



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΩΤΕΡΗΣ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΩΝ
ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΤΟΥ
ΔΕΙΚΤΗ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ**

ΣΑΡΤΑΜΠΑΚΟΥ Ε. ΑΓΓΕΛΙΚΗ

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΗΤΡΩΟΥ 06107071

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΔΟΥΚΑΚΗΣ ΕΥΣΤΡΑΤΙΟΣ
ΑΝΑΠΛ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2013



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS

SCHOOL OF RURAL & SURVEYING ENGINEERING

DEPARTMENT OF GEODESY

LABORATORY OF HIGHER GEODESY

DIPLOMA THESIS

COASTAL VULNERABILITY INDEX

**PROJECT STUDY ON THE EVALUATION
OF THE INDEX'S RISK PARAMETERS**

SARTAMPAKOU E. ANGELIKI

REGISTRATION NUMBER 06107071

**SUPERVISOR: DOUKAKIS EUSTRATIOS
ASSISTANT PROFESSOR**

ATHENS, MARCH 2013

Η σελίδα παραμένει σκόπιμα λευκή.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσεως, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν αποκλειστικά την συγγραφέα και δεν θα πρέπει να ερμηνευθεί πως αντιπροσωπεύουν απαραίτητα τις επίσημες επιστημονικές θέσεις άλλων παραγόντων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Επικοινωνία: angie_sart@live.com

*Αφιερωμένη σε όλους εκείνους που με τη μοναδικότητά τους,
γίνονται πηγή έμπνευσης για τους υπόλοιπους.*

Η σελίδα παραμένει σκόπιμα λευκή.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εκπονήθηκε ως μέρος του προγράμματος των Προπτυχιακών Σπουδών της Σχολής Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου της Αθήνας, στο πλαίσιο της ολοκλήρωσης των σπουδαστικών υποχρεώσεων στο εν λόγω Τμήμα. Στόχος της εργασίας είναι η εμβάθυνση σε θέματα προσδιορισμού της επικινδυνότητας της παράκτιας ζώνης. Η εργασία φέρει τον τίτλο:

«Δείκτης Παράκτιας Επικινδυνότητας: Διερεύνηση της Αξιολόγησης των Παραμέτρων Κινδύνου του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας»

και το επιστημονικό της περιεχόμενο υπάγεται στις ειδικές αρμοδιότητες του Εργαστηρίου Ανώτερης Γεωδαισίας του Τομέα Τοπογραφίας της Σχολής Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών του Ε.Μ.Π. Η ανάθεση του θέματος και η επίβλεψη της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας πραγματοποιήθηκε από τον Αναπληρωτή Καθηγητή του Τομέα Τοπογραφίας, κ. Δουκάκη Ευστράτιο.

Αντικείμενο της εργασίας αποτελεί η διεξαγωγή μιας ουσιαστικής μελέτης με σκοπό την ανάδειξη ενός μαθηματικού συλλογισμού για την απόδοση ειδικών τιμών βαρύτητας στις επιμέρους μεταβλητές που λαμβάνουν μέρος στον υπολογισμό του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας αποκλειστικά για τις ελληνικές ακτογραμμές. Η απόδοση τιμών βαρύτητας στις μεταβλητές προϋποθέτει την ιεράρχηση αυτών σύμφωνα με την επίδραση που δύναται να έχουν στο φαινόμενο κατάκλυσης μιας παράκτιας ζώνης από μια ενδεχόμενη άνοδο της Μέσης Στάθμης της Θάλασσας. Αποτέλεσμα της έρευνας που διεξάγεται στα πλαίσια της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η σύνθεση ενός μαθηματικού τύπου για τον υπολογισμό του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας, ο οποίος αποτελεί τον ακρωγωνιαίο λίθο του νέου μαθηματικού μοντέλου που προτείνεται για τον καθορισμό του μεγέθους της επικινδυνότητας στην οποία υπόκειται μια παράκτια περιοχή ή ευρύτερη παράκτια ζώνη από τη γειτνίαση με το εγγύς θαλάσσιο περιβάλλον.

Την τριμελή εξεταστική επιτροπή αποτέλεσαν οι κ. κ. *Νάκος Βύρωνας*, Καθηγητής Ε.Μ.Π., *Βεσκούκης Βασίλειος*, Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π. και *Δουκάκης Ευστράτιος*, Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π., με επιβλέποντα καθηγητή τον κ. Δουκάκη.

Ευχαριστίες

Η επιτυχής ολοκλήρωση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας σηματοδοτεί το τέλος μιας περιόδου φοίτησης συνολικής διάρκειας πέντε (5) ετών στη Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, στην Αθήνα. Καθ' όλη τη διάρκεια αυτών των χρόνων συνεργάστηκα με υπέροχους ανθρώπους, συμφοιτητές και συμφοιτήτριες που αποτέλεσαν σημείο αναφοράς για μένα, καθώς επίσης και με μια πληθώρα καθηγητών, επιστήμονες με ευρεία γνώση του αντικειμένου τους και αμείωτο ενδιαφέρον για την τέχνη της Τοπογραφίας σε όλες τις εκφάνσεις της.

