) άμμος(Sand).



Εικόνα 12. Σχηματική απεικόνιση των συνιστωσών που διαμορφώνουν το ισοζύγιο των ιζημάτων στην παράκτια ζώνη.

Τα χαρακτηριστικά μιας χαλικώδους ακτής διαφέρουν πολύ από αυτά μιας αμμώδους. Τα χαλίκια μπορούν υποστηρίξουν μια απότομη κλίση με τάση να σχηματίζουν ένα ανάχωμα και μια βαθμίδα στη ζώνη θραύσης κύματος. Παρά το μεγάλο μέγεθος των κόκκων του ιζήματος, αυτοί μπορούν να μετακινηθούν δημιουργώντας κάθετες αλλαγές στο προφίλ της παραλίας πάνω από 0.5 υπό την επίδραση μετρίων έως μεγάλων κυματισμών μέσα σε ένα μόλις παλιρροιακό κύκλο.

Οι ακτές και ο πυθμένας των θαλασσών μπορούν να χωριστούν γεωλογικά σε βραχώδεις και αμμώδεις/γαιώδεις. Οι μεν βραχώδεις ακτές είναι σχετικά σταθερές μορφολογικά και εξελίσσονται σε χρονικές κλίμακες γεωλογικών αιώνων, ενώ οι δε αμμώδεις, λόγω της σύστασής τους που περιλαμβάνει ελαφρύτερα κοκκώδη υλικά (άργιλος, άμμοι, κροκάλες), μεταβάλλονται μορφολογικά ευκολότερα και συχνότερα, ακόμα και κατά τη διάρκεια ισχυρών καταιγίδων και έντονων καιρικών φαινομένων (θύελλες, τρικυμίες, κλπ.). Η μεταφορά του υλικού σε αυτές τις περιπτώσεις γίνεται κυρίως μέσω της δράσης των κυματισμών και των ρευμάτων κατά μήκος της ακτής και είναι γνωστή με τον όρο στερεομεταφορά ιζήματος. Η γεωλογική σύσταση των ιζημάτων της παράκτιας ζώνης μπορεί να είναι χαλαζιακή, ασβεστολιθική, αργιλική ή οργανική, ανάλογα με τη γεωλογική τους ιστορία.

Τα περισσότερα ιζήματα που συναντώνται στην παράκτια ζώνη είναι προϊόντα αποσάθρωσης που προέρχονται από την ξηρά και καταλήγουν εκεί με τη βοήθεια φυσικών διεργασιών, όπως ο άνεμος και τα ποτάμια που εκβάλλουν στο θαλάσσιο χώρο, κατολισθήσεις, παγετώνες και άλλα έντονα καιρικά φαινόμενα. Στον πυθμένα

των θαλασσών αποτίθενται ως ιζήματα και κελύφη νεκρών θαλάσσιων οργανισμών αλλά και σωματίδια διαλυμένων μετεωριτών. Έτσι, τα θαλάσσια ιζήματα με γνώμονα την προέλευσή τους κατατάσσονται σε κλαστικά ή μηχανικά, βιογενή, χημικά, ηφαιστειογενή και κοσμογενή. Όταν τα ιζήματα προέρχονται από διάβρωση και μεταφορά, ονομάζονται γεογενή και πελαγογενή όταν προέρχονται από καθίζηση στον πυθμένα. Η ταξινόμηση των ιζημάτων γίνεται με βάση το μέγεθος των κόκκων τους (Πιν. 2). το οποίο είναι το βασικό χαρακτηριστικό τους καθώς από αυτό εξαρτάται ο τρόπος και η ταχύτητα μεταφοράς και απόθεσής τους (Hjulström curve).

Πίνακας 2. Ονοματολογία κόκκων ιζημάτων

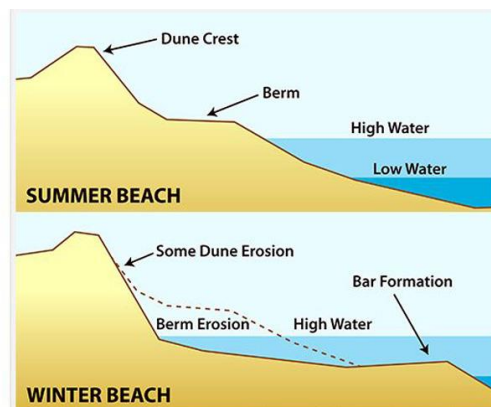
Ονομασία	Χαρακ. Διάμετρος (mm)	Παράμετρος ϕ
Κροκάλες	250 - 60	(-8) - (-6)
Χάλικες	32 - 4	(-5) - (-2)
Άμμοι	2 - 0.10	1 - 4
Ιλύς	0.03 - 0.004	5 - 8
Άργιλος	0.002 - 0.0002	9 - 12

Στον παραπάνω πίνακα η παράμετρος ϕ ορίζεται κατά τον Wentworth ως ο λογάριθμος με βάση το 2 της χαρακτηριστικής διαμέτρου D του υλικού σε mm, δηλαδή: $\phi = -\log_2 D$

2.8.3 Εποχιακή και μόνιμη διάβρωση παράκτιας ζώνης

Η ένταση της διαβρωτικής διεργασίας επηρεάζεται σημαντικά από την εποχή δράσης της. Οι καταιγίδες και οι θύελλες που εμφανίζονται τη χειμερινή περίοδο προκαλούν επεισοδιακή κάλυψη της χερσαίας παράκτιας ζώνης με ταχύτερους ρυθμούς λόγω των ισχυρών κυμάτων θύελλας και των θαλάσσιων ρευμάτων που αυτά δημιουργούν. Αυτά με τη σειρά τους ευθύνονται για τη στερεομεταφορά του ιζήματος και έτσι επέρχεται η απώλεια του εδάφους. Όταν οι κυματικές συνθήκες είναι πιο βίαιες, κατά τη διάρκεια μιας κυματικής καταιγίδας του χειμώνα (Εικ. 13), οι αιγιαλοί αποκτούν μια πιο ήπια κλήση καθιστώντας τον αιγιαλό ικανό να διασκορπίσει την κυματική ενέργεια αφού τα κύματα έχουν μεγαλύτερη επιφάνεια για να θραύσουν. Κατά τη διάρκεια τόσο έντονων φαινομένων, η συχνότητα των

διαδοχικών κυματισμών είναι μεγάλη με αποτέλεσμα το προσπίπτον κύμα να συναντά το κύμα επιστροφής του απερχόμενου κύματος, μειώνοντας έτσι την ικανότητα του προσπίπτοντος να μεταφέρει ιζήμα στο πάνω μέρος του αιγιαλού. Η μετακίνηση ιζήματος προς τη θάλασσα έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός επιμήκους ύφαλου αναβαθμού παράλληλου στην ακτή. Η ύπαρξη του αναβαθμού προστατεύει κατά κάποιο τρόπο την ακτή από τη δράση των κυματισμών, δρώντας ως φίλτρο από το οποίο διέρχονται μόνο κύματα μικρότερης καμπυλότητας. Επιπροσθέτως, μετατοπίζεται η θραύση των κυματισμών προς τα ανοικτά εφόσον αλλάζει η βαθυμετρία της ακτή. Τα κύματα με αυτή τη δράση ονομάζονται καταστροφικά (destructive waves) και επειδή παρατηρούνται συχνότερα το χειμώνα, το προφίλ που αποκτά ο αιγιαλός ονομάζεται χειμερινό ή προφίλ καταιγίδας.



Εικόνα 13. Ο εποχιακός κύκλος μιας παραλίας. Το χειμώνα, τα κύματα καταιγίδας, καθώς και τα συνήθη, υψηλής ενέργειας κύματα μεταφέρουν την άμμο της παραλίας σε υποθαλάσσιους αναβαθμούς. Το καλοκαίρι, όταν η ενέργεια των κυμάτων είναι μικρότερη, η άμμος μεταφέρεται ισταδιακά και πάλι προς την παραλία

Αντίθετα, κατά τη θερινή περίοδο τα θαλάσσια ρεύματα και οι κυματισμοί είναι ήπιοι με αποτέλεσμα οι αιγιαλοί να αποκτούν μεγάλη μορφολογική κλίση. Όταν επικρατεί αίθριος καιρός, ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ δύο διαδοχικών κυματισμών είναι μεγάλος. Το προσπίπτον κύμα επιστρέφει πριν τη θραύση του επόμενου χωρίς να συναντήσει τον παφλασμό του. Δεδομένου ότι η ενέργεια του επερχόμενου κύματος είναι μεγαλύτερη από αυτή του επιστρέφοντος παφλασμού, η ποσότητα του ιζήματος που μεταφέρετε προς τον αιγιαλό είναι περισσότερη από αυτή που απομακρύνεται προς τη θάλασσα. Έτσι, μέρος των ιζημάτων του ύφαλου αναβαθμού που σχηματίστηκε σε επεισόδια θύελλας των χειμερινών μηνών, μετατοπίζεται προς την ακτή. Τα κύματα αίθριου καιρού ονομάζονται και κύματα επικοδόμισης (constructive waves) και το προφίλ που αποκτά ο αιγιαλός, θερινό. Το προφίλ αυτό

χαρακτηρίζεται από μεγάλη κλίση και από τη δημιουργία μιας αμμώδους ζώνης (έξαλος αναβαθμός-beach) στο πάνω μέρος της παραλίας. Το σημαντικότερο αποτέλεσμα του φαινομένου των εποχιακών προφίλ αποτελεί η διαφορά της κλίσης του πυθμένα και της θέσης του αναβαθμού που δημιουργούν τα ιζήματα (Εικ. 13).

Τα αποτελέσματα της διάβρωσης σε βραχώδεις ακτές είναι η δημιουργία απότομων γκρεμών και θαλάσσιων σπηλαίων, ενώ στις αμμώδεις ακτές υπάρχει σημαντική μείωση του πλάτους της ακτής με ταυτόχρονη δημιουργία μιας αβαθούς ζώνης με μικρή κλίση. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα φυσικά αίτια της παράκτιας διάβρωσης

2.8.4 Διάβρωση στις ελληνικές και ευρωπαϊκές ακτές

Οι Ευρωπαϊκές ακτές από γεωλογική άποψη, σύμφωνα με το EUROSION 2004, ενδέχεται να είναι **βραχώδεις** με ή χωρίς κρημνούς από σκληρό πέτρωμα, χαμηλού βαθμού διάβρωσης, που συνοδεύονται ενίοτε από βραχώδη πλατφόρμα επιπεδωμένη από τα κύματα, με πιθανή παρουσία μικρού μήκους (<200μ) παραλιών (rocket beach) και είναι οι ακτές που σχηματίζονται πάνω σε σκληρούς, συνεκτικούς γεωλογικούς. Η παρουσία αυτών των ακτών είναι ένδειξη είτε έντονης διάβρωσης είτε αμελητέας απόθεσης. Η διάβρωση αυτών των ακτών εξαρτάται από το είδος των πετρωμάτων και από την παράκτια υδροδυναμική (Πίν. 3).

Παράκτιοι κρημνοί από κροκαλοπαγή ή/και μαλακά (ευδιάβρωτα) πετρώματα που στο σύνολο τους υπόκεινται σε χαμηλό ρυθμό διάβρωσης και που συνήθως φιλοξενούν (κατά τόπους) μικρού μήκους (< 200 μ) παραλίες. **Παραλιακές ζώνες** με μικρού μήκους παραλίες (200-1000 μ) που διαχωρίζονται από βραχώδη ακρωτήρια μικρού μήκους (< 200 μ), εκτεταμένες παραλίες (>1 χλμ. συχνά με περιοχές με χονδρόκοκκο υλικό (π.χ. κόκκους/βότσαλα) , εκτεταμένες (>1 χλμ) αμμώδεις παραλίες, ακτογραμμές (παράκτιοι σχηματισμοί) από μεικτό μη συνεκτικοποιημένο υλικό (παραλιακοί φραγμοί, γλωσσοειδείς σχηματισμοί, tombolo) συμπεριλαμβανομένων και των τεχνητά εμπλουτισμένων παραλιών.

Πηλώδεις ακτές που αντιπροσωπεύουν περιοχές συγκέντρωσης λεπτόκοκκου υλικού (ιλύος και αργίλου) που συναντώνται κυρίως σε δελταϊκές αποθέσεις. Και

τέλος **τεχνητές ακτές** που είναι προϊόντα τεχνητής δημιουργίας και εμπλουτισμού παραλιών.

Πίνακας 3. Φυσικά αίτια παράκτιας διάβρωσης.

Αίτιο	Επίπτωση	Χρονική κλίμακα	Σχόλια
Παροχή ιζήματος (πηγές και καταβόθρες)	Πρόσγωση/ Διάβρωση	Δεκαετίες έως χιλιετία	Φυσική παροχή από την ενδοχώρα ή το μέτωπο της παραλίας μπορεί να συνεισφέρουν στην ισορροπία της ακτογραμμής ή την πρόσγωση
Άνοδος της στάθμης της θάλασσας	Διάβρωση	Αιώνες έως χιλιετίες	Σχετική άνοδος της μέσης θαλάσσιας στάθμης (RSLR)
Θυέλλα και φουσκοθαλασσιά	Διάβρωση	Ωρες έως ημέρες	Πολύ κρίσιμη για το μέγεθος της διάβρωσης
Κυματισμοί μεγάλου ύψους και καμπυλότητας	Διάβρωση	Ωρες έως μήνες (εποχή)	Μεμονωμένες καταγίδες ή εποχιακές συνθήκες
Κυματισμοί μικρής περιόδου	Διάβρωση	Ωρες έως μήνες	Μεμονωμένες καταγίδες ή εποχιακές συνθήκες
Κύματα μικρής καμπυλότητας	Πρόσγωση	Ωρες έως μήνες	Καλοκαιρινές συνθήκες
Επιμήκη παράκτια ρεύματα (Longshore currents)	Πρόσγωση, καμία μεταβολή ή διάβρωση	Ωρες έως χιλιετία	Ασυνέχειες (ανοδική /καθοδική μετακίνηση) και κομβικά σημεία
Ρεύματα επιστροφής (Rip currents) και αντιστάθμισης	Διάβρωση	Ωρες έως μήνες	Στενή προς τα ανοικτά ροή, ρεύματα κοντά στο βυθό μπορούν να μεταφέρουν σημαντικές ποσότητες ιζήματος κατά τη διάρκεια των παράκτιων καταγίδων
Ροή επαναφοράς (undertow)	Διάβρωση	Ωρες έως ημέρες	Ροή προς τα ανοικτά, ρεύματα κοντά στον βυθό μπορούν να μεταφέρουν σημαντικές ποσότητες ιζήματος κατά τη διάρκεια των παράκτιων καταγίδων
Παρουσία παράκτιων εγκολπώσεων	Καθαρή διάβρωση, υψηλή αστάθεια	Έτη έως αιώνες	Κολπίσκοι παρακείμενοι σε ακτογραμμές τείνουν να είναι ασταθείς εξαιτίας διακυμάνσεων ή μετακινήσεων της θέσης του κολπίσκου, η καθαρή επίδραση των κολπίσκων είναι διαβρωτική για το απόθεμα της άμμου κατά την παλιρροιακή άμπωτη.
Πλημμυρικά φαινόμενα μετεωρολογικές παλίρροιες	Διαβρωτική	Ωρες έως ημέρες	Υψηλές παλίρροιες και κύματα προκαλούν μεταφορά άμμου πάνω από παραλιακούς υφάλους
Θυελλώδεις άνεμοι	Διαβρωτική	Ωρες έως αιώνες	Αιολική μεταφορά άμμου στην ενδοχώρα από την παραλία
Καθίζηση/ Ιζηματική συμπίεση	Διάβρωση	Έτη έως χιλιετία	Φυσική ή ανθρωπογενής απόσυρση των υπόγειων νερών
Τεκτονικά γεγονότα	Διάβρωση/ Πρόσγωση	Στιγμιαία, αιώνες έως χιλιετία	Σεισμοί , Ανύψωση ή καθίζηση των τεκτονικών πλακών.

Τα ποσοστά με τα οποία απαντάται ο κάθε ένας από τους παραπάνω τύπους ακτής στην Ευρώπη είναι αντίστοιχα 35%, 12%, 41%, 5% και 6% ενώ στην Ελλάδα απαντώνται σε παρόμοια ποσοστά ίσα με 39%, 11%, 47% , 0% και 4% αντίστοιχα.

Οι ευρωπαϊκές ακτές είναι εκτεθειμένες στην παράκτια διάβρωση με περίπου 20.000 χλμ να έχουν υποστεί σημαντικές επιπτώσεις. Η ποσότητα αυτή αντιστοιχεί περίπου στο ένα πέμπτο των ακτών της διευρυμένης ΕΕ, ενώ η Ελλάδα είναι η 4η σε κατάταξη χώρα της Ε.Ε. με τα υψηλότερα επίπεδα διάβρωσης (28,6%) μετά την Λετονία (32,8%), την Κύπρο (37,8%) και την Πολωνία (55%). Στην Ελλάδα και οι 13 περιφέρειες εμφανίζονται είναι εκτεθειμένες στη δράση της διάβρωσης, με τις περισσότερες εκτεθειμένες σε σχέση με το μήκος των ακτογραμμών τους είναι η περιφέρεια Κρήτης, Βορείου και Νοτίου Αιγαίου και Ιόνιων νησιών (EuroSION, 2004 (Πιν. 4).