Με το πέρας της Διπλωματικής μου Εργασίας νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα Καθηγητή, κ. *Δουκάκη Ευστράτιο*, για την ανάθεση του πρωτότυπου αυτού θέματος και τη διαρκή στήριξη που μου παρείχε σε θέματα κατανόησης του αντικειμένου και βιβλιογραφικής έρευνας. Στόχος μου όταν ανέλαβα το θέμα της μελέτης για τον Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας από τον κ. Δουκάκη ήταν να αποκτήσω ειδικές επιστημονικές γνώσεις επί του αντικειμένου που σπούδαζα τόσα χρόνια, κατευθύνοντας παράλληλα την άκρη του βέλους σε μια μελλοντική εξειδίκευση σε θέματα Θαλάσσιας Τοπογραφίας. Με ικανοποίηση διαπιστώνω πως πετυχαίνοντας τον παραπάνω στόχο, συνέβαλλα παράλληλα ώστε το περιεχόμενο της εργασίας να αποτελέσει τον ακρογωνιαίο λίθο για περαιτέρω έρευνα σε θέματα τυποποίησης της παράκτιας επικινδυνότητας.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τη φίλη και απόφοιτο του Τμήματος Στατιστικής & Ασφαλιστικής Επιστήμης του Πανεπιστημίου Πειραιώς, *Καϊτάνη Κατερίνα*, που μου παρείχε την απαραίτητη βιβλιογραφική στήριξη σε εξειδικευμένα θέματα Στατιστικής Θεωρίας για την σύνθεση του πυρήνα της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Ιδιαίτερα θερμές είναι και οι ευχαριστίες μου για την καλή μου φίλη *Γαλανού Κατερίνα*, κάτοχο του τίτλου σπουδών του Τμήματος Μηχανικών Μεταλλείων και Μεταλλουργών Μηχανικών του Ε.Μ.Π. και κάτοχο του τίτλου μεταπτυχιακών σπουδών του Ε.Μ.Π. στους Υδατικούς Πόρους, της οποίας η επιστημονική αντίληψη και αντικειμενική κρίση ήταν για μένα κάτι παραπάνω από πολύτιμες.

Οι επώνυμες ευχαριστίες που αποδίδω σε όλους όσους συνέβαλλαν με τον τρόπο τους στην περάτωση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας θα ήταν ελλειπείς, εάν εξαιρούσα από αυτές τον κ. *Αναστόπουλο Αντώνη*, Διπλωματούχο Πολιτικό Μηχανικό της εταιρείας ΑΡΧΙΜΗΔΗΣ Α.Τ.Ε., του οποίου οι εγκυκλοπαιδικές γνώσεις παρείχαν μια ενδιαφέρουσα απάντηση σε ένα κρίσιμο ερώτημα που αντιμετώπισα στην πορεία της μελέτης.

Τις ευχαριστίες μου θα ήθελα επίσης να εκφράσω στους κ.κ. *Γεωργόπουλο Ανδρέα*, Καθηγητή στη Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων του Ε.Μ.Π., και *Ρόζο Δημήτρη*, Αναπληρωτή Καθηγητή στη Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων και Μεταλλουργών του Ε.Μ.Π., για την πολύτιμη ενημέρωση που μου παρείχαν σχετικά με τους ελληνικούς δημόσιους φορείς που διαθέτουν πρωτογενή δεδομένα για κοινή χρήση.

Τέλος, τις ιδιαίτερες ευχαριστίες και την αγάπη μου θέλω να εκφράσω στον πατέρα μου, *Λευτέρη*. Όσες φορές κι αν βρίσκω τοίχο μπροστά μου, είναι ο άνθρωπος εκείνος που κάθε φορά υποδεικνύει σαφώς την πόρτα, και κάθε φορά εμπιστεύεται το κλειδί στα χέρια μου.

Σαρταμπάκου Ε. Αγγελική

Αθήνα, Μάρτιος 2013

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια γίνεται πολύ συχνά λόγος για την κατάσταση του κλίματος στη Γη. Η ατμόσφαιρα του πλανήτη διανύει μια περίοδο πρωτοφανών αλλαγών για τα ανθρώπινα δεδομένα, οι οποίες απειλούν να διαταρράξουν την κλιματική ισορροπία μέσα στην οποία η ζωή εξελίχθηκε και διατηρείται μέχρι σήμερα. Μια από τις πλέον βέβαιες επιπτώσεις της κλιματικής αυτής διαταραχής θεωρείται η παγκόσμια «ευστατική» άνοδος της Μέσης Στάθμης της Θάλασσας (ΜΣΘ), γεγονός που εντείνει την ανησυχία για τις πιθανές μεταβολές ή ακόμα και τον κίνδυνο που διατρέχουν οι παράκτιες περιοχές των διαφόρων κρατών. Ο όρος «ευστατισμός» αναφέρεται στις παγκόσμιες και μακροχρόνιες μεταβολές του επιπέδου της στάθμης των υδάτων. Η βασικότερη αιτία του ευστατισμού είναι η μεταβολή του όγκου των ωκεάνιων υδάτων, κυρίως λόγω της μεταβολής του όγκου των παγετώνων.

Προκειμένου να αναγνωριστούν οι παράκτιες εκείνες περιοχές που βρίσκονται σε άμεσο κίνδυνο κατακλυσμού σε περίπτωση ανόδου της στάθμης της θάλασσας, απαιτείται ένα μαθηματικό μοντέλο ικανό να σταθμίζει ορισμένους παράγοντες και να αποδίδει αξιόπιστα αποτελέσματα. Στην παρούσα φάση το μαθηματικό μοντέλο υφίσταται και αποτελεί έναν ποιοτικό δείκτη με την ονομασία *Δείκτης Παράκτιας Επικινδυνότητας (Coastal Vulnerability Index – CVI)*. Ωστόσο, η αξιοπιστία της υπάρχουσας μεθοδολογίας για τον υπολογισμό του εν λόγω δείκτη αμφισβητείται έντονα. Οι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη για να προκύψει η τιμή του δείκτη θεωρούνται ισοδύναμοι ως προς την επιρροή που έχουν απέναντι στην πιθανότητα κατακλυσμού μιας παράκτιας περιοχής, γεγονός που εκ των πραγμάτων είναι αδύνατο.

Αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η διεξαγωγή μιας ουσιαστικής μελέτης με σκοπό την ανάδειξη ενός μαθηματικού συλλογισμού για την *απόδοση ειδικών τιμών βαρύτητας* στις μεταβλητές εκείνες που συμμετέχουν στον υπολογισμό της τιμής που λαμβάνει ο Δείκτης Παράκτιας Επικινδυνότητας, με εφαρμογή του τύπου σε όλες τις ελληνικές ακτογραμμές. Λόγω της ιδιαίτερης φύσης της συγκεκριμένης μελέτης, η δειγματοληψία για τις ανάγκες εξαγωγής του μαθηματικού αυτού τυπολογίου δεν περιορίζεται μόνο σε παράκτιες περιοχές του βόρειου ή νότιου τμήματος της χώρας, αντιθέτως το τελικά επιλεγμένο *Δείγμα Ακτογραμμών* αποτελείται από *έντεκα (11)* ακτογραμμές οι οποίες έχουν επιλεγεί προσεκτικά από ποικίλα σημεία της παράκτιας ελληνικής επικράτειας.

Η απόδοση τιμών βαρύτητας στις μεταβλητές πραγματοποιείται μέσω *ανάλυσης παλινδρόμησης* στο επιλεγμένο δείγμα ακτογραμμών, το οποίο λόγω του εκτενούς μεγέθους

της περιοχής μελέτης, αποτελείται από *συνθετικά δεδομένα*, δηλαδή πλασματικές ακτογραμμές με διαφοροποιούμενα χαρακτηριστικά που όμως δημιουργήθηκαν στη βάση ρεαλιστικών υποθέσεων. Βασικό προπαρασκευαστικό στάδιο της διαδικασίας απόδοσης βαρών αποτελεί η *ιεράρχηση των μεταβλητών* του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας σύμφωνα με το μέγεθος της συμβολής και επίδρασης της εκάστοτε μεταβλητής σε θέματα παράκτιας επικινδυνότητας. Η εν λόγω διαδικασία ιεράρχησης στήριζεται αποκλειστικά σε βιβλιογραφικές αναφορές, ενώ μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας παλινδρόμησης ακολουθεί η αναμόρφωση της ιεραρχίας των μεταβλητών, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της εν λόγω διαδικασίας. Μετά το πέρας της ανάλυσης παλινδρόμησης διαμορφώνεται ένα *νέο τυπολόγιο εκθετικής μορφής* για τον υπολογισμό του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας. Απαραίτητο βήμα της μελέτης αποτελεί ο καθορισμός του συνολικού εύρους τιμών του νέου μαθηματικού τύπου και η καταμέριση αυτού σε ίσα επιμέρους εύρη τιμών, σε καθένα από τα οποία αποδίδεται ένας ορισμένος χαρακτηρισμός παράκτιας επικινδυνότητας.