Πίνακας 4. Διάβρωση ελληνικής ακτογραμμής (EUROSION, 2004).

Περιοχή	Μήκος Ακτογραμμής (km)	Μήκος Ακτογραμμής υπό διάβρωση (km)
Β.Αιγαίο	1311	231(17.6%)
Ν.Αιγαίο	3423	503(14.7%)
Ιόνια νησιά	1056	260(24.6%)
Κρήτη	1148	756(65.8%)
Σύνολο	6938	1750(25.2%)

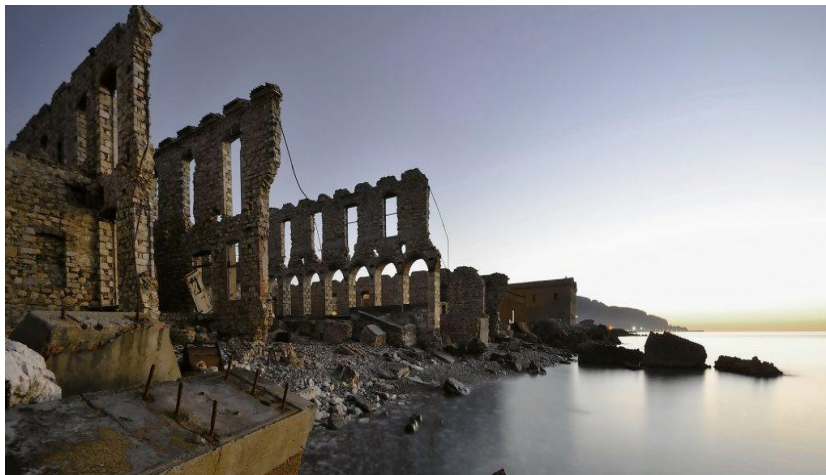
2.8.5 Παράκτια διάβρωση στη Σάμο

Η παράκτια ζώνη στη Σάμο παρουσιάζει εικόνα διάβρωσης, κυρίως στην ευρύτερη περιοχή των Β και Β.Δ. ακτών της. Το φαινόμενο είναι ιδιαίτερα έντονο τις τελευταίες δεκαετίες λόγω της ανόδου της στάθμης θάλασσας (Εικ. 14) η οποία ενισχύει την κυματική δράση απομακρύνοντας τα ιζήματα προς τη θάλασσα. Η παράκτια ζώνη της Β/ΒΔ Σάμου και ειδικότερα η περιοχή από το Καρλόβασι έως την περιοχή του Αγίου Κωνσταντίνου χαρακτηρίζεται από έντονη διάβρωση. Επιπροσθέτως, η περιοχή μελέτης είναι εκτεθειμένη σε κύματα Β/ΒΔ κυρίως διευθύνσεων, με μάλλον περιορισμένη τη προσφορά χερσογενούς υλικού ποτάμιας προέλευσης.

Η παράκτια ζώνη που μελετάται περιλαμβάνει μια σειρά από επιμέρους παραλιακές ζώνες με μήκος ακτογραμμής που κυμαίνεται μεταξύ 200 και 1700μ και οι οποίες ξεχωρίζουν μεταξύ τους με την παρεμβολή είτε μικρών ακρωτηρίων που συνίστανται από μάρμαρα ή σχιστολίθους, είτε ριπιδίων αλλουβιακών αποθέσεων. Οι 5 βόρειες

παραλιακές ζώνες ανεξαρτήτως μήκους ακτογραμμής χαρακτηρίζονται από μικρά πλάτη (<38μ), με εξαίρεση τη δυτικότερη παραλία Ποτάμι, όπου το πλάτος της φθάνει τα 60 μ (η διαφορά αυτή αποδίδεται στη τοπική προσφορά ιζήματος από εκβολές ποταμοχείμαρρου) και μεγάλες κλίσεις ($8,6^{\circ}$ - $15,6^{\circ}$) οπισθοπαραλίας αλλά και υποθαλάσσιας ζώνης. Στην περιοχή του βόρειου μετώπου των παραλιών που μελετήθηκαν, είναι χαρακτηριστική η έλλειψη λεπτόκοκκου υλικού (άμμου) ενώ αποτελούνται από χαλίκια έως μεγάλες κροκάλες, τα οποία σταματούν στο βάθος περίπου των 2 μ. Η έλλειψη (απομάκρυνση) του λεπτόκοκκου υλικού με δεδομένο ότι φυσιολογικά θα προϋπήρχε (λόγω και της παράκτιας λιθολογίας) σε συνδυασμό και με το μικρό πλάτος των παραλιών, υποδηλώνει ότι βρίσκονται γενικά σε καθεστώς διάβρωσης (Ευελπίδου, 2009).

Οι παραλίες με νότιο και ανατολικό προσανατολισμό παρουσιάζουν ομαλότερες κλίσεις ($5,67^{\circ}$ - $8,6^{\circ}$), λεπτόκοκκο υλικό στη χερσαία ζώνη τους και αμμώδη πυθμένα.



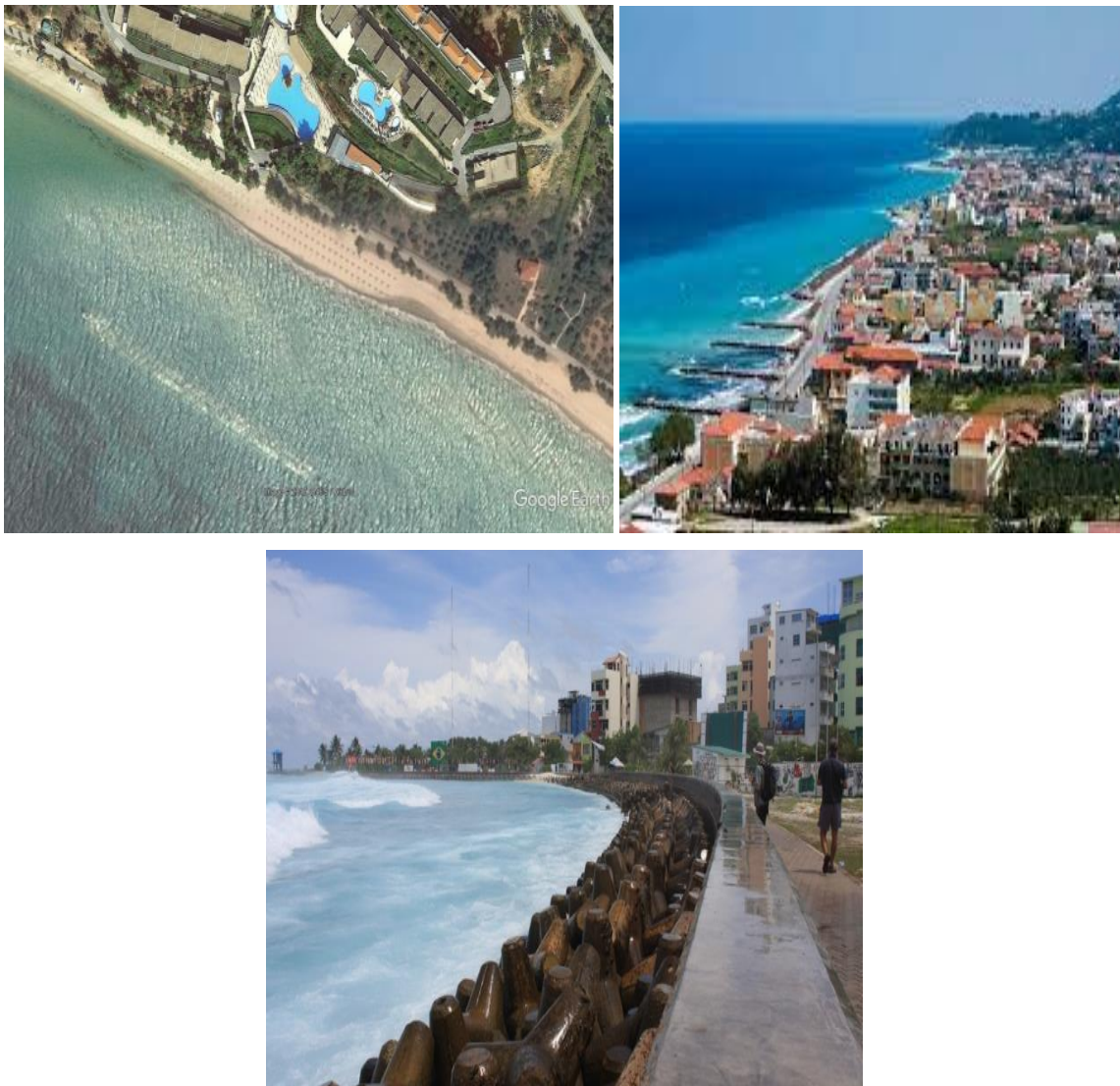
Εικόνα 14. Διάβρωση παράκτιας ζώνης στη ΒΔ Σάμο.

2.8.6 Έργα προστασίας της ακτογραμμής

Η απαίτηση, του ανθρώπου για σταθερό πλάτος ακτής οδήγησε στην ανάπτυξη νέων μεθόδων και μέσων αντιμετώπισης της διάβρωσης. Πλέον, έχουν υιοθετηθεί από τους εκάστοτε μελετητές διάφοροι τύποι έργων που περιορίζουν το φαινόμενο, καθένας με διαφορετικό μηχανισμό, ανάλογα τις ανάγκες της μελέτης και τις αντίστοιχες συνέπειες του έργου στην παράκτια ζώνη. Τα παράκτια τεχνικά έργα για την προστασία έναντι διάβρωσης χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, (α) τα συμβατικά

και (β) τα ήπια, ανάλογα με το περιβαλλοντικό αποτύπωμα που αφήνουν στον παράκτιο χώρο. Επιπροσθέτως, διακρίνονται ανάλογα με τον προσανατολισμό του διαμήκους άξονά τους και την απόστασή τους από την ακτογραμμή στα εξής:

- Έργα (σχεδόν) παράλληλα και σε απόσταση από την ακτογραμμή (κυματοθραύστες) (Εικ.15a).
- Έργα (σχεδόν) κάθετα ή υπό γωνία ως προς την ακτογραμμή, σε επαφή με αυτή (πρόβολοι) (Εικ.15b).
- Θωράκιση του μετώπου της ακτής ή έργα στην ακτή (Εικ.15c).
- Αναπλήρωση παράκτιας ζώνης με εναλλακτικές μεθόδους.



Εικόνα 15 (a,b,c). Ύψαλος κυματοθραύστης παράλληλος στην ακτή, κάθετοι πρόβολοι και θαλάσσιο τείχος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

3.1. ΚΥΡΙΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΝΗΣΟΥ ΣΑΜΟΥ

3.1.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ

Η Σάμος βρίσκεται στο ανατολικό τμήμα του Αιγαίου πελάγους, και ειδικότερα στο ανατολικότερο τμήμα του Ικάριου πελάγους πάρα πολύ κοντά στα παράλια της Μικράς Ασίας μεταξύ των παραλλήλων 37^Ο 48' Β και 37^Ο 38' Β και των μεσημβρινών 26^Ο 33' Ε και 27^Ο 04' Ε (Εικ. 16). Ανατολικά της βρίσκεται η Μικρά Ασία από την οποία χωρίζεται με τον πορθμό της Μυκάλης (ή επταστάδιο πορθμό), με ελάχιστο πλάτος 1650 μέτρα περίπου. Βόρεια βρίσκεται η χερσόνησος της Ερυθραίας, βορειοδυτικά η Χίος, δυτικά η Ικαρία , νοτιοδυτικά το σύμπλεγμα των Φούρνων και νότια τα Δωδεκάνησα, από τα οποία τα πλησιέστερα είναι το Αγαθονήσι, οι Αρκοί, οι Λειψοί και η Πάτμος.



Εικόνα 16. Γεωγραφική θέση νήσου Σάμου.

Είναι το όγδοο σε μέγεθος νησί της Ελλάδας και η έκτασή της είναι 477,4 km². Τα κοντινότερα νησιά είναι, οι Φούρνοι σε απόσταση 3,5 ν.μ, η Ικαρία σε απόσταση 10 ν.μ, η Πάτμος απέχει 19 ν.μ και η Χίος 35,7 ν.μ . Το σχήμα του νησιού είναι μακρόστενο με διεύθυνση του μεγάλου άξονα από Δυτικά προς Ανατολικά. Το μέγιστο μήκος του νησιού, είναι 44,3 km, ενώ το πλάτος του νησιού, από βορρά προς νότο, είναι 19km (στο κεντρικό τμήμα του νησιού).

3.1.2. Δημογραφικά στοιχεία

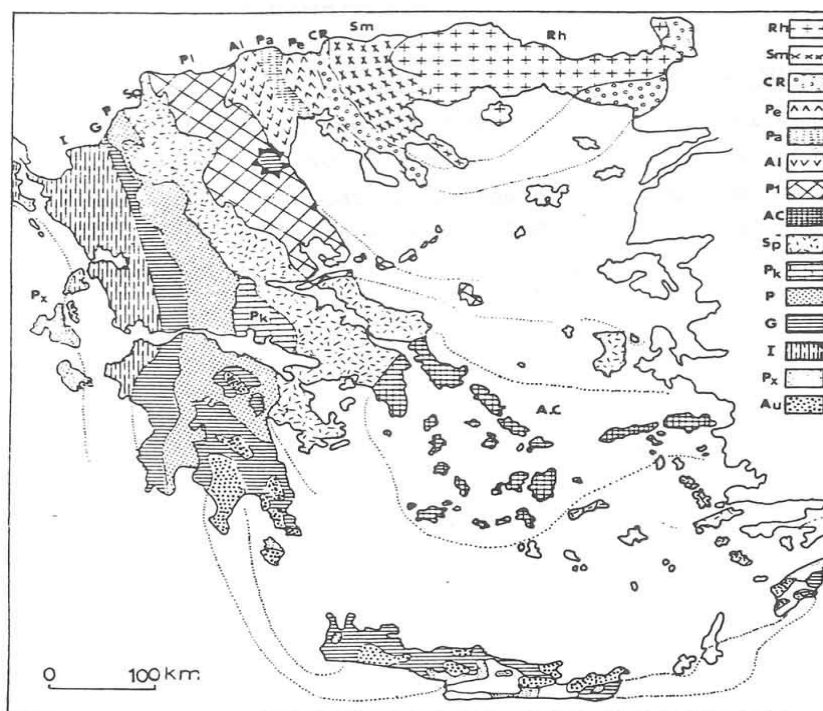
Η Σάμος έχει 32.974 κατοίκους (απογραφή 2011) και μετά την συνένωση των δήμων Βαθέος, Καρλοβασίου, Πυθαγορείου και Μαραθοκάμου (από το πρόγραμμα Καλλικράτης) πλέον αποτελείται από έναν δήμο, το Δήμο Σάμου, με πρωτεύουσα την Σάμο και ιστορική έδρα το Βαθύ. Οι μεγαλύτερες δημοτικές ενότητες από άποψη πληθυσμού είναι η δημοτική ενότητα Καρλοβασίου (6869 κατοίκους), η δημοτική ενότητα Σάμου (6251 κατοίκους), η δημοτική ενότητα Βαθέος (3147 κατοίκους), η δημοτική ενότητα Μυτιληνίων (2107 κατοίκους), η δημοτική ενότητα Μαραθοκάμπου (1900 κατοίκους) και η δημοτική ενότητα Πυθαγορείου (1500 κατοίκους).

3.1.3. Γεωλογία της Σάμου

Σύμφωνα με τον Μουντράκη (1985), η Σάμος, από γεωτεκτονική άποψη, ανήκει στην Αττικο-Κυκλαδική ζώνη των Γεωτεκτονικών ζωνών της Ελλάδας. Στη ζώνη αυτή ανήκουν τα νησιά των Κυκλάδων, ένα τμήμα της Αττικής καθώς και της Νότιας Έυβοιας (Εικ. 17).