Επόμενο στάδιο της μελέτης είναι η *καθιέρωση της αξιοπιστίας* του νέου τυπολογίου, γεγονός που επιτυγχάνεται μέσω του ελέγχου της εγκυρότητας του προτεινόμενου μοντέλου. Ο έλεγχος αυτός προϋποθέτει τη σύγκριση των αποτελεσμάτων που αποδίδει το υπάρχον μοντέλο και των αποτελεσμάτων που αποδίδει το νέο μοντέλο παράκτιας επικινδυνότητας. Η συγκριτική ανάλυση απέδωσε αποκλίσεις που κυμαίνονται σε πολύ χαμηλά επίπεδα και έτσι διασφαλίζεται ότι το νέο μοντέλο παράκτιας επικινδυνότητας αποδίδει ρεαλιστικά αποτελέσματα. Ωστόσο, η *ρεαλιστικότητα* των αποτελεσμάτων που αποδίδει το προτεινόμενο μοντέλο παράκτιας επικινδυνότητας δεν συνεπάγεται απαραίτητα και την *αξιοπιστία* του νέου μοντέλου σε θέματα ακριβούς προσδιορισμού της επικινδυνότητας που χαρακτηρίζει *μια συγκεκριμένη παράκτια περιοχή*.

Για το σκοπό αυτό πραγματοποιείται μια *εφαρμογή* του προτεινόμενου μαθηματικού τυπολογίου, και αυτή τη φορά η μελέτη επικεντρώνεται σε μια *συγκεκριμένη ακτογραμμή* της παράκτιας ελληνικής επικράτειας. Η ολοκλήρωση της παραπάνω εφαρμογής καταδεικνύει για ακόμα μια φορά ότι τα αποτελέσματα του προτεινόμενου μαθηματικού τύπου βρίσκονται σε *λογική σύγκριση* με το τυπολόγιο που χρησιμοποιείται σήμερα ευρέως σε μελέτες παράκτιας επικινδυνότητας παγκοσμίως. Ταυτόχρονα, η εφαρμογή κατέστησε σαφή την *αδυναμία* των υπόλοιπων μαθηματικών τυπολογίων πλην του υπάρχοντος μοντέλου, να αποδώσουν με αξιόπιστο τρόπο την πραγματική ελληνική παράκτια κατάσταση. Τέλος, μέσα από την εν λόγω εφαρμογή αποδεικνύεται έμπρακτα ότι το νέο τυπολόγιο αποτελεί μια *αξιόπιστη μέθοδο* απόδοσης χαρακτηρισμών επικινδυνότητας σε ελληνικές παράκτιες ζώνες και ταυτόχρονα, πρόκειται για την *περισσότερο ρεαλιστική λύση* από τις μέχρι στιγμής υπάρχουσες.

ABSTRACT

In the late years, much stir is caused concerning the climatic conditions on Earth. The atmosphere of the planet is subject to unprecedented –for human measures- changes that threaten to disturb the climatic balance through which life evolved and continues to thrive until the present day. One of the most indisputable repercussions of this climatic imbalance is the global “*eustatic*” rise of the *Mean Sea Level (MSL)*, a fact that strains concerns of possible alterations of or even the danger to which coastal areas of many countries are exposed. The term “*eustatism*” refers to global and long term variations of sea level. The main driving cause of eustatism is the variation of the ocean water volume, mainly due to the variation of the glacier volume.

In order to identify the coastal areas bearing the highest danger of flooding in case of sea level rise, a mathematical formula is required that will be capable of weighting certain factors and exporting reliable results. In the time being, that mathematical formula exists and constitutes a qualitative index known as *Coastal Vulnerability Index (CVI)*. However, the reliability of the existing methodology to estimate the aforementioned index is keenly questioned. The factors taken into consideration, in order for the value of the index to come up, are considered equal as far as the effect they have on the probability of a coastal area flooding, which is by default impossible.

The objective of the at hand thesis is the conduction of a substantial study with the purpose of deriving a mathematical procedure to *attribute specific weight values* to those variables that participate in the calculation of the values that the Coastal Vulnerability Index takes, for a specific coastal area included in the list of Greek coastlines. Because of the specific nature of the study, the sampling for the need of extracting this mathematical handbook isn’t confined in coastal areas of only the northern or southern part of the country; on the contrary, the ultimately chosen *Coastline Sample* constitutes of *eleven (11)* coastlines that are carefully picked out from various points of the Greek coastal territory.

For this purpose, a *regression analysis* is performed on the selected Coastlines Sample which, due to the vast size of the area under study, is consisted of *synthetic data*, in other words fictitious coastlines with differentiated characteristics, nevertheless created on the basis of realistic assumptions. A crucial preparation step in the value attributing process is the *scaling of variables* of the Coastal Vulnerability Index according to how much each variable contributes and affects matters of coastal hazard.

The aforementioned scaling procedure is based exclusively on bibliographic references, while following the completion of the regression process, comes the reform of the variables scaling, according to the results of the process. The specific regression analysis suggests the formation of a *new handbook of exponential form* for the computation of the Coastal Vulnerability Index. A necessary step of the study is the determination of the overall value range of the new mathematical formula and its apportionment in equal value ranges, to each of which a specific coastal hazard characterization is assigned.

The next stage of the study is establishing the *reliability* of the new handbook, which is achieved through securing the validity of the suggested model. This checking presupposes comparing the results extracted by the existing model to those ascribed by the new model of coastal vulnerability. The comparative analysis gave out divergences ranged in low rates, thus securing that the new model of coastal vulnerability produces realistic results. However, the *plausibility* of the results does not necessarily entail the reliability of the new model in matters of precise determination of the hazard that describes *a specific coastal area*.

For this purpose, an *application* of the suggested mathematical formula takes place, and this time the study concentrates on a *specific coastline* of the Greek coastal territory. With the completion of the application mentioned above, it is evinced once more that the results of the mathematical formula are in a *logical comparison* to the handbook used broadly in our days in various studies of coastal vulnerability worldwide. At the same time, the application demonstrated the *weakness* of the rest of the mathematical handbooks – but the existing formula – to ascribe in a reliable way the true Greek coastal conditions. Finally, through the aforementioned application, it is factually proved that the new handbook constitutes *a reliable method* of ascribing hazard characterizations to Greek coastal zones while being *the most realistic solution* of the existing ones.

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1**

ΤΟ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	2
1.1 Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας είναι γεγονός	2
1.2 Σύγχρονες μελέτες και προβλέψεις	3
1.3 Παράκτια ζώνη και παράκτια επικινδυνότητα	5
1.4 Εισαγωγή στον Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας (CVI)	7
1.5 Μεθοδολογικό Πλαίσιο	13

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ	16
2.1 Συνοπτική παρουσίαση των μεταβλητών	16
2.2 Γεωλογικές Μεταβλητές	18
2.2.1 Γεωλογία και Παράκτιες Γεωμορφές	18
2.2.2 Παράκτια Κλίση	20
2.2.3 Ιστορική Μετατόπιση της Ακτογραμμής	22
2.3 Μεταβλητές των φυσικών διεργασιών	23
2.3.1 Σχετική Μεταβολή της Στάθμης της Θάλασσας	23
2.3.2 Μέσο Σημαντικό Ύψος Κύματος	24
2.3.3 Μέσο Παλιρροιακό Εύρος	28
2.4 Απαιτήσεις ακρίβειας σε μια μελέτη παράκτιας επικινδυνότητας	31
2.5 Τρόποι συλλογής των απαραίτητων δεδομένων	32
2.5.1 Λήψη Δεδομένων στο Πεδίο	32
2.5.2 Χάρτες και Τοπογραφικά Διαγράμματα	34
2.5.3 Αεροφωτογραφίες, Ορθοφωτογραφίες & Ορθοφωτοχάρτες	38
2.5.4 Πλωτοί Μετρητικοί Σταθμοί	40
2.5.5 Παλιρροιομέτρα και Παλιρροιογράφοι	42
2.5.6 Δορυφορική Αλτιμετρία	44
2.6 Κατηγοριοποίηση των μεταβλητών	47
2.7 Το υπάρχον τυπολόγιο και οι χαρακτηρισμοί επικινδυνότητας	49

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΙΕΡΑΡΧΗΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	56
3.1 Εισαγωγή στην πολυκριτηριακή ανάλυση	56

3.2 Η μέθοδος πολυκριτηριακής ανάλυσης <i>REGIME</i>	58
3.3 Εφαρμογή της μεθόδου για το συγκεκριμένο πρόβλημα ιεράρχησης	59
3.3.1 Καθορισμός προβλήματος αξιολόγησης	60
3.3.2 Καθορισμός εναλλακτικών λύσεων	61
3.3.3 Κριτήρια αξιολόγησης και σχετική σπουδαιότητα κριτηρίων	70
3.4 Τελική επιλογή Ιεράρχησης της Επικινδυνότητας των μεταβλητών	72

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΩΝ	76
4.1 Το διττό πρόβλημα της δειγματοληψίας	77
4.2 Εισαγωγή στην Κανονική κατανομή	78
4.2.1 Στοιχεία της Κανονικής κατανομής	78
4.2.2 Κεντρικό Οριακό Θεώρημα	80
4.2.3 Εκτιμητές παραμέτρων και Διαστήματα εμπιστοσύνης	81
4.2.4 Λόγοι για την επιλογή της κανονικής κατανομής	83
4.3 Επιλογή μεγέθους του δείγματος	83
4.4 Εναλλακτικά σενάρια δειγματοληψίας	85