Πρόκειται για μια μάζα ετερογενούς σύστασης που αποτελείται από διάφορες ενότητες σχηματισμών με τεκτονικές μεταξύ τους σχέσεις και οι γεωλογικοί σχηματισμοί που τη δομούν αποτελούνται από πετρώματα που κατατάσσονται σε τρεις ομάδες:

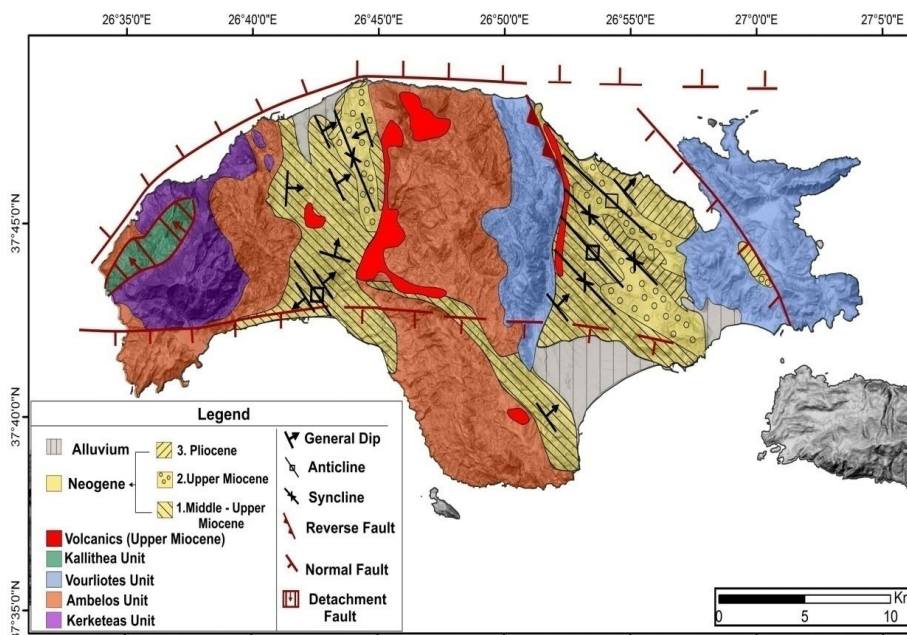
- τα μεταμορφωμένα,
- τα εκρηξιγενή, και τα
- Μεσοζωϊκά και Νεογενή ιζήματα



Εικόνα 17. Γεωτεκτονικές ζώνες της Ελλάδας (Μουντράκης et al., 1983).

Μεταξύ των ορεινών σχηματισμών του νησιού απαντώνται κάποια αξιόλογα ομαλά πεδία, τα οποία αναπτύσσονται σε νεογενείς σχηματισμούς ή τεταρτογενείς προσχώσεις. Το νησί είναι έντονα τεκτονισμένο και η γεωλογική δομή του είναι περίπλοκη. Στα δυτικά υπάρχουν μάρμαρα, σχιστόλιθοι, ασβεστόλιθοι, φυλλίτες και μεταμορφωμένα βασικά πετρώματα. Το κεντρικό του τμήμα χωρίζεται από το ανωτέρω με μια λωρίδα εκτεταμένων νεογενών λιμναίων ιζημάτων και Σχέδιο για την Προσαρμογή στην Κλιματική Αλλαγή 33 αποτελείται από μάρμαρα και σχιστόλιθους. Στο ανατολικό τμήμα βρίσκεται η ενότητα των νοτίων Κυκλάδων και υπάρχουν εκτεταμένες λιμναίες νεογενείς αποθέσεις. Σημαντικά απολιθώματα θηλαστικών που έζησαν πριν 10 εκατομμύρια χρόνια και αντιπροσωπεύουν την πανίδα του Ιππαρίου έχουν βρεθεί στο νησί. Σύμφωνα με την προέλευση των εδαφών του νησιού, κατατάσσονται σε τέσσερις κύριες κατηγορίες. Αυτές είναι: εδάφη αργιλώδους υφής, πυριγενούς προέλευσης σε πολύ περιορισμένες εκτάσεις, σχιστολιθικά πηλώδους υφής, όξινα έως πολύ όξινα, σε μεγάλο μέρος του νησιού, όξινα πυριγενή πετρώματα διάσπαρτα στο κεντρικό τμήμα καθώς και αργιλοπηλώδη εδάφη προερχόμενα από πυριτικά και τριτογενή αλατούχα πετρώματα, εύκολα διαβρώσιμα.

Τα μεταμορφωμένα πετρώματα καλύπτουν το 65% περίπου της επιφάνειας της νήσου, τα εκρηξιγενή πετρώματα καταλαμβάνουν περίπου το 5% ενώ τα Μεσοζωϊκά και Νεογενή ιζημάτα καλύπτουν το 30% περίπου της επιφάνειας. Συγκεκριμένα, το δυτικό τμήμα του νησιού εντάσσεται στην Υποπελαγονική ζώνη, με εμφανίσεις κυρίως μαρμάρων, σχιστόλιθων, ασβεστόλιθων, φυλλιτών και μεταμορφωμένων βασικών πετρωμάτων. Το κεντρικό τμήμα εντάσσεται στην ενότητα των Βορείων Κυκλάδων, η οποία διαχωρίζεται από τις άλλες, με μία λωρίδα εκτεταμένων Νεογενών λιμναίων ιζημάτων. Αποτελείται από Μάρμαρα (μάρμαρα Αμπέλου), σχιστόλιθους και σχιστογενεύσιους. Στο ανατολικό τμήμα εντοπίζονται μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι και εκτεταμένες Νεογενείς αποθέσεις (Δήμος Πυθαγορείου Σάμου, 2000). Η τεκτονική της Σάμου είναι ίδια σε όλη της την έκταση, απλή (κανονικά ρήγματα) και έντονη. Επικρατούν ρήγματα με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ (Εικ. 18), που την κατακερματίζουν, προσδίδοντάς της έντονο ανάγλυφο. Τα ρήγματα με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ αποτελούν το 75% του συνόλου, ενώ τα ρήγματα διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ μέχρι και Α-Δ, αποτελούν μόνο το 25%.



Εικόνα 18. Γεωλογικοί σχηματισμοί και ρήγματα στη Σάμο.

Έπειτα από τον πρόσφατο σεισμό της 30ής Οκτωβρίου 2020, με μέγεθος 7 ρίχτερ, που προκλήθηκε από την ενεργοποίηση ενός υποθαλάσσιου ρήγματος βόρεια της Σάμου και ο οποίος προκάλεσε τσουνάμι που έπληξε τις βόρειες ακτές του νησιού, για πρώτη φορά χαρτογραφήθηκε με τη χρήση πολυδεσμικών σόναρ η θάλασσα

της Σάμου και ένα μεγάλο τμήμα του Ικάριου Πελάγους από το Υ/Γ-Ω/Κ σκάφος «Ναυτίλος».

Όπως έδειξε η έρευνα, ο πυθμένας στη δυτική πλευρά της Σάμου παρουσιάζει μεγάλες μορφολογικές κλίσεις λόγω της ύπαρξης ενεργού ρήγματος με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ, που αποτελεί και το ΝΑ περιθώριο του Ικάριου Πελάγους και διακόπτεται από εντυπωσιακά υποθαλάσσια φαράγγια με διεύθυνση από ΝΑ προς ΒΔ μήκους 12 και 9,6 χλμ. αντίστοιχα. Χαρτογραφήθηκε επίσης η βόρεια πλευρά της Ικαρίας (νότιο περιθώριο του Ικάριου πελάγους), η οποία παρουσιάζει απότομες μορφολογικές κλίσεις λόγω της ύπαρξης ρηγμάτων με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ και Α-Δ και μήκος 18 και 16 χλμ. αντίστοιχα.

Σύμφωνα με τις έρευνες που πραγματοποιήθηκαν, το νησί παρουσιάζει τη μεγαλύτερη μετατόπιση εδάφους που έχει καταγραφεί μέχρι σήμερα, ύστερα από μεγάλο σεισμό. Μάλιστα, στη Βόρειο Δυτική πλευρά του νησιού, η μετατόπιση εδάφους φτάνει στα 37 εκατοστά προς νότο, ενώ στο Βαθύ αγγίζει τα 6,5 ενώ εντοπίστηκε και μια μόνιμη ανύψωση του νησιού κατά 18-25 cm. Σύμφωνα με ανακοίνωση της ερευνητικής ομάδας του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, από τα σημαντικότερα ευρήματα είναι η τεκτονική ανύψωση, που παρατηρήθηκε τόσο στο βόρειο όσο και στο νότιο τμήμα, δηλαδή στο ανερχόμενο τέμαχος του ρήγματος, που ενεργοποιήθηκε στο θαλάσσιο χώρο βόρεια του νησιού. Όπως σημειώνεται στο βόρειο μέρος η τεκτονική ανύψωση πιστοποιήθηκε σε παράκτιες θέσεις στην παραλία Ποτάμι, ενώ στο νότιο μέρος σε παράκτιες θέσεις στις παραλίες Πυθαγορείου και Ψιλή Άμμο.

3.1.4. Κλιματολογικές συνθήκες

Το κλίμα του νησιού είναι μεσογειακό με δροσερά καλοκαίρια και ήπιους χειμώνες. Το καλοκαίρι παρατηρούνται σχετικά υψηλές θερμοκρασίες, οι οποίες διαρκούν για μικρό χρονικό διάστημα (Ιούλιος – Αύγουστος). Ωστόσο, η θαλάσσια αύρα προκαλεί σημαντική πτώση της θερμοκρασίας στις παράκτιες περιοχές, ενώ τα μελέμια προκαλούν πτώση σε ολόκληρη την περιοχή. Η μέση θερμοκρασία που παρατηρείται στο νησί για την περίοδο 2006-2018 είναι 18.4 °C και η μέση

βροχόπτωση 717 χλστ. με τις βροχοπτώσεις να είναι περισσότερες στο βόριο μέρος του νησιού. Οι επικρατέστεροι άνεμοι με ποσοστό 54% είναι οι βόρειοι, ενώ οι νότιοι με ποσοστό 20% πνέουν κυρίως το χειμώνα.

3.1.5 Γεωμορφολογία

Η Σάμος παρουσιάζει το μεγαλύτερο ποσοστό ορεινών από όλα τα νησιά του Ανατολικού Αιγαίου Το 69,6% της επιφάνειάς της Σάμου ανήκει σε ορεινές περιοχές, το 22%, σε ημιορεινές ενώ μόλις το 8,4%, σε πεδινές. (Vasilopoulos, 2008). Πιο συγκεκριμένα, αποτελείται από δύο κύριους ορεινούς όγκους. Το όρος Κερκετεύς ή Κέρκης που υψώνεται στο δυτικό τμήμα του νησιού, με την υψηλότερη κορυφή του να βρίσκεται σε υψόμετρο 1.434μ. Στο κεντρικό και ανατολικό τμήμα του νησιού υψώνεται το όρος Άμπελος που καταλαμβάνει μεγαλύτερη έκταση από τον Κερκετέα, με ψηλότερη κορυφή του τον Καρβούνη στα 1.153 μ. Οι κυριότερες πεδινές εκτάσεις εντοπίζονται στα νότια και νοτιανατολικά του νησιού (περιοχές Ηραίου , Πυθαγορείου και Μεσοκάμπου).

3.1.6. Υδρογραφικό δίκτυο

Η κατανομή της ξηράς στο σύνολο του υδατικού διαμερίσματος του Ανατολικού Αιγαίου δεν καθιστά εφικτή την ανάπτυξη μεγάλων υδρολογικών λεκανών στο σύνολο των νησιών. Η Σάμος δε διαθέτει μεγάλους ποταμούς ή λίμνες. Τα ποτάμια συστήματα που καταγράφονται στο νησί είναι ο Φουρνιώτικος, ο Κερκίτειος ποταμός και το ρέμα Ποτάμι που εκβάλλουν στις ΒΔ ακτές της Σάμου με μήκη 2.5, 5 και 2.5 χλμ και μέσες ετήσιες απορροές 17,15 και 2.5 hkm³ αντίστοιχα. Στη Νότια Σάμο στην περιοχή του Ηραίου εκβάλλει το ρέμα Ίμβρεσσος με μήκος 2 χλμ και ετήσια απορροή 15 hkm³ και ο ποταμός Αμφίλυσσος στην περιοχή του Πυθαγορείου με μήκος 13χλμ και απορροή 10 h/km³ ανά έτος (Σχέδιο ΠεΣΠΚΑ Β. Αιγαίου, 2018). και Υπάρχουν χείμαρροι που διατηρούν νερό μόνο τους χειμερινούς μήνες και την άνοιξη, οι περισσότεροι εκ των οποίων πηγάζουν από το βουνό της Αμπέλου. Η απορροή των περιοχών εξασφαλίζεται λόγω του υψηλού ανάγλυφου. Έτσι, στο ΒΔ μέρος του νησιού που είναι ορεινό υπάρχουν χείμαρροι με μεγάλες κλίσεις και μικρά πλάτη, στο κεντρικό τμήμα του νησιού που είναι επίσης ορεινό, το υδρογραφικό

δίκτυο έχει μεγαλύτερα πλάτη και μήκη και ηπιότερες κλίσεις. Το ανατολικό τμήμα του νησιού με το ομαλότερο ανάγλυφο έχει σχετικά μικρό υδρογραφικό δίκτυο.

3.1.7. Παράκτιες μορφές θαλάσσιας απόθεσης που συναντώνται στη Σάμο

Ακτόλιθοι-Beach Rocks

Αποτελούν ιζηματολογικούς δείκτες μεταβολής της θαλάσσιας στάθμης. Είναι σκληροί παράκτιοι ιζηματογενείς σχηματισμοί αποτελούμενοι από παράλια ιζήματα, τα οποία συγκολλούνται ταχέως μέσω της καθίζησης/απόθεσης ανθρακικών υλικών, τα οποία τυπικά αποτελούνται από ασβεστίτη υψηλού μαγνησίου (HMCHigh Magnesium Calcite) ή αραγωνίτη (Bricker, 1971). Η λιθοποίηση λαμβάνει χώρα στη μέσο παλιρροιακή ζώνη και μπορεί να περιλαμβάνει κάθε είδους ιζήματα, όπως άμμους και κροκάλες κλαστικής και βιογενούς προέλευσης. Οι πιο γνωστές εμφανίσεις ακτόλιθων συνδέονται με ακτές σε γεωγραφικά πλάτη μεταξύ 0°-40° και κυρίως μεταξύ 20° και 40°, υποδεικνύοντας ότι τα ψυχρότερα κλίματα δεν ευνοούν το σχηματισμό τους. Η σχετική έλλειψη γνωστών εμφανίσεων στις τροπικές περιοχές μπορεί να οφείλεται σε έλλειψη σχετικής έρευνας. Φαίνεται επίσης ότι οι ακτόλιθοι είναι πιο συνήθεις κατά μήκος μικρο-παλιρροιακών ακτών (π.χ. η Μεσόγειος θάλασσα) υποδεικνύοντας ότι το υψηλό παλιρροιακό εύρος δεν αφήνει αρκετό χρόνο για την συγκόλληση των παράλιων ιζημάτων. Οι ακτόλιθοι παρατηρούνται συνήθως κατά μήκος των ακτών, μέσα και έξω από αυτές και εμφανίζονται σαν κομμένες ταινιόπλακες με παράλληλη διάταξη σε σχέση με την ακτογραμμή με μικρή κλίση προς τη θάλασσα. (Εικ. 19). Στη Σάμο παρατηρούνται εμφανίσεις ακτολίθων στις νότιες παραλίες, μέσα στη θάλασσα σε μικρό βάθος (περίπου 50 εκ.). Το πάχος των πάγκων είναι περίπου 20 εκ. και διατρέχουν την ακτή για αρκετές εκατοντάδες μέτρα.



Εικόνα 19. Ακτόλιθοι στην παραλία Λημνιώνας.

Αμμοθίνες

Η συσσώρευση της άμμου εξαιτίας της δράσης του ανέμου διαμορφώνει μια αιολική λοφώδη απόθεση που ονομάζεται παράκτια αμμόδης θίνα. Είναι χαρακτηριστικές μορφές των ακτών απόθεσης και συναντώνται συχνά σε εκβολές ποταμών και σε ρηχούς όρμους. Σχηματίζονται στο χερσαίο τμήμα της παράκτιας ζώνης, οι ράχες τους μπορεί να έχουν ύψος από 1-30 μ, ενώ μπορεί να εκτείνονται στο εσωτερικό της στεριάς μέχρι και 10χλμ από την ακτή. (Cooper, 1967.) Η δημιουργία των θινών απαιτεί την καταλληλότητα κάποιων συνθηκών. Οι κυριότερες από αυτές είναι οι παρακάτω:

- Η ύπαρξη διαθέσιμου χώρου στο χερσαίο κομμάτι της παράκτιας ζώνης ικανού να φιλοξενήσει τις συγκεντρώσεις άμμου. Τέτοιες περιοχές είναι παραλίες χωρίς κρημνούς.
- Κατάλληλο ανεμολογικό καθεστώς. Η μεταφορά της άμμου απαιτεί ισχυρούς ανέμους με διεύθυνση προς την ξηρά. Το ύψος της θίνας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ένταση των ανέμων.
- Η συνεχής τροφοδοσία της παράκτιας ζώνης σε ιζήματα
- Παράκτια βλάστηση, η οποία παίζει το ρόλο του φυσικού εμποδίου συγκρατώντας και σταθεροποιώντας την άμμο
- Αιγιαλός με μικρή κλίση και μεγάλο εύρος παλίρροιας ώστε να δημιουργηθούν ευνοϊκές συνθήκες ξήρανσης της άμμου και μεταφορά της προς την ξηρά.