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΥ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΕΡΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ	94
5.1 Η έννοια της παλινδρόμησης	94
5.2 Η μέθοδος της πολλαπλής, μη – γραμμικής παλινδρόμησης	96
5.3 Προγραμματιστικό περιβάλλον <i>Excel</i>	97
5.3.1 Η συνάρτηση <i>LOGEST</i>	98
5.3.2 Ο συντελεστής προσδιορισμού R^2	100
5.4 Τελική επιλογή σεναρίου δειγματοληψίας	101
5.5 Παρουσίαση του νέου τυπολογίου και σχολιασμός	104

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΟΥ ΝΕΟΥ ΤΥΠΟΛΟΓΙΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ	110
6.1 Μεθοδολογία τυποποίησης των μεταβλητών	111
6.2 Έλεγχος εγκυρότητας του νέου τυπολογίου	113
6.3 Εύρος τιμών του νέου τυπολογίου	119
6.3.1 Ανώτατο όριο του εύρους τιμών	120

6.3.2 Κατώτατο όριο του εύρους τιμών	122
6.3.3 Διαχωρισμός σε κλάσεις και απόδοση χαρακτηρισμών επικινδυνότητας	123

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΥΠΟΛΟΓΙΟΥ ΕΠΙ ΔΕΔΟΜΕΝΗΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ	126
7.1 Καθορισμός του Δείγματος Διατομών	127
7.2 Αποτελέσματα για τον Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας	129
7.3 Καθορισμός των ανώτατων και κατώτατων ορίων ανά τυπολόγιο	131
7.4 Διαχωρισμός σε κλάσεις και απόδοση χαρακτηρισμών επικινδυνότητας	132
7.5 Τελικά αποτελέσματα εφαρμογής και σχολιασμός	133

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΑ ΣΧΟΛΙΑ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	136
8.1 Αποτελέσματα της μελέτης	136
8.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	139

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	144
---------------------------	-----

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

- **Πίνακας 2.1:** Λίστα με τις διατιθέμενες αεροφωτογραφίες της Γ.Υ.Σ.
Πηγή: Ιστότοπος Γ.Υ.Σ.....40
- **Πίνακας 2.2:** Κατηγοριοποίηση των μεταβλητών του CVI κατά Gornitz και White (1992).
Πηγή: Ιστότοπος USGS.....48
- **Πίνακας 2.3:** Κατηγοριοποίηση των μεταβλητών του CVI κατά Pendleton et al (2004).
Πηγή: Αλεξανδράκης et al, 2009.....48
- **Πίνακας 2.4:** Οι τυποποιήσεις του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας.
Πηγή: Σιαφάκας, 2003.....50
- **Πίνακας 3.1:** Η ιεράρχηση των μεταβλητών σύμφωνα με την Εναλλακτική Λύση 1.....62
- **Πίνακας 3.2:** Η ιεράρχηση των μεταβλητών σύμφωνα με την Εναλλακτική Λύση 2.....65
- **Πίνακας 3.3:** Εκτίμηση των ποσοστών παράκτιας κλίσης σε περιοχές των ακτών του Αιγαίου.
Πηγή: Αλεξανδράκης et al, 2009.....66
- **Πίνακας 3.4:** Η ιεράρχηση των μεταβλητών σύμφωνα με την Εναλλακτική Λύση 3.....68
- **Πίνακας 3.5:** Πίνακας επιπτώσεων για εφαρμογή της μεθόδου πολυκριτηριακής ανάλυσης REGIME.....70
- **Πίνακας 3.6:** Πίνακας προτεραιοτήτων για εφαρμογή της μεθόδου πολυκριτηριακής ανάλυσης REGIME.....72
- **Πίνακας 3.7:** Πίνακας εκτιμήσεων για εφαρμογή της μεθόδου πολυκριτηριακής ανάλυσης REGIME.....73
- **Πίνακας 4.1:** Οι συντελεστές εμπιστοσύνης ($I-\alpha$) και οι αντίστοιχοι πολλαπλασιαστές εμπιστοσύνης κ82
- **Πίνακας 4.2:** Οι τιμές σχετικής επικινδυνότητας που λαμβάνει το Δείγμα Ακτογραμμών 1.....89
- **Πίνακας 4.3:** Οι τιμές σχετικής επικινδυνότητας που λαμβάνει το Δείγμα Ακτογραμμών 2.....90
- **Πίνακας 4.4:** Οι τιμές σχετικής επικινδυνότητας που λαμβάνει το Δείγμα Ακτογραμμών 3.....92