Στη Σάμο αμμοθίνες αναπτύσσονται στο νότιο μέρος του νησιού, φτάνουν τα 3 μέτρα σε ύψος και εκτείνονται σε πλάτος 300μ από την ακτή (Εικ. 20).



Εικόνα 20. Σταθεροποιημένες θίνες με βλάστηση στη Ν. Σάμο.

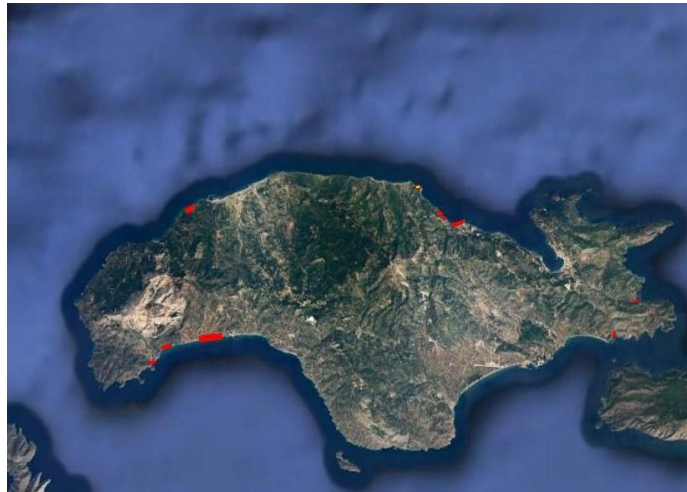
Λιμνοθάλασσα με κινούμενες αμμοθίνες

Στο Νοτιοανατολικό Τμήμα της Σάμου βρίσκεται ο μικρός (150 στρέμματα) αλλά ιδιαίτερης περιβαλλοντικής σημασίας υδροβιότοπος της Αλυκής με πλούσια βιοποικιλότητα. Κατά τους χειμερινούς μήνες (Νοέμβριο-Απρίλιο) το αργιλικό υπόστρωμα του εδάφους της λεκάνης συγκρατεί το νερό δημιουργώντας μια αβαθή λίμνη μέγιστου βάθους 70μ. Την περίοδο αυτή φιλοξενεί μεγάλο αριθμό αποδημητικών πτηνών. Ο βιότοπος περιλαμβάνει επίσης υποτυπώδεις κινούμενες θίνες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

4.1. Καταγραφή γεω-χωρικών χαρακτηριστικών

Επιλέχθηκαν οι 10 σημαντικότερες, παραλίες του νησιού που παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη επισκεψιμότητα (Εικ. 21). Η παρατήρηση και ψηφιοποίηση των δέκα παραλιών της Σάμου αφορούσε το χερσαίο κομμάτι των παραλιών (dry beach), πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού Google Earth Pro και οι διαθέσιμες εικόνες επιλέχθηκαν βάσει της ποιότητάς τους (Εικ. 22). Σαν εσωτερικά όρια των παραλιών ορίστηκαν η βλάστηση, οι αμμοθίνες, οι ανθρωπογενείς κατασκευές όπως δρόμοι και σπίτια, ενώ ως εξωτερικά όρια τέθηκαν οι θέσεις της ακτογραμμής, δηλαδή το όριο μεταξύ της χερσαίας και υποθαλάσσιας παραλίας. Τα πλευρικά όρια κάθε παραλίας, τέθηκαν από υπάρχοντα φυσικά όρια όπως πχ. ακρωτήρια.



Εικόνα 21. Η θέση των παραλιών μελέτης.

Στη συνέχεια, μετρήθηκε το μήκος και το μέγιστο πλάτος των παραλιών, το εμβαδόν τους και η περίμετρός τους. Υπολογίστηκε επίσης ο προσανατολισμός των παραλιών. Με επιτόπια παρατήρηση, καταγράφηκε κατά προσέγγιση η ταξινόμηση των ιζημάτων των παραλιών. Καταγράφηκε επίσης η προσβασιμότητά τους. Υπολογίστηκε η φέρουσα ικανότητα κάθε παραλίας για κάθε χρονιά που υπήρξε διαθέσιμη ευκρινής εικόνα μεταξύ των ετών 2008-2020. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Τουρισμού, τουριστική φέρουσα ικανότητα "είναι ο μέγιστος αριθμός ατόμων που μπορούν να επισκεφθούν ταυτόχρονα έναν τουριστικό προορισμό, χωρίς να προκληθεί μόνιμη καταστροφή του φυσικού, οικονομικού και

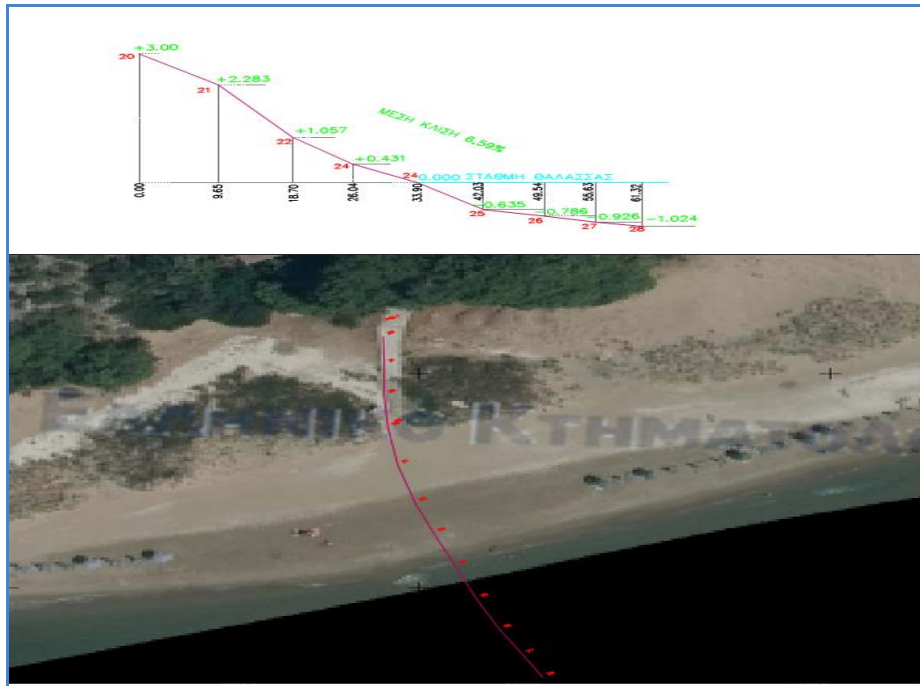
κοινωνικοπολιτιστικού περιβάλλοντος και μείωση της ποιότητας ικανοποίησης των επισκεπτών”.



Εικόνα 22. Παράδειγμα οριοθέτησης παραλίας στο βόρειο τμήμα του νησιού (Tsabou ID: 2) για τις χρονολογίες 2008 (κόκκινη γραμμή) και 2020 (κίτρινη γραμμή).

Για τον υπολογισμό της φέρουσας ικανότητας κάθε παραλίας, υπολογίστηκε το εμβαδόν της και έπειτα διαιρέθηκε δια 9τμ. αριθμός που αποτελεί την ελάχιστη απαιτούμενη έκταση ανά λουόμενο έτσι ώστε να μη συμβούν ανεπιθύμητες μεταβολές στο περιβάλλον και ανεπιθύμητη μείωση στην ποιότητα εμπειρίας των επισκεπτών. Υπολογίστηκε η συνολική φέρουσα ικανότητα των δέκα επιλεγμένων παραλιών, αλλά και μεμονωμένα κάθε μιας για κάθε διαχρονική αλλαγή με βάση τις διαθέσιμες ιστορικές εικόνες για την περίοδο 2008-2020

Με τη βοήθεια Γεωδαιτικού σταθμού(Total station) τύπου laser LEICA TCR307, έγινε μια αναλυτική κατασκευή κατά πλάτος τομής για κάθε παραλία, πάνω στην οποία υπολογίστηκαν τα υψόμετρα των σημείων από τα οποία διαμορφώθηκε μέσω του σχεδιαστικού λογισμικού AutoCad η κλίση κάθε παραλίας (Εικ. 23). Η θέση στην οποία κατασκευάστηκε η κάθε μηκοτομή, έγινε προσπάθεια να βρίσκεται στο μέσο κάθε παραλίας καθώς εκεί συγκεντρώνεται η μεγαλύτερη μέση κυματική ενέργεια.



Εικόνα 23. Μηκοτομή, υπολογισμός κλίσης και απεικόνιση σε ορθοφωτοχάρτες του Ελλ. Κτηματολογίου.

Καταγράφηκαν τα ανώτατα όρια των παραλιών όπως επίσης και κάποια χαρακτηριστικά τα οποία μπορεί να σχετίζονται με τη μορφολογία και τη διάβρωσή τους (ύπαρξη ποταμών, ποσοστό παρουσίας τουριστικών εγκαταστάσεων-υποδομών και ποσοστό φυτοκάλυψης επί του μήκους της παραλίας, ύπαρξη ακτολίθου,). Επίσης υπολογίστηκε ο προσανατολισμός των παραλιών.) Όλες οι παραπάνω πληροφορίες οργανώθηκαν σε Microsoft Excel αρχείο.

Πραγματοποιήθηκε σύγκριση των διαθέσιμων ιστορικών εικόνων για τις 10 παραλίες, όπου αυτές ήταν ευκρινείς. Σε 6 από τις 10 παραλίες υπήρχαν διαθέσιμες ιστορικές εικόνες από το 2006 έως το 2020 ενώ στις υπόλοιπες 4 οι ευκρινείς παρατηρήσεις υπήρξαν από το 2013 έως το 2020. Χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 59 εικόνες παραλιών με μέσο όρο 6 ετήσιες παρατηρήσεις ανά παραλία κατά τις οποίες η εποχικότητα ήταν μεταβαλλόμενη. Οι διαθέσιμες ιστορικές εικόνες ανήκουν σε διαφορετικές χρονιές (2008-2020) και έχουν συλλεχθεί υπό την επίδραση ποικίλων κυματικών συνθηκών, έτσι τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τμήματα της ακτογραμμής μπορεί να εισάγουν ορισμένες αβεβαιότητες στη σύγκριση τους αλλά και στη σκέψη σχετικά με το αν αντιπροσωπεύουν τους μέσους όρους των μεγεθών ή όχι.

4.2 Ακραίες Θαλάσσιες Στάθμες (ESLs)

Οι ακραίες στάθμες θάλασσας εξαρτώνται από τη συνδυασμένη επίδραση της μέσης στάθμης θάλασσας (MSL), την υψηλή παλιρροιακή στάθμη (η_{tide}) και τις διακυμάνσεις της στάθμης θάλασσας λόγω ακραίων κλιματικών φαινομένων η_{CE} (άνεμοι, μετεωρολογικές παλίρροιες). Οι Vousdoukas et al., (2018) ορίζουν την ακραία στάθμη θάλασσας (ESL) ως το παρακάτω άθροισμα:

$$\text{ESL} = \text{MSL} + \eta_{\text{tide}} + \eta_{\text{CE}}$$

Οι προβλέψεις των φυσικών παραμέτρων έγιναν λαμβάνοντας υπ όψη δύο αντιπροσωπευτικά μονοπάτια συγκέντρωσης (RCP's), τα RCP8.5 και RCP 4.5 και η διαδικασία παραγωγής προβλέψεων περιγράφεται παρακάτω. Τα επίπεδα αναφοράς της συνεισφοράς των κυμάτων στην ακραία στάθμη θάλασσας αποκτήθηκαν από επανανάλυση, διορθωμένα ως προς τις επιδράσεις των Τροπικών Κυκλώνων (TC) μέσω δορυφορικών δεδομένων υψομέτρων. Ομοίως συνέβη και με τα επίπεδα αναφοράς της συμβολής των κυματικών καταιγίδων. Ο παράγοντας η_{CE} υπολογίζεται προσθέτοντας στο επίπεδο στάθμης λόγω κυματικών καταιγίδων ($\eta_{\text{storm surge}}$) τη μεταβολή στη στάθμη λόγω θραύσης κυματισμού, με την τελευταία να υπολογίζεται από τον πολλαπλασιασμό του σημαντικού ύψους κύματος H_s (ο μέσος όρος του 1/3 των ψηλότερων κυμάτων-για την περι παράλια ζώνη αυτό ταυτίζεται με το ύψος θραύσης του κύματος) επί 0.2

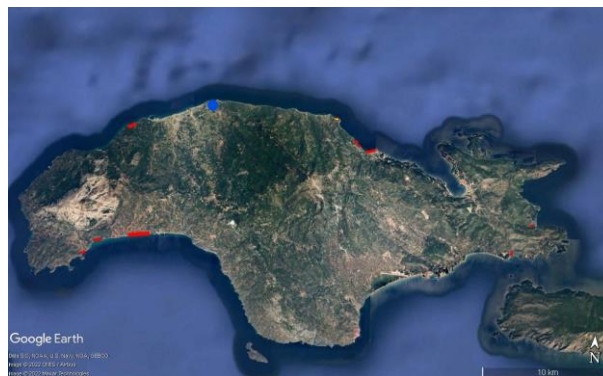
$$\eta_{\text{CE}} = \eta_{\text{storm surge}} + 0.2 \cdot H_s$$

Η ανάλυση ακραίων τιμών παρέχει τιμές η_{CE} για διαφορετικές περιόδους επαναφοράς. Οι μελλοντικές τιμές της μεταβλητής αυτής αποκτούνται με διόρθωση των τιμών, που έχουν επανααναλυθεί, σύμφωνα με τις σχετικές αλλαγές και που έχουν υπολογιστεί από τα εξαγόμενα των προσομοιώσεων για τα κύματα και τις κυματικές καταιγίδες κάτω από τα κλιματικά μοντέλα της περιόδου 1980-2100, η οποία αποτέλεσε και την περίοδο αναφοράς στην έρευνα αυτή.

Μελλοντικές μέσες στάθμες θάλασσας, είναι διαθέσιμες μέσω πιθανολογικών προβλέψεων της τοπικής στάθμης θάλασσας. Οι παροντικές παλιρροιακές ανυψώσεις ανακτώνται μέσω διαθέσιμων δεδομένων, και οι μελλοντικές αλλαγές στην παλίρροια εξαιτίας της αύξησης στάθμης θάλασσας υπολογίζονται από

προσομοιώσεις λαμβάνοντας υπόψη το εύρος της μελλοντικής μεταβολής της μέσης στάθμης θάλασσας. Εν τέλει, οι τρεις παράγοντες που επηρεάζουν την ακραία στάθμη θάλασσας, προκύπτουν σαν συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας οι οποίες συνδυάζονται με τη μέθοδο Μόντε Κάρλο.

Παγκόσμια δεδομένα ακραίας στάθμης θάλασσας είναι διαθέσιμα από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή (Joint Research Center, JRC). Στην μελέτη αυτή εξετάστηκε 1 σημείο (γνωστής τιμής ESL) (Εικ. 24) που βρίσκεται κατά μήκος της βόρειας ακτογραμμής της Σάμου. Η τιμή αυτή αποκτήθηκε από την προαναφερθείσα τοποθεσία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (<http://data.jrc.ec.europa.eu/collection/LISCOAST>) και προέκυψε σύμφωνα με την προσέγγιση που περιγράφεται στο Vousdoukas et al., (2018). Η παρούσα κατάσταση ανύψωσης στάθμης λόγω αστρονομικής παλίρροιας (η_{tide}) λήφθηκε από το μοντέλο FES2014. Η επίδραση της αύξησης στάθμης θάλασσας στη παγκόσμια παλιρροιακή ανύψωση εκτιμήθηκε κάνοντας χρήση του μοντέλου DFLOW FM. Παρελθοντικά κυματικά δεδομένα και δεδομένα κυματικής παλίρροιας αποκτήθηκαν μέσω δυναμικών προσομοιώσεων υπό ατμοσφαιρικές συνθήκες μέσω ERA-INTERIM για την περίοδο αναφοράς (1980-2014). Κύματα θύελλας προσομοιώθηκαν με τη χρήση DFLOW FM μοντέλου, ενώ οι κυματισμοί μέσω του μοντέλου WAVEWATCH III (NOAA).



Εικόνα 24. Επιλογή σημείου από (JRC) στη Β. ακτογραμμή της Σάμου, όπου βρίσκονται οι περισσότερες από τις υπό μελέτη ακτές.

Στην παρούσα μελέτη, αξιολογήθηκαν ESLs για την ιστορική περίοδο αναφοράς (2000), και για δύο διαφορετικά έτη αναφοράς ως το τέλος του αιώνα (2050 και 2100) υπό δύο IPCC RCP σενάρια (RCP 4.5 και RCP 8.5), για θυελλώδη κατάσταση με περίοδο επαναφοράς 1/100 (δηλ. 1 φορά ανά 100 χρόνια).

4.3 Εκτίμηση κυματικού καθεστώτος στα ανοιχτά

Από την ανάλυση των ανεμολογικών δεδομένων της EMY για την περίοδο 2000-2005 φαίνεται πως οι επικρατέστεροι άνεμοι προέρχονται από το βόρειο τομέα (B, BA, BΔ) με συχνότητα εμφάνισης > 50 %. Αντίθετα, οι άνεμοι προερχόμενοι από το νότιο τομέα απαντώνται σε αρκετά μικρότερα ποσοστά. Παρόλα αυτά, υπάρχουν σημαντικά συμβάντα αυξημένων ανεμολογικών ταχυτήτων (μεγαλύτερα των 5 Beaufort – 8 m/s) προερχόμενα από N και NA κατευθύνσεις. Στα βαθιά νερά η επίδραση του πυθμένα είναι μηδενική και το φάσμα του κύματος είναι συνάρτηση μόνο των πνεόντων ανέμων και του αναπτύγματος του πελάγους. Έτσι το χαρακτηριστικό ύψος κύματος H_s και η περίοδός του T εμφανίζονται σαν μονοσήμαντες συναρτήσεις της διάρκειας πνοής του ανέμου t , της ταχύτητάς του U και του αναπτύγματος πελάγους F . Για τα πρώτα μεγέθη υπολογίστηκαν οι μέσες τιμές τους από τους πίνακες ανεμολογικών δεδομένων της EMY για την πενταετία 2000-2005. Το μέγεθος F που χρησιμοποιείται είναι το αποτελεσματικό μήκος ανάπτυξης (effective fetch) των κυματισμών και τα αναπτύγματα 45° δεξιά και αριστερά της κεντρικής κατεύθυνσης του ανέμου. Το ανάπτυγμα πελάγους υπολογίστηκε για κάθε διεύθυνση ανέμου που επηρέαζε την κάθε παραλία και υπολογίστηκε σαν ο αριθμητικός μέσος όρος των ακτινών που βρίσκονται $\pm 45^\circ$ από την κύρια εξεταζόμενη διεύθυνση. Εφαρμόζοντας το φάσμα JONSWAP (Hasselmann et al., 1973) τα χαρακτηριστικά του κύματος φαίνονται στον Πίν.8 και προκύπτουν από τις παρακάτω σχέσεις: Με τη μέθοδο αυτή και με δεδομένα το ενεργό μήκος αναπτύγματος (F_{eff}), τη ρυθμισμένη ταχύτητα του ανέμου (U_A) και τη διάρκεια πνοής του (t_b), υπολογίζεται το σημαντικό ύψος κύματος στα ανοιχτά (H_s) καθώς και η περίοδος μέγιστης ενεργειακής πυκνότητας (T_p). Κατά την εφαρμογή της μεθόδου JONSWAP-PM ελέγχεται καταρχάς εάν ισχύει η ανισότητα:

$$\frac{gF}{U_A^2} \geq 22.8 \cdot 10^3 \quad [2.1]$$

Εάν ισχύει η (2.1) τότε οι κυματισμοί έχουν πλήρη ανάπτυξη και εφαρμόζονται οι σχέσεις (φάσμα Pierson-Moskowitz):

$$\frac{gH_s}{U_A^2} = 0.243 \quad [2.2]$$

$$\frac{gT_p}{U_A} = 8.13 \quad [2.3]$$

Όπου H_s το σημαντικό ύψος κύματος και T_p η περίοδος κορυφής του φάσματος. Στην περίπτωση που δεν ισχύει η (2.1) χρησιμοποιούνται οι σχέσεις (φάσμα JONSWAP) (Hasselmann et al., 1976):

$$\frac{gH_s}{U_A^2} = 0.0016 \left(\frac{gx}{U_A^2} \right)^{0.5} \quad [2.4]$$

$$\frac{gT_p}{U_A} = 0.286 \left(\frac{gx}{U_A^2} \right)^{0.33} \quad [2.5]$$

Αρχικά ελέγχεται αν ισχύει η ανισότητα:

$$\frac{gt_D}{U_A} > 68.8 \left(\frac{gF_{eff}}{U_A^2} \right)^{0.66} \quad [2.6]$$

όπου t_D η διάρκεια πνοής ανέμου.

Εφόσον η [2.6] ισχύει, υπάρχει περιορισμός του μήκους ανάπτυξης και τίθεται $x = F_{eff}$. Αν δεν ισχύει, θεωρείται η σχέση [2.6] ως ισότητα, υπολογίζεται ένα νέο F_{eff} και κατόπιν αντικαθίσταται στις σχέσεις [2.4] και [2.5] ως x , οπότε υπολογίζονται οι τιμές των H_s και T_p .

Η περίοδος που αντιστοιχεί στο σημαντικό ύψος κύματος T_s προσδιορίζεται από την περίοδο κορυφής φάσματος T_p ως εξής:

$$T_s = 0.9T_p \quad [2.7]$$

4.4 Μεθοδολογία εκτίμησης οπισθοχώρησης ακτογραμμής

Προκειμένου να εκτιμηθεί η παραλιακή διάβρωση και η οπισθοχώρηση μιας ακτογραμμής παραλίας κάτω από μακροπρόθεσμη και βραχυπρόθεσμη αύξηση της θαλάσσιας στάθμης, ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία: Γίνεται η συλλογή

χωρικής πληροφορίας των υπό εξέταση παραλιών (διαστάσεις, κλίσεις πυθμένα παραλίας, ανεμολογικό καθεστώς, ιζηματικός τύπος, ύπαρξη υποδομών, παρουσία ποταμών και άλλων δεικτών ή παραγόντων διάβρωσης). Συλλέγεται βιβλιογραφική πληροφορία σχετικά με τις εκτιμήσεις της μελλοντικής αύξησης στάθμης θάλασσας. Τέλος, εκτιμάται η παραλιακή διάβρωση και για όλες τις παραλίες του νησιού, χρησιμοποιώντας κατάλληλες συστοιχίες αναλυτικών και αριθμητικών μορφοδυναμικών μοντέλων προσομοίωσης της παραλιακής διάβρωσης σε επίπεδο νήσου υπό την μακροπρόθεσμη και βραχυπρόθεσμη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης (ERA BEACH).

Για την μελέτη της μεταβολής μιας παραλιακής ζώνης κάτω από την επίδραση της ανόδου της θαλάσσιας στάθμης λόγω κλιματικής αλλαγής και διάβρωσης, έχουν αναπτυχθεί διάφορα μοντέλα, η βασική αρχή των οποίων είναι ότι καθώς η θαλάσσια στάθμη αλλάζει, η παραλιακή διατομή μεταβάλλεται, οδηγούμενη σε νέα μορφολογία. Γενικός σκοπός κατασκευής ενός μοντέλου είναι να αναπαραστήσει τις θεμελιώδεις αρχές και λειτουργίες του συστήματος που αντιπροσωπεύει όσο πιο πιστά γίνεται. Υπάρχουν ποικίλοι τύποι παράκτιων μορφολογικών μοντέλων και εργαλείων τα οποία διαφέρουν ως προς το επίπεδο ικανοτήτων τους και της πολυπλοκότητάς τους. Αυτά μπορούν να ταξινομηθούν στις παρακάτω κατηγορίες:

- Χαρτογράφησης παράκτιων και εκβολικών συστημάτων- Coastal and estuarine systems mapping (CESM)
- Ανάλυσης γεωμορφολογικών δεδομένων- Geomorphological data analysis
- Καθοδηγούμενα από δεδομένα- Data-driven models
- Παραμετρικά- Parametric models
- Αριθμητικά μοντέλα διεργασίας- Process-based numerical models
- Συμπεριφορικά αριθμητικά μοντέλα- Behaviour-based numerical models
- Αναδυόμενων τεχνικών- Emerging techniques

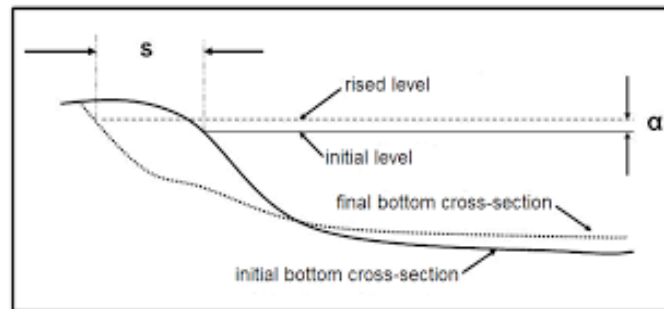
Η κλίμακα εφαρμογής τους διαφέρει χωρικά, χρονικά, χρηστικά, αλλά και ανάλογα τη δεκτικότητα τους στο να συνδυαστούν μεταξύ τους (Environmental Agency).

Τα παραμετρικά μοντέλα είναι ένα σύνολο σχετικών μαθηματικών εξισώσεων που ενσωματώνει μεταβλητές. Χρησιμοποιούνται κυρίως για την πρόβλεψη του σχήματος των ακτών σε προφίλ και σχέδιο, χρησιμοποιώντας απλές φόρμουλες κυρίων από πειραματικές παρατηρήσεις. Οι τύποι βασίζονται στην υπόθεση ενός προφίλ ισοροπίας (μοντέλα ισοροπίας) ή σε μια μεταβλητή κατάσταση (μοντέλα αλλαγής κατάστασης).

Τα αριθμητικά μοντέλα διεργασίας χρησιμοποιούνται κυρίως για την αναπαραγωγή αλλαγών στη βαθυμετρία και στο προφίλ ή στην κάτοψη παραλιών (μέσω χρονικών και χωρικών ολοκληρώσεων) χρησιμοποιώντας μοντέλα βασισμένα σε νόμους της φυσικής.

Τα μοντέλα εκτίμησης που χρησιμοποιούνται για εκτίμηση μεταβολής παράκτιας διατομής είναι στοχαστικά για στοχαστικό σύστημα, αφού σύστημα και μοντέλο εξαρτώνται από τυχαίους παράγοντες. Στη συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιείται συνήθως η διαδικασία της προσομοίωσης. Είναι προφανές ότι πρόκειται για μαθηματικά μοντέλα που χρησιμοποιούν μαθηματικές διαδικασίες για την περιγραφή των φυσικών ιδιοτήτων ή των λειτουργιών του συστήματος, τα οποία χωρίζονται σε στατικά και δυναμικά ανάλογα εάν δεν μεταβάλλονται με το χρόνο ή μεταβάλλονται. Αυτά με τη σειρά τους μπορεί να είναι είτε αριθμητικά, είτε αναλυτικά. Αριθμητικά λέγονται τα μοντέλα στα οποία οι μαθηματικές εξισώσεις περιγραφής του συστήματος δε υπάρχουν, οπότε το σύστημα περιγράφεται από αριθμητικά δεδομένα που έχουν συλλεχθεί εμπειρικά, ενώ αναλυτικά λέγονται τα μοντέλα όπου υπάρχει ένα πλήρες σύνολο εξισώσεων το οποίο περιγράφει το σύστημα. Έτσι, για την εκτίμηση της απόκρισης της ακτής υπό μακροχρόνια αλλαγή της στάθμης θάλασσας (λόγω κλιματικής αλλαγής) και για την πρόγνωση μεταβολής της παραλιακής διατομής υπό καθεστώς βραχυχρόνιας αλλαγής στάθμης θάλασσας (λόγω συνδυασμού μετεωρολογικής και αστρονομικής παλίρροιας) χρησιμοποιούνται στατικά και δυναμικά μοντέλα αντίστοιχα. Κάποιες φορές τα μοντέλα αυτά λειτουργούν ανεξάρτητα απαντώντας σε διαφορετικά ερωτήματα του ίδιου προβλήματος. Αυτό που συμβαίνει πιο συχνά είναι αυτά να συνδέονται μεταξύ τους έτσι ώστε τα αποτελέσματα του ενός μοντέλου να αποτελούν δεδομένα εισόδου για κάποιο άλλο (UK Environment Agency). Η σύνδεση αυτή χαρακτηρίζεται ως στατική ή δυναμική ανάλογα με τον τρόπο μεταφοράς δεδομένων.

Η αύξηση της στάθμης θάλασσας αποτελεί την πιο σημαντική απειλή για τις παραλίες, προκαλώντας την οπισθοχώρηση-διάβρωσή τους. Μια αύξηση α της στάθμης θάλασσας, θα προκαλέσει μια οπισθοχώρηση της ακτογραμμής κατά S εξαιτίας της διάβρωσης του παραλιακού μετώπου, τα ιζήματα του οποίου μεταφέρονται/αποτίθενται μακριά από την ακτή (Εικ. 25).



Εικόνα 25. Ανταπόκριση ακτής στην αύξηση στάθμης θάλασσας. Μια αύξηση στάθμης α , προκαλεί διάβρωση του παραλιακού ιζήματος, το οποίο μεταφέρεται στον παρακείμενο θαλάσσιο πυθμένα, προκαλώντας οπισθοχώρηση της ακτής κατά S .

Ο ρυθμός οπισθοχώρησης ελέγχεται, μεταξύ άλλων, από την κλίση του πυθμένα, την παροχή και το είδος του ιζήματος και τις υδροδυναμικές συνθήκες (Dean, 2002).

Για την πρόγνωση της απόκρισης της ακτογραμμής στις μεταβολές της θαλάσσιας στάθμης έχουν αναπτυχθεί διάφορα μοντέλα, η βασική αρχή των οποίων είναι ότι καθώς η θαλάσσια στάθμη ή/και οι κυματικές συνθήκες αλλάζουν, η παραλιακή διατομή μεταβάλλεται, οδηγούμενη σε νέα μορφολογία. Τα μοντέλα οπισθοχώρησης της ακτογραμμής προσομοιώνουν μεταβολές στον χώρο και στον χρόνο και διαχωρίζονται σε δύο διαφορετικούς τύπους: τα *στατικά* και τα *δυναμικά* μοντέλα. Στην περίπτωση των στατικών μοντέλων, η οπισθοχώρηση της ακτογραμμής προκύπτει από την επίλυση μιας ή συστήματος εξισώσεων χωρίς να λαμβάνονται υπ' όψη υδροδυναμικές και ιζηματοδυναμικές διεργασίες, ενώ στην περίπτωση των δυναμικών μοντέλων η προσομοίωση βασίζεται στην σύζευξη υδροδυναμικών και ιζηματοδυναμικών μοντέλων που υπολογίζουν την στερεομεταφορά σε διαφορετικά σημεία της διατομής και αλγόριθμους που μετατρέπουν τα χωρο-χρονικά διαφορικά της σε μεταβολές της παραλιακής μορφολογίας.

Μονοδιάστα εγκάρσια μοντέλα χρησιμοποιήθηκαν σε σύζευξη, προκειμένου να εκτιμήσουν το εύρος της μακροχρόνιας και βραχυχρόνιας οπισθοχώρησης των ακτών για τις κλίσεις και την κοκκομετρική σύστασή τους, κάτω από διαφορετικά σενάρια αλλαγών της μέσης θαλάσσιας στάθμης (MSL) και της ανόδου στάθμης θάλασσας εξαιτίας επεισοδίων καταιγίδας. Προκειμένου να δημιουργηθεί αυτή η βάση δεδομένων για τις 10 παραλίες της Σάμου, χρησιμοποιήθηκαν 5 μοντέλα. 3 αναλυτικά (Edelman, Bruun, Dean) (Edelman, 1972; Bruun, 1988; Dean, 1991) και 2 αριθμητικά (SBEACH, Leont'yeu) (Larson and Kraus, 1989; Leont'yeu, 1996; Roelvink et al., 2010; Karambas and Koutitas, 2002). Χρησιμοποιήθηκαν δύο συστοιχίες μοντέλων. Μια 'βραχυχρόνια' σύζευξη για την αξιολόγηση της παραλιακής υποχώρησης/διάβρωσης, λόγω της επεισοδιακής ανύψωσης της θαλάσσιας στάθμης (παράγοντας ησε), συνδυάζοντας τα αριθμητικά μοντέλα SBEACH και Leont'yeu και μια 'μακροχρόνια' για την αξιολόγηση της παραλιακής υποχώρησης/διάβρωσης, λόγω της μέσης ανύψωσης της θαλάσσιας στάθμης (MSL), αποτελούμενη από τα αναλυτικά μοντέλα Bruun, Dean και Edelman. Όσο αφορά τη συνδυασμένη άνοδο στάθμης θάλασσας (MSL+SLR-storm induced), οι μακροχρόνιες και βραχυχρόνιες συστοιχίες μοντέλων χρησιμοποιήθηκαν διαδοχικά.