- **Πίνακας 5.1:** Η αντιστοιχία συμβολισμού και ονομασίας μεταβλητής για το μοντέλο του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας.....97
- **Πίνακας 5.2:** Πίνακας τιμών με τα στοιχεία παλινδρόμησης.
Πηγή: Ιστότοπος *Microsoft*.....98
- **Πίνακας 5.3:** Επεξήγηση των στοιχείων παλινδρόμησης.
Πηγή: Ιστότοπος *Microsoft*.....99
- **Πίνακας 5.4:** Ανάλυση Παλινδρόμησης για το Δείγμα Ακτογραμμών 1.....102
- **Πίνακας 5.5:** Ανάλυση Παλινδρόμησης για το Δείγμα Ακτογραμμών 2.....102
- **Πίνακας 5.6:** Ανάλυση Παλινδρόμησης για το Δείγμα Ακτογραμμών 3.....103
- **Πίνακας 5.7:** Η τελική μορφή των νέων μαθηματικών τύπων του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας.....103
- **Πίνακας 5.8:** Επεξήγηση της αντιστοιχίας μεταξύ συμβολισμού και ονομασίας των μεταβλητών.....105
- **Πίνακας 5.9:** Αντιστοιχία μεταξύ ονομασίας των μεταβλητών και τιμών βαρύτητας.....105
- **Πίνακας 5.10:** Η ιεράρχηση των μεταβλητών σύμφωνα με την Ανάλυση Παλινδρόμησης.....107
- **Πίνακας 6.1:** Η αντιστοιχία συμβολισμού και ονομασίας των μεταβλητών για το υπάρχον μοντέλο του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας.....113
- **Πίνακας 6.2:** Η αντιστοιχία συμβολισμού και ονομασίας των μεταβλητών για το νέο μοντέλο του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας.....114
- **Πίνακας 6.3:** Το επιλεγμένο Δείγμα Ακτογραμμών και οι τιμές του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας με χρήση του ήδη υπάρχοντος και του νέου τυπολογίου.....116
- **Πίνακας 6.4:** Η διαδικασία της τυποποίησης των αποτελεσμάτων του υπάρχοντος τυπολογίου.....117
- **Πίνακας 6.5:** Η διαδικασία της τυποποίησης των αποτελεσμάτων του νέου τυπολογίου.....118
- **Πίνακας 6.6:** Οι τιμές των τυποποιημένων μεταβλητών και η απόκλιση των αποτελεσμάτων.....119
- **Πίνακας 6.7:** Θεωρητικό σενάριο για τον υπολογισμό του ανώτατου ορίου του εύρους τιμών του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας.....121
- **Πίνακας 6.8:** Πραγματικό σενάριο για τον υπολογισμό του ανώτατου ορίου του εύρους τιμών του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας.....121
- **Πίνακας 6.9:** Θεωρητικό σενάριο για τον υπολογισμό του κατώτατου ορίου του εύρους τιμών του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας.....122

- **Πίνακας 6.10:** Πραγματικό σενάριο για τον υπολογισμό του κατώτατου ορίου του εύρους τιμών του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας.....123
- **Πίνακας 6.11:** Καθορισμός των κλάσεων του μοντέλου και οι αντίστοιχοι χαρακτηρισμοί παράκτιας επικινδυνότητας.....124
- **Πίνακας 7.1 :** Οι τιμές σχετικής επικινδυνότητας που λαμβάνει το Δείγμα Διατομών.....128
- **Πίνακας 7.2:** Ο πλήρης κατάλογος των τυποποιήσεων του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας.....129
- **Πίνακας 7.3:** Οι τιμές που λαμβάνει ο Δείκτης Παράκτιας Επικινδυνότητας ανά μαθηματικό τυπολόγιο.....130
- **Πίνακας 7.4:** Συγκεντρωτική παρουσίαση των ακραίων σημείων και του εύρους τιμών ανά τυπολόγιο.....132
- **Πίνακας 7.5:** Οι χαρακτηρισμοί παράκτιας επικινδυνότητας ανά μαθηματικό τυπολόγιο του δείκτη.....133
- **Πίνακας 7.6:** Συγκεντρωτική παρουσίαση των τελικών αποτελεσμάτων του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας για την υπό μελέτη ακτογραμμή.....134

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

- **Εικόνα 2.1:** Σχηματική αναπαράσταση της υφαλοκρηπίδας.
Πηγή: Ιστότοπος *Βικιπαίδεια*.....21
- **Εικόνα 2.2:** Η συνδυασμένη επιδραση της μετεωρολογικής παλίρροιας και της αστονομικής παλίρροιας δημιουργεί την παλίρροια καταγιίδα.
Πηγή: Ιστότοπος *Βικιπαίδεια*.....30
- **Εικόνα 2.3:** Τοπογραφική αποτύπωση ακτογραμμής και συλλογή των απαιτούμενων στοιχείων.....33
- **Εικόνα 2.4:** Τοπογραφικό διάγραμμα της Γ.Υ.Σ. κλίμακας 1:5.000.
Πηγή: Μακρίδης, 2008.....36
- **Εικόνα 2.5:** Τοπογραφικός χάρτης της Γ.Υ.Σ. κλίμακας 1:50.000.
Πηγή: Μακρίδης, 2008.....36
- **Εικόνα 2.6:** Γεωλογικός χάρτης του *Ι.Γ.Μ.Ε.* για όλη την Ελλάδα, κλίμακας 1:500.000.
Πηγή: Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, 1983.....37
- **Εικόνα 2.7:** Το κυματικό μοντέλο *ΠΟΣΕΙΔΩΝ*.
Πηγή: Κόφτης, 2009.....41
- **Εικόνα 2.8:** Σύγχρονος ηλεκτρονικός παλιρροιογράφος σε προβλήτα λιμανιού.....43
- **Εικόνα 2.9:** Ο δορυφόρος αλτιμετρίας *TOPEX/ Poseidon*. Ο *TOPEX/ Poseidon* παρέχει μοναδικές δυνατότητες διαχρονικής παρατήρησης των μεταβολών μεσαίας κλίμακας και της δυναμικής τοπογραφίας της επιφάνειας της θάλασσας.
Πηγή: Δεληκαράογλου, 2005.....45
- **Εικόνα 2.10:** Ο δορυφόρος αλτιμετρίας *JASON – 1*. Ο *JASON – 1* αποσκοπεί να εξασφαλίσει συνεχή παρατήρηση των ωκεανών για τις επόμενες δεκαετίες.
Πηγή: Δεληκαράογλου, 2005.....46
- **Εικόνα 3.1:** Στάδια της διαδικασίας αξιολόγησης στην πολυκριτηριακή ανάλυση.
Πηγή: Γιαουτζή & Στρατηγέα, 2011.....57
- **Εικόνα 3.2:** (α) Βραχώδης ακτή μεγάλης κλίσης, (β) Βραχώδης ακτή μικρής κλίσης.
Πηγή: Ιστότοπος Κέντρου Εκπαιδευτικής Έρευνας.....64
- **Εικόνα 3.3:** Το κυματικό καθεστώς για τα ελληνικά δεδομένα.
Πηγή: Χαλκιάς, 2012.....69
- **Εικόνα 3.4:** Διάγραμμα οπτικοποίησης των αποτελεσμάτων του πίνακα επιπτώσεων.....71
- **Εικόνα 3.5:** Διάγραμμα οπτικοποίησης των αποτελεσμάτων του πίνακα εκτιμήσεων.....73

- **Εικόνα 4.1:** Κανονική κατανομή με μέσο μ και τυπική απόκλιση σ . Το γραμμοσκιασμένο τμήμα περιέχει το 5% του συνόλου.
Πηγή: Μπένος, 199179
- **Εικόνα 4.2:** Η συνεχόμενη καμπύλη παρουσιάζει την κανονική κατανομή με $\mu=0$ και $\sigma=1$. Η διακεκομμένη καμπύλη παρουσιάζει την κανονική κατανομή με $\mu=0$ και $\sigma=1,5$.
Πηγή: Μπένος, 199179

Η σελίδα παραμένει σκόπιμα λευκή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΤΟ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Στόχος του παρόντος κεφαλαίου της εργασίας είναι η ανάδειξη της αναγκαιότητας ύπαρξης ενός αξιόπιστου δείκτη για την θεματική χαρτογράφηση της παράκτιας επικινδυνότητας, η οποία προκύπτει ως αποτέλεσμα της αναμενόμενης ανόδου της θάλασσας στάθμης παγκοσμίως. Παράλληλα, επιχειρείται να τονιστούν τα κενά και οι βασικές ελλείψεις της υπάρχουσας μεθοδολογίας για τον υπολογισμό του εν λόγω δείκτη, η αντιμετώπιση των οποίων αποτελεί και το βασικό αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.

1.1 Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας είναι γεγονός

Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας είναι ένα από τα πιο επείγοντα ερωτήματα σήμερα. Το φαινόμενο αποτελεί μια από τις σοβαρότερες συνέπειες της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής και αναμένεται να προκαλέσει έναν τεράστιο αριθμό πιθανών επιπτώσεων, από σχετικά μικρές και διαχειρίσιμες έως αναπόφευκτα καταστροφικές. Η παγκόσμια μέση στάθμη της θάλασσας έχει ακολουθήσει δραματικές μεταβολές στο βάθος του γεωλογικού χρόνου, καθοριζόμενη σε μεγάλο βαθμό από την ανακατανομή ηπείρων και ωκεανών μέσα από ορογενετικές διαδικασίες, καθώς επίσης και από τις κλιματικές μεταβολές.

Η στάθμη της θάλασσας