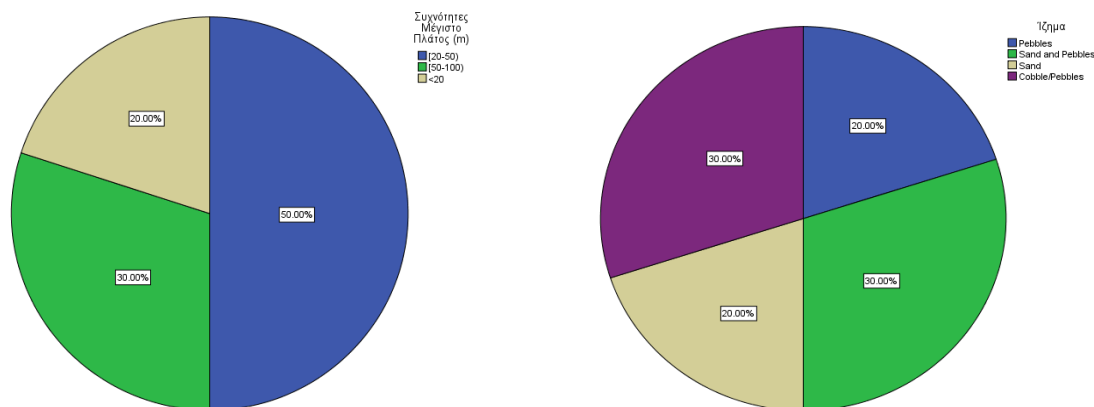
Η παραπάνω προσέγγιση έχει σχεδιαστεί για να προβλέπει την οπισθοχώρηση-διάβρωση της ακτής. Χρησιμοποιήθηκαν 4 σενάρια ανόδου της στάθμης της θάλασσας σύμφωνα με τις κατά IPCC προβλέψεις για 2 έτη αναφοράς (2050 και 2100) υπό τα σενάρια εκπομπών RCP 4.5 και RCP 8.5.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1 Γεω-χωρικά χαρακτηριστικά παραλιών Σάμου

Ψηφιοποιήθηκαν και μελετήθηκαν 10 παραλίες από τις οποίες καταγράφηκαν τα μέγιστα πλάτη, τα μήκη, τα εμβαδά τους, οι περιμέτροί τους, η παρουσία ανθρωπίνων υποδομών, τα τεχνητά παράκτια έργα προστασίας καθώς και η παρουσία ποταμών και beachrocks. Το συνολικό εμβαδόν τους είναι 117.936 m², και η συνολική φέρουσα ικανότητά τους είναι 13.104 χρήστες παραλίας.

Οι περισσότερες παραλίες έχουν σχετικά μεσαίες τιμές πλάτους. Έτσι, 50% των καταγεγραμμένων μέγιστων πλατών του χερσαίου τμήματος της παραλίας (dry beach), κυμαίνονται μεταξύ 20-50μ, 30% αυτών έχουν πλάτη μεταξύ 50-100μ, ενώ το 20% μόνο έχει πλάτη κάτω από 20μ (Εικ. 26).

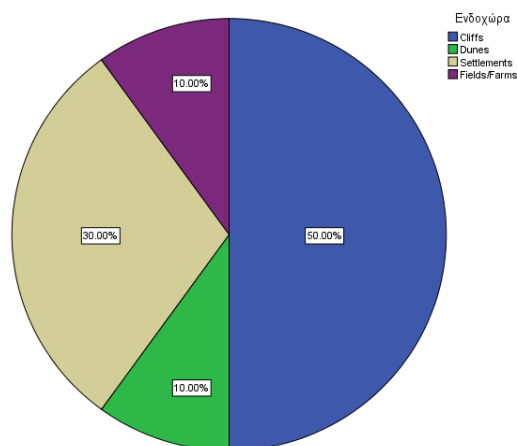


Εικόνα 26. (α) Εύρη μέγιστων καταγεγραμμένων πλατών, για τις 10 παραλίες του νησιού (εκφρασμένα σε επί τοις % ποσοστό) και (β) Ποσοστιαία κατανομή των παραλιών σε σχέση με τον ιζηματικό της τύπο.

Σχετικά με τον ιζηματικό τύπο των παραλιών (Εικ. 26b), το 30% αυτών αποτελούνται από βότσαλα, το 30% επίσης χαρακτηρίζεται από βότσαλα και κροκάλες, 20% αποτελείται από άμμο και βότσαλα ενώ με το ίδιο ποσοστό ακολουθούν οι αμμώδεις παραλίες.

Λίγες παραλίες (2/10) συνδέονται με την ύπαρξη εκβολών χειμάρρων κατά μήκος της ακτογραμμής τους, γεγονός που ίσως συνδέεται με τον εντοπισμό σε αυτές των μέγιστων πλατών των παραλιών.

Τα χερσαία περιβάλλοντα που βρίσκονται ακριβώς πίσω από τις ακτές (Inland), τα οποία τις τροφοδοτούν και τις υποστηρίζουν, βρέθηκε ότι κατά 50% αποτελούνται αποκλειστικά από βράχια. Σε ποσοστό 30% οι ενδοχώρες περιλαμβάνουν οικιστικά σύνολα, ενώ οι θίνες και οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις συνορεύουν ισόποσα (από 10%) με τις ακτές (Εικ. 27).



Εικόνα 27. Περιγραφή ενδοχώρας, για το σύνολο των παραλιών της Σάμου, (εκφρασμένη σε επί τοις % ποσοστό).

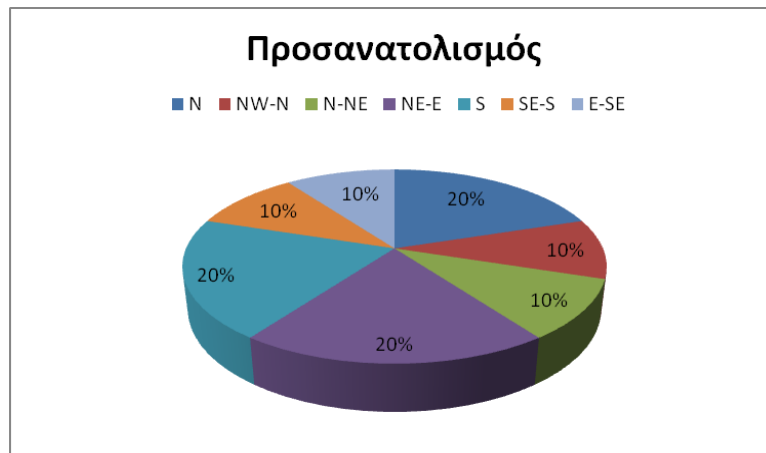
Παρόλο που η προσβασιμότητα και των δέκα ακτών είναι άμεση και ανεμπόδιστη, η τουριστική ανάπτυξη και των 10 παραλιών παραμένει σε βασικό στάδιο και παρατηρείται μόνο κατά τα πρόσφατα έτη (2016-2020). Η έντονη ανθρώπινη παρέμβαση δεν είναι εποχιακή, παρατηρείται στους παραθαλάσσιους οικισμούς όπου η πυκνότητα των υποδομών είναι μεγάλη καθώς αυτοί εκτείνονται στο 100% του μήκους της παραλία και τις καλλιεργήσιμες εκτάσεις.

Σε παραλίες με νότιο προσανατολισμό και σε ποσοστό 20% επί των συνολικών παραλιών, καταγράφηκαν σχηματισμοί beachrocks, κάτι που φαίνεται να έρχεται σε αντιστοιχία με το αντίστοιχο ποσοστό που έχει παρατηρηθεί από πρόσφατες έρευνες στις παραλίες των νησιών του Αιγαίου (~23%) (Monioudi et al., 2016).

Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι σε καμιά παραλία δεν καταγράφηκε κανένα είδος έργου παράκτιας προστασίας.

Η κατανομή των παραλιών ως προς τον προσανατολισμό τους (Εικ. 28) παρουσιάζει μια μεγαλύτερη συχνότητα προς το σημείο του Βορά. Αναλυτικά, 20% των παραλιών έχουν προσανατολισμό Νότιο, 20% έχουν προσανατολισμό Βόρειο Ανατολικά-Ανατολικά, 20% έχουν προσανατολισμό Βόρεια και από ποσοστό 10%

έχουν προσανατολισμό Ανατολικά-Νότιο Ανατολικά, Νότιο Ανατολικά-Νότια, Βόρεια Βόρειο Ανατολικά και Βόρειο Δυτικά-Βόρεια.



Εικόνα 28. Ποσοστιαία κατανομή των παραλιών της Σάμου σε σχέση με τον προσανατολισμό τους.

5.2 Συσχέτιση Χωρικών Χαρακτηριστικών των Παραλιών

Με τη βοήθεια του στατιστικού λογισμικού SPSS επιχειρήθηκε κάποιος έλεγχος συσχέτισεων μεταξύ των χωρικών μεταβλητών των 10 παραλιών.

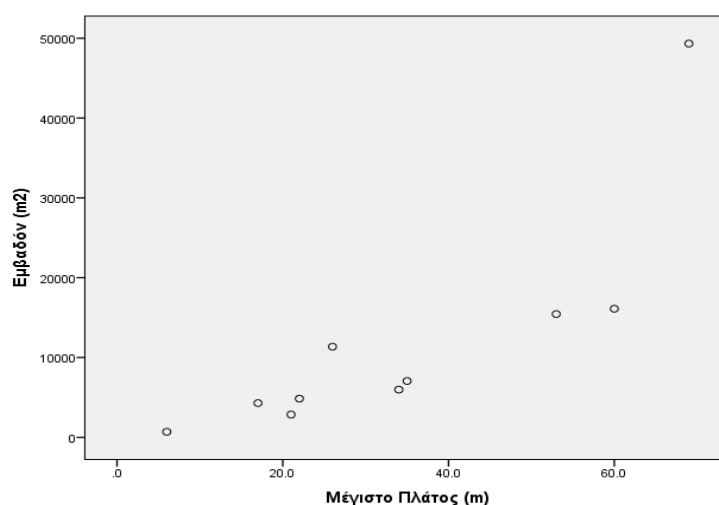
Έπειτα από έλεγχο κανονικότητας που διενεργήθηκε στις μεταβλητές Εμβαδόν, Μέγιστο Πλάτος, Μήκος και Περίμετρος, βρέθηκε ότι μόνο οι Εμβαδόν και Μέγιστο Πλάτος ακολουθούν την Κανονική κατανομή ($\alpha = 5\%$). Ως εκ τούτου στις δύο προαναφερθείσες θα εφαρμοσθεί έλεγχος γραμμικής συσχέτισης κατά Pearson ενώ στις υπόλοιπες, μαζί με την Κατεύθυνση, το Ίζημα και την Ενδοχώρα, έλεγχος συσχέτισης κατά Spearman.

Από τον πίνακα 5 παρατηρούμε ότι εμφανίζεται μια ισχυρή θετική συσχέτιση (.824) μεταξύ Εμβαδού και Μέγιστου Πλάτους η οποία είναι στατιστικά σημαντική καθώς $Sig = 0.003 < \alpha = 5\%$).

Το παραπάνω εύρημα οδηγεί στην εφαρμογή απλής γραμμικής παλινδρόμησης μεταξύ των δύο μεταβλητών. Από το διάγραμμα διασποράς που ακολουθεί (Εικ. 29), η θετική γραμμική συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών Εμβαδόν και Μέγιστο Πλάτος είναι εμφανής καθώς μπορεί να περάσει μια (νοητή) ευθεία ανάμεσα από τις παρατηρήσεις. Αρχικά λοιπόν συμπεραίνουμε ότι μια αύξηση στο Μέγιστο Πλάτος θα επιφέρει αύξηση (όχι ίδιο μέγεθος) και στο Εμβαδόν και το ανάποδο.

Πίνακας 5: Συσχετίσεις κατά Pearson.

		Μέγιστο Πλάτος (m)	Εμβαδόν (m ²)
Μέγιστο Πλάτος (m)	Pearson Correlation	1	.824
	Sig. (2-tailed)		.003
	N	10	10
Εμβαδόν (m ²)	Pearson Correlation	.824	1
	Sig. (2-tailed)	.003	
	N	10	10



Εικόνα 29. Διάγραμμα διασποράς.

Εφαρμόζοντας την απλή γραμμική παλινδρόμηση (η οποία βγήκε στατιστικά σημαντική με $Sig \cong 0$) το προκύπτον μοντέλο είναι το ακόλουθο:

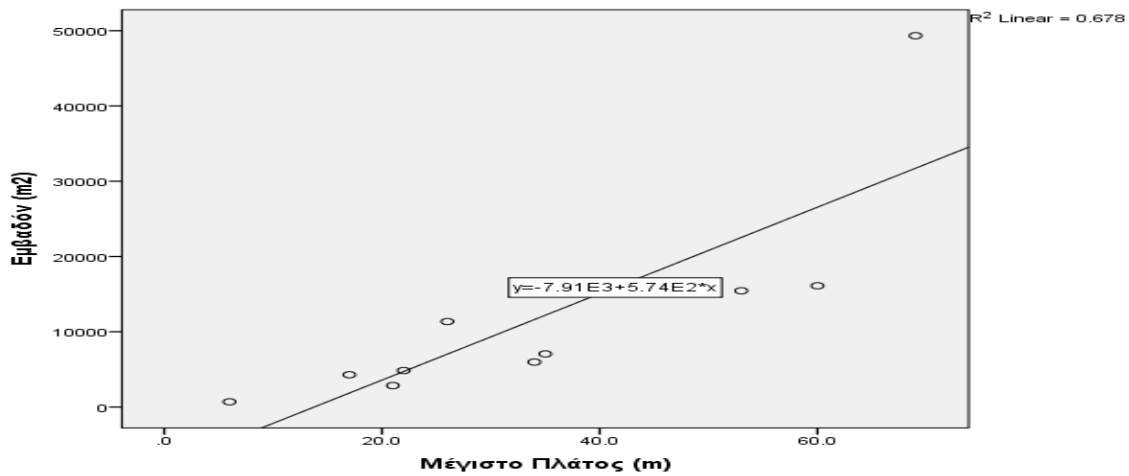
$$\widehat{Εμβαδόν}_i = -7907.91 + 574.397 \cdot Μέγιστο Πλάτος_i, \quad i = 1, \dots, 10.$$

Ερμηνεία συντελεστή μοντέλου:

Εάν το Μέγιστο Πλάτος αυξηθεί κατά 1 μέτρο, το μέσο Εμβαδόν της παραλίας θα αυξηθεί κατά 574 m².

Η τιμή του R² βρέθηκε ίση με 67.8% τιμή που ενισχύει την καταλληλότητα του μοντέλου καθώς πρακτικά το ποσοστό της αβεβαιότητας της μεταβλητής επεξηγείται

από την μεταβλητή Μέγιστο Πλάτος. Στην εικόνα 30 που ακολουθεί εμφανίζεται το διάγραμμα διασποράς με προσαρμοσμένη την ευθεία παλινδρόμησης.



Εικόνα 30. Διάγραμμα διασποράς με ευθεία παλινδρόμησης.

Στον Πίνακα 6 παρουσιάζονται οι συσχετίσεις κατά Spearman από όπου βρέθηκε ότι η μόνη στατιστικά σημαντική συσχέτιση ($\alpha = 5\%$), και μάλιστα οριακά τέλεια θετική, εμφανίζεται μεταξύ Μήκους και Περιμέτρου της Παραλίας.

Για σκοπούς πληρότητας, εφαρμόσθηκε Ανάλυση Διακύμανσης (για όλες τις διαθέσιμες χρονιές) στις τιμές των παραλιών που αφορούν στο Μέγιστο Πλάτος από όπου προέκυψε ότι κατά μέσο όρο υπάρχουν παραλίες που εμφανίζουν σημαντικές διαφοροποιήσεις στο μέγιστο πλάτος τους. Εφαρμόζοντας πολλαπλές συγκρίσεις Bonferroni για τον εντοπισμό των παραλιών που εμφανίζουν διαφορά προέκυψαν τα ακόλουθα αποτελέσματα (Πιν. 7).

Τέλος, στην εικόνα 31 παρουσιάζονται οι τιμές του Μέγιστου Πλάτους ανά τα έτη για κάθε μια από τις 10 παραλίες.

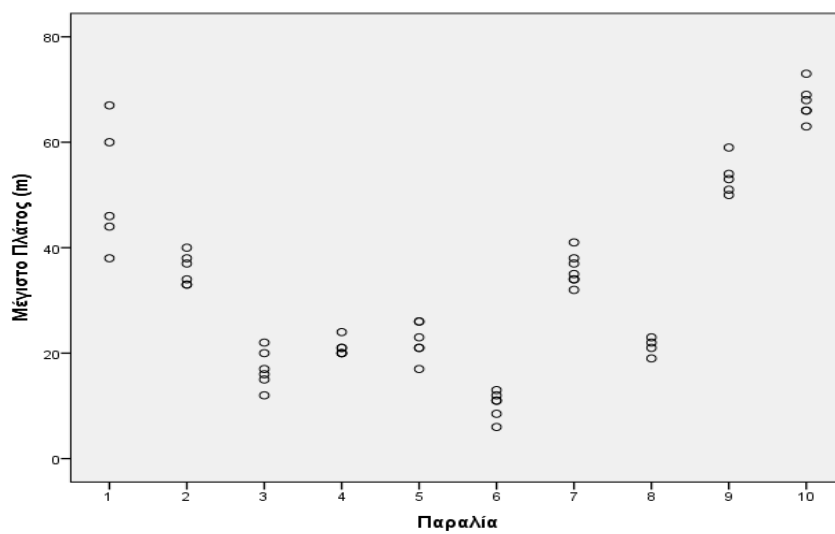
Πίνακας 6. Συσχετίσεις κατά Spearman.

			Κατεύθυνση (μοίρες)	Μήκος (m)	Περίμετρος (m)	Ίζημα	Ενδοχώρα	Beachrockexist
Spearman's rho	Κατεύθυνση (μοίρες)	Correlation Coefficient	1.000	.358	.426	-.375	.111	-.087
		Sig. (2-tailed)	.	.310	.220	.285	.759	.811
		N	10	10	10	10	10	10
Μήκος (m)	Μήκος (m)	Correlation Coefficient	.358	1.000	.960	-.532	.151	.348
		Sig. (2-tailed)	.310	.	.000	.114	.678	.324
		N	10	10	10	10	10	10
Περίμετρος (m)	Περίμετρος (m)	Correlation Coefficient	.426	.960	1.000	-.470	-.033	.349
		Sig. (2-tailed)	.220	.000	.	.170	.928	.323
		N	10	10	10	10	10	10
Ίζημα	Ίζημα	Correlation Coefficient	-.375	-.532	-.470	1.000	-.338	-.269
		Sig. (2-tailed)	.285	.114	.170	.	.339	.452
		N	10	10	10	10	10	10
Ενδοχώρα	Ενδοχώρα	Correlation Coefficient	.111	.151	-.033	-.338	1.000	.000
		Sig. (2-tailed)	.759	.678	.928	.339	.	1.000
		N	10	10	10	10	10	10

Πίνακας 7. Διαφοροποιήσεις στα πλάτη μεταξύ των παραλιών.

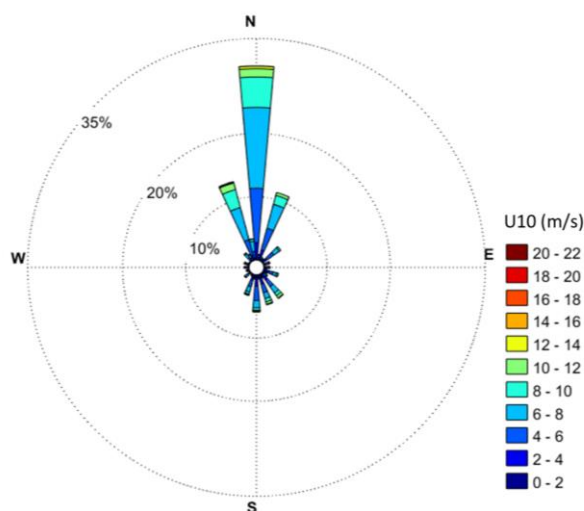
✓: Εμφανίζεται διαφοροποίηση, ✗: Δεν εμφανίζεται διαφοροποίηση

Παραλία	Ποτάμι	Τσαμπού	Τσαμαδού	Λεμονάκια	Κοκκάρι	Κέρβελι	Ψιλή άμμος (Βαθύ)	Λιμνίνας	Ψιλή άμμος (Μαραθόκαμπος)	Βοτσαλάκια
Ποτάμι	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓
Τσαμπού	✓	-	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓
Τσαμαδού	✓	✓	-	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✓
Λεμονάκια	✓	✓	✗	-	✗	✓	✓	✗	✓	✓
Κοκκάρι	✓	✓	✗	✗	-	✓	✓		✓	✓
Κέρβελι	✓	✓	✗	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓
Ψιλή άμμος (Βαθύ)	✓	✗	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓
Λιμνίνας	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✓	-	✓	✓
Ψιλή άμμος (Μαραθόκαμπος)	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓
Βοτσαλάκια	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-



Εικόνα 31. Μέγιστα πλάτη παραλιών ανά τα έτη.

Από την ανάλυση των ανεμολογικών δεδομένων της ΕΜΥ για την 5ετία 2000-2005 φαίνεται πως οι επικρατέστεροι άνεμοι προέρχονται από το βόρειο τομέα, ενώ μικρότερης συχνότητας εμφάνισης είναι οι άνεμοι προερχόμενοι από το νότιο τομέα (Εικ. 32). Αναφορικά με τους ισχυρούς ανέμους (έντασης > 6 beufort, δηλ. μεγαλύτερης των 10.8 m/s) οι οποίοι δύναται να δημιουργήσουν υψηλούς κυματισμούς, προκύπτει πως προέρχονται τόσο από το βόρειο τομέα (συχνότητες εμφάνισης 5% από Β, 3% από ΒΑ και 4% από ΒΔ) όσο και από Ν-ΝΑ κατευθύνσεις (συχνότητα εμφάνισης 6%).



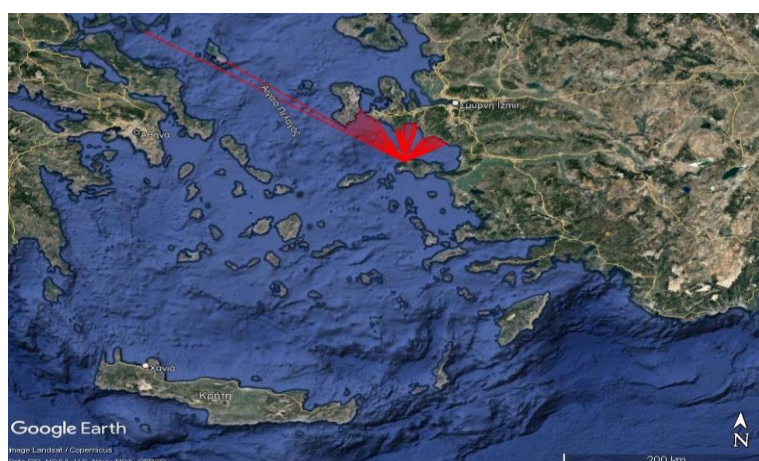
Εικόνα 32. Ροδόγραμμα ανέμων για την περίοδο 2000- 2005 (δεδομένα από ΕΜΥ).

Συγκρίνοντας τα ενεργά μήκη ανάπτυξης των κυματισμών για τις 10 επιλεγμένες παραλίες, τέσσερις από αυτές έχουν τιμές μεγαλύτερες των 60 km (Λημνιώνας, Λεμονάκια, Τσαμαδού και Ποτάμι) εκ των οποίων 2 έχουν ΝΑ προσανατολισμό (Βοτσαλάκια και Λιμνιώνας) και 2 ΒΔ προσανατολισμό (Τσαμαδού και Λεμονάκια) (Πίν. 8). Οι υπόλοιπες 6 παραλίες έχουν σχετικά μικρά μήκη ανάπτυξης κυματισμών, με το μικρότερο να εμφανίζει η παραλία Κέρβελη (28 km) έχοντας ΒΑ προσανατολισμό.

Το μεγαλύτερο ενεργό μήκος ανάπτυξης κυματισμών βρέθηκε για την παραλία Ποτάμι η οποία δέχεται κυματισμούς που μπορεί να έχουν αναπτυχθεί ακόμη και από τη Σκύρο (Εικ. 33).

Πίνακα 8.. Προσανατολισμός και εκτίμηση κυματικών παραμέτρων των μελετώμενων παραλιών.

Α/Α	Όνομα παραλίας	Προσανατολισμός	Ιζηματικός τύπος	Μέγιστο πλάτος	Fetch (km)	Ταχύτητα ανέμου (m/s)	Διάρκεια ανέμου (hours)	H _s (m)	T _p (s)
1	Ποτάμι	ΒΔ	Βότσαλα	60	81.2	10.5	5.6	1.8	5.4
2	Τσαμπού	ΒΔ	Κροκάλες	34	55.6	10.5	5.6	1.7	5.2
3	Τσαμαδού	ΒΔ	Κροκάλες	17	65.4	10.5	5.6	1.8	5.4
4	Λεμονάκια	ΒΑ	Κροκάλες	21	35.0	12.4	7.2	1.6	4.7
5	Κοκκάρι	Β	Βότσαλα	26	34.9	12.8	8.6	1.7	4.8
6	Κέρβελη	ΒΑ	Άμμος και Βότσαλα	6	28.0	12.4	7.2	1.5	4.4
7	Ψιλή Άμμος (Βαθύ)	ΝΔ	Άμμος	35	41.5	11.6	6.0	1.6	4.8
8	Βοτσαλάκια	ΝΑ	Άμμος και Βότσαλα	69	65.2	13.1	6.0	2.4	6.0
9	Λημνιώνας	ΝΑ	Άμμος και Βότσαλα	22	65.8	13.1	6.0	2.4	6.0
10	Ψιλή Άμμος (Μαραθόκαμπος)	Ν	Άμμος	53	38.4	13.6	7.5	1.9	5.0

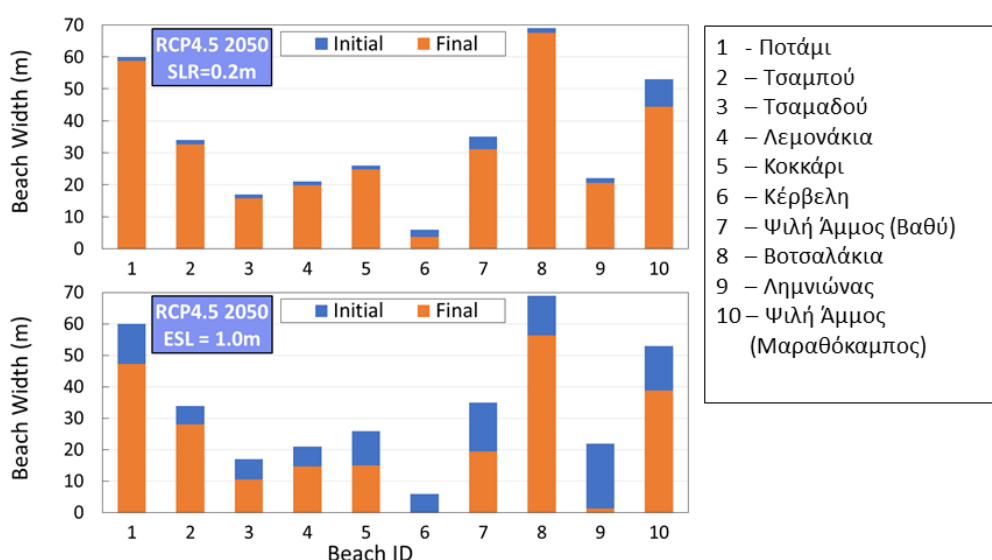


Εικόνα 33. Υπολογισμός αναπτύγματος πελάγους παραλίας Ποτάμι.

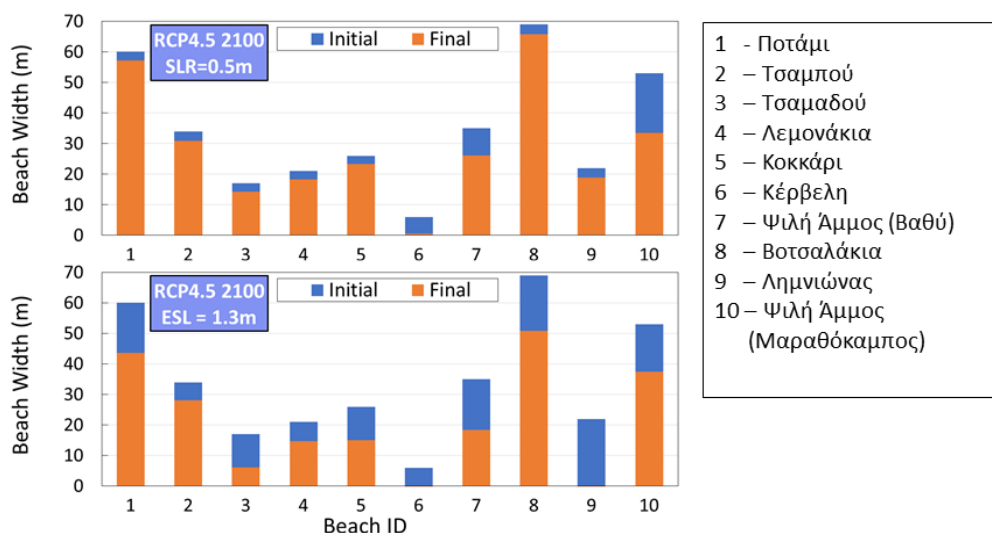
5.3 Παραλιακή Οπισθοχώρηση

Από τις προσομοιώσεις φάνηκε πως υπό το μετριοπαθές σενάριο RCP 4.5 για το έτος 2050 και προβλεπόμενη άνοδος μέσης στάθμης θάλασσας 0.2 m, παρατηρείται πως οι 10 επιλεγμένες παραλίες αναμένεται να επηρεαστούν ελάχιστα ως προς το μέγιστο πλάτος τους, εκτός από την παραλία Ψιλή Άμμος (Μαραθόκαμπος) (No. 10) για την οποία εκτιμήθηκε απώλεια του 25% του μέγιστου πλάτους της. Υπό το ίδιο σενάριο και λαμβάνοντας υπόψη άνοδο η ακραίας θαλάσσιας στάθμης κατά 1m, το 20% των παραλιών χάνουν πάνω από το 50% του μέγιστου πλάτους τους, ενώ 2 παραλίες (Κέρβελη και Λιμνιώνας – No. 6 και 9 αντίστοιχα) φαίνεται να διαβρώνονται ολοκληρωτικά (Εικ. 34).

Υπό το ίδιο κλιματικό σενάριο RCP 4.5 στο τέλος του αιώνα 2100 (Εικ. 35), η μέση στάθμη θάλασσας ανέρχεται στα 0.5 μ, όπου διαβρώνεται πλήρως η μια παραλία (6), 20% αυτών χάνουν το 30% του πλάτους τους και οι υπόλοιπες έχουν μικρές απώλειες 10%. Η Ακραία στάθμη θάλασσας με άνοδο 1.3 μ προκαλεί ολοσχερή απώλεια 20% των παραλιών (6,9), 50% απώλεια πλάτους στις μισές από τις δέκα παραλίες και από 10% απώλεια στις υπόλοιπες.

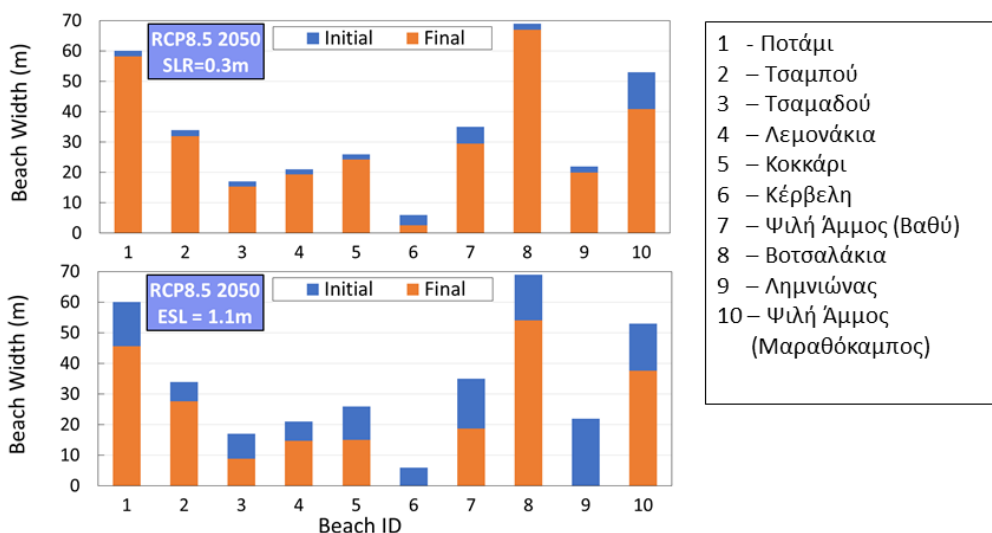


Εικόνα 34. Εκτιμήσεις μείωσης μέγιστου πλάτους των 10 επιλεγμένων παραλιών της Σάμου υπό το σενάριο RCP 4.5 για το έτος 2050 λόγω άνοδου της μακροχρόνιας θαλ. στάθμης (SLR) υπό τις προβλέψεις των στατικών μοντέλων (πάνω) και λόγω άνοδου της ακραίας θαλ. στάθμης (ESL) υπό τις προβλέψεις των δυναμικών μοντέλων (κάτω).



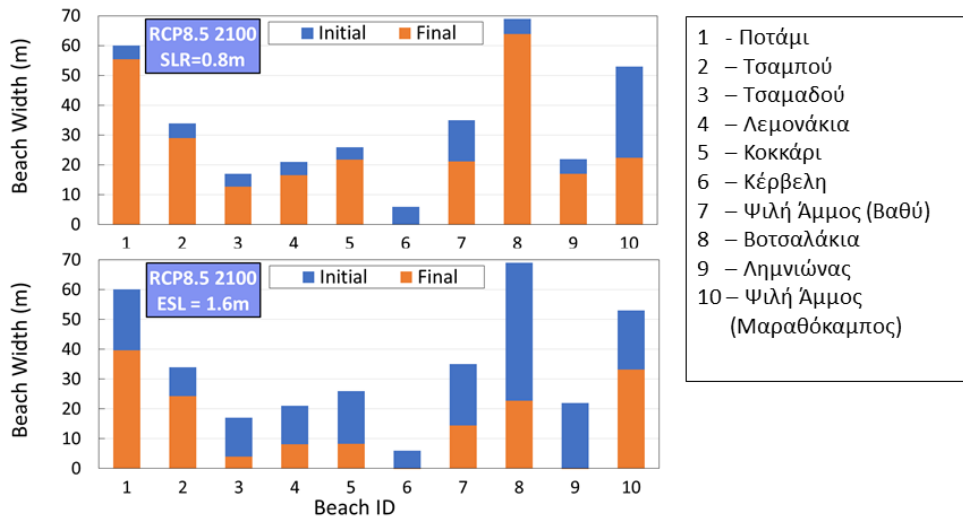
Εικόνα 35. Εκτιμήσεις μείωσης μέγιστου πλάτους των 10 επιλεγμένων παραλιών της Σάμου υπό το σενάριο RCP 4.5 για το έτος 2100 λόγω ανόδου της μακροχρόνιας θαλ. στάθμης (SLR) υπό τις προβλέψεις των στατικών μοντέλων (πάνω) και λόγω ανόδου της ακραίας θαλ. στάθμης (ESL) υπό τις προβλέψεις των δυναμικών μοντέλων (κάτω).

Για το κλιματικό σενάριο RCP 8.5 για το έτος 2050 (Εικ. 36) προβλέπεται άνοδος μέσης στάθμης θάλασσας 0.3μ και απώλεια ελάχιστου πλάτους κατά 10%-30% για την πλειοψηφία των παραλιών εκτός της 6 που χάνεται κατά 50%. Άνοδος ακραίας στάθμης θάλασσας κατά 1.1μ προκαλεί 100% απώλεια σε 2 παραλίες (6.9) και απώλεια 20-50% στις υπόλοιπες 8.



Εικόνα 36. Εκτιμήσεις μείωσης μέγιστου πλάτους των 10 επιλεγμένων παραλιών της Σάμου υπό το σενάριο RCP 8.5 για το έτος 2050 λόγω ανόδου της μακροχρόνιας θαλ. στάθμης (SLR) υπό τις προβλέψεις των στατικών μοντέλων (πάνω) και λόγω ανόδου της ακραίας θαλ. στάθμης (ESL) υπό τις προβλέψεις των δυναμικών μοντέλων (κάτω).

Ίδιο σενάριο εκπομπών RCP 8.5 για το έτος 2100 (Εικ. 37) προκαλεί άνοδο στάθμης θάλασσας 0.8μ και απώλεια 50% του πλάτους σε 2 παραλίες, παντελή απώλεια της υπ αριθμ. 6 παραλίας και 10-20% απώλειες στις υπόλοιπες 7 παραλίες. Η ακραία στάθμη θάλασσας υπό αυτό το σενάριο το έτος 2100 θα έχει ανέλθει στα 1.6μ και θα έχει προκαλέσει ολική διάβρωση δυο παραλιών (6,9), απώλεια πλάτους κατά 70% σε 6 παραλίες και 30% απώλεια πλάτους σε δυο παραλίες.



Εικόνα 37. Εκτιμήσεις μείωσης μέγιστου πλάτους των 10 επιλεγμένων παραλιών της Σάμου υπό το σενάριο RCP 8.5 για το έτος 2100 λόγω άνοδου της μακροχρόνιας θαλ. στάθμης (SLR) υπό τις προβλέψεις των στατικών μοντέλων (πάνω) και λόγω άνοδου της ακραίας θαλ. στάθμης (ESL) υπό τις προβλέψεις των δυναμικών μοντέλων (κάτω).

Οι παραλίες Κέρβελη και Λημνιώνας παρουσιάζονται ως ιδιαίτερως ευπαθείς στην κλιματική αλλαγή. Πρόκειται για παραλίες Ανατολικού και Ν. Ανατολικού προσανατολισμού, ίδιου ιζηματικού τύπου που παρουσίασαν τα ελάχιστα πλάτη από τις επιλεγμένες παραλίες. Στο Λημνιώνα έχει καταγραφεί η παρουσία ακτολίθου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Λόγω της γεωλογικής τους δομής και εξέλιξης, οι 10 εξεταζόμενες παραλίες της Σάμου χαρακτηρίζονται από περιορισμένα μήκη και πλάτη, αποτελώντας χαρακτηριστικό παράδειγμα νησιωτικών παραλιών του Αιγαίου (παραλίες τσέπης – rocket beaches), ενώ μεμονωμένες εξ'αυτών απαρτίζονται από χαλαρά αμμώδη ιζήματα (άμμος). Όμως, η φέρουσα ικανότητά των παραλιών αυτών βρέθηκε να είναι άρκετα σημαντική, μιας και μπορούν να φιλοξενηθούν ταυτόχρονα ~13.000 άτομα.

Οι εκτιμήσεις οπισθοχώρησης των παραλιών αυτών έδειξαν πως οι αμμώδεις παραλίες περιορισμένου πλάτους αναμένεται να επηρεαστούν σημαντικά από την προβλεπόμενη άνοδο της θαλ. στάθμης για τα έτη 2050 και 2100. Για τις παραλίες Κέρβελη και Λιμνιώνας οι προβλέψεις είναι αρκετά δυσσείωνες μιας και εκτιμήθηκε ολική τους οπισθοχώρηση για κάθε εξεταζόμενο σενάριο. Την ίδια στιγμή, οι παραλίες Τσαμαδού, Λεμονάκια, Κοκκάρι, Ψιλή Άμμος (Βαθύ), Βοτσαλάκια και Ψιλή Άμμος (Μαραθόκαμπος) (No. 3, 4, 5, 7, 8 και 10 αντίστοιχα) παρουσιάζουν ιδιαίτερη ευπάθεια στην περίπτωση ανόδου της ακραίας θαλ. στάθμης (ESL) πάνω από 1 m, μιας και εκτιμήθηκε μείωση μεγαλύτερη του 30% του μέγιστου πλάτους τους σε κάθε περίπτωση. Οι παραλίες που φαίνεται να είναι πιο ανεκτικές στην άνοδο της θαλ. στάθμης σε κάθε περίπτωση είναι οι παραλίες Τσαμπού και Τσαμαδού (No. 2 και 3 αντίστοιχα), οι οποίες αποτελούνται από κροκάλες. Αίσθηση προκαλεί το ότι η παραλία Λεμονάκια η οποία επίσης αποτελείται επίσης από κροκάλες παρουσιάζει ιδιαίτερη ευπάθεια στην περίπτωση προσομοιώσεων των ακραίων θαλ. σταθμών, κάτι όμως που μπορεί να εξηγηθεί από την ηπιότερη κλίση που καταγράφηκε στο προφίλ της συγκεκριμένης παραλίας.

Υπό τις προβλέψεις διάβρωσης για την πλειονότητα των εξεταζόμενων παραλιών της Σάμου (και ειδικότερα των αμμωδών για τις οποίες προέκυψαν και οι μεγαλύτερες οπισθοχωρήσεις), φαίνεται πως η φέρουσα ικανότητα αναμένεται να μειωθεί σημαντικά. Λαμβάνοντας δε υπόψη πως ο παραλιακός επισκέπτης προτιμάει κυρίως τις αμμώδεις παραλίες, το τουριστικό προϊόν της Σάμου το οποίο βασίζεται ως επί των πλείστων στο τουριστικό μοντέλο τύπου 3S (Sea-Sun-Sand), αναμένεται να

επηρεαστεί σημαντικά υπό την προβλεπόμενη μακροπρόθεσμη και βραχυπρόθεσμη άνοδο της μέσης θαλ. στάθμης.

Για το λόγο αυτό, προτείνεται να εφαρμοστούν/αναπτυχθούν κατάλληλα διαχειριστικά/ τεχνικά έργα προσαρμογής των παραλιών της Σάμου (και ειδικότερα των αμμώδων) στην άνοδο της θαλ. στάθμης, όπως είναι η τεχνητή αναπλήρωση παραλίας και η κατασκευή σκληρών έργων προστασίας (π.χ. βυθισμένοι κυματοθραύστες).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ

- Βαρώτσος Κ.,(2001) *Ατμόσφαιρα και Αεροπορική Κυκλοφορία*.
- Δερμιτζάκης Μ. και Λέκκας Ε., (2000). *Διερευνώντας τη Γη*, Β΄ έκδοση, Αθήνα.
- Δουκάκης Ε., (2005), *Κλιματικές, γεωδυναμικές, γεωλογικές και φυσικές μεταβλητές προσδιορισμού της παράκτιας επικινδυνότητας*. Εισήγηση, 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο με θέμα «Διαχείριση και Βελτίωση Παράκτιων Ζωνών», Αθήνα.
- Επιτροπή μελέτης επιπτώσεων κλιματικής αλλαγής , (2011) *Μεταβολές της στάθμης της θάλασσας και επιπτώσεις στις ακτές*.
- Κοκκώσης Χ., (2006) *Ολοκληρωμένη Διαχείριση Παράκτιων Ζωνών*.
- Κοκκώσης Χ., Μπεριάτος Η. (2016) *Χωρική Ανάπτυξη και Σχεδιασμός, Θαλάσσιος Χωροταξικός Σχεδιασμός και Ολοκληρωμένη Διαχείριση Παράκτιων Περιοχών* Επιστημονικό Περιοδικό Αειχώρος, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας.
- Κουτίπας Χ. Γ., (1998) *Εισαγωγή στην παράκτια τεχνική και τα λιμενικά έργα*.
- Μουντράκης, Δ. (1985) *Γεωλογία της Ελλάδας*.
- Μυτελέτση Σ., Θεοδώρου, Φ., (200), *Ειδική μελέτη κατασκευής αντιπλημμυρικών – αντιδιαβρωτικών έργων των καμένων εκτάσεων της νήσου Σάμου*. Περιφέρεια Βορείου Αιγαίου, Διεύθυνση Δασών Σάμου.
- Ντρίνια Χ. (2012). *Σημειώσεις Ιζηματολογίας* ΕΚΠΑ, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος.
- Παπαζάχος Β.(2013) *Εισαγωγή στη Γεωφυσική*.
- Παπανικολάου Μ., Παπανικολάου Δ., Βασιλάκης Ε., (2011), *Μεταβολές της Στάθμης της θάλασσας και επιπτώσεις στις ακτές*.
- Σκριμιζέα Ε., Παπακωνσταντίνου Δ. , Σιόλας Α., (2013) (1^ο Συνέδριο Χωρικής Ανάλυσης: Πρακτικά).

ΠΤΥΧΙΑΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

- Ακριώτη Μ. (2009) *Κλιματική αλλαγή*. Παν. Πειραιά, Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών.
- Θωμοπούλου Ε. (2016) *Προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή και χωρικός σχεδιασμός*. Παν. Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχ. Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης.
- Καϊμπαλή Ζ. (2017) *Εκτίμηση των μορφοδυναμικών και κοινωνικο-οικονομικών επιπτώσεων της επικείμενης μεταβολής της θαλάσσιας στάθμης, λόγω κλιματικής αλλαγής, στις παραλίες του Κεντρικού και Βορείου Αιγαίου Πελάγους*.ΕΚΠΑ.

Κομνηνός Κ., (2016) *Ποσοτική ανάλυση της παράκτιας διάβρωσης σε περιβάλλον Γ.Σ.*(2011) *Προβλέψεις οπισθοχώρησης λόγω ανόδου της στάθμης της θάλασσας των παραλιών της ν. Λέσβου*. Παν. Αιγαίου, Τμήμα Θαλάσσιων Επιστημών.

Κοτίνας Β. (2014) *Μελέτη των Πλημμυρών και της Διάβρωσης εδάφους στο νησί της Σάμου, με τη βοήθεια μεθόδων τεχνητής νοημοσύνης και Γ.Σ.Π.ΕΚΠΑ*, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος.

Λουκογεωργάκη Α. Νίκου Μ., Πανταζοπούλου Δ., Πατελίδα Μ. *Σχεδιασμός του Παράκτιου Χώρου στην εποχή της κλιματικής αλλαγής*. Παν. Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχ. Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης.

Μούρτζιος Π., (2008). *Γεωλογικά και υδρογραφικά χαρακτηριστικά που συνδέονται με την ανάπτυξη των χειμάρρων της νήσου Σάμου*. ΕΚΠΑ, Τμήμα Γεωγραφίας.

Σιάφακας Β., (2003) *Επιπτώσεις των κλιματικών αλλαγών στις παράκτιες ζώνες. Παράκτια επικινδυνότητα σε περιοχές της Κω Ε.Μ.Π.* Τμήμα Τοπογραφίας.

Ταπαζίδου Π. (2017) *Εκτίμηση της οπισθοχώρησης της ακτογραμμής των παραλιών της χώρας της Τυνησίας*. Παν. Αιγαίου, Τμήμα Επιστημών της Θάλασσας.

Τρυπιτισίδης Α. (2010) *Κλιματική αλλαγή και πολεοδομία απειλή της αύξησης της στάθμης της θάλασσας στις παράκτιες πόλεις-Case study Ναυπλίου και Κατερίνης*. Παν. Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχ. Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης.

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

Bailey, G., Sakellariou, D. & members of the SPLASHCOS network. 2012. *SPLASHCOS: Submerged Prehistoric Archaeology and Landscapes of the Continental Shelf*. *Antiquity* 86 Issue 334.

Bette L. Otto-Bliesner et al., (2008) *Last Glacial Maximum and Holocene Climate in CCSM3*, *Journal of Climate* 19: p. 2526–2544.

Cazenave A., (2010) *Contemporary Sea Level Rise Annual Review of Marine Science* 2 p. 45-73.

Cedric Brunel and Francois Sabatier, 2007 *Erosion des plages de poche de Provence, Mediterranee* 108: p.77-82.

Church, J.A., et al. (2001) *Changes in sea level*. In Houghton, J.T., et al. *Climate change 2001 The scientific basis: Contribution of working group I to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge: Cambridge University Press, p. 640-693.

EUROSION, 2004 *Living with coastal erosion in Europe: Sediment and Space for Sustainability* (PART II – Maps and statistics, PART III – Methodology for assessing regional indicators).

Fifor J., 1982 *Η ατμόσφαιρα αλλάζει: μια παγκόσμια πρόκληση*.

IPCC Report 2019 *Sea Level Rise Is a Present and Future Danger*.

IPCC REPORT Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change *Climate Change 2001: The scientific basis*.

Mörner N.-A., (2013) *Sea Level Changes past records and future expectations* Energy & Environment 24 p. 509-536.

Rahmstorf Σ., 2007 *A Semi-Empirical Approach to Projecting Future Sea-Level Rise* Science 315 p. 368-370.

Rohling E.J. et al., (2008) *High rates of sea-level rise during the last interglacial period* Nature Geoscience 1 p. 38–42.

Siddall, M., et al., (2008) *Marine isotope stage 3 sea level fluctuations: Data synthesis and new outlook* Reviews of Geophysics 46.

Siddall M., et al., (2010) *Sea-level fluctuations during the last glacial cycle* Nature 423 p. 853-858.

Stewart P., 1989 *Sea-level rise or coastal subsidence?* Atmosphere-Ocean 27:3 p. 461-477.

Vött A., (2007) *Relative sea level changes and regional tectonic evolution of seven coastal areas in NW Greece since the mid-Holocene* Quaternary Science Reviews 26 p. 894-919.

Xuebin Zhang 2012 *Sea level trends, interannual and decadal variability in the Pacific Ocean* Geophysical Research Letters 39.

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

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

Benjamin Fong Chao (1995) *Anthropogenic impact on global geodynamics due to reservoir water impoundment* Geophysical Research Letters 22 p. 3529-3532

Environmental Protection Agency (2020) *Coastal Zone Threats and Management*.

Michael Tsimplis (2002) *Sea level in the Mediterranean Sea: The contribution of temperature and salinity changes* Geophysical Research Letters 29.

Shi et al., (2001). *Towards a sustainable coast: an integrated coastal zone management framework for Shanghai, People's Republic of China* Ocean & Coastal Management 44 p. 411 – 427.

Bricker, O.P., (1971). *Introduction: beachrock and intertidal cement*. Johns Hopkins Press, Baltimore, p. 1–13.

Nicholls, R.J. et al., (2007) *Coastal systems and low-lying areas. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Presented at the Working Group II to the Fourth

Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge. UK. p. 315–356.

Environmental Agency (2019) *Coastal morphological modelling for decision-makers*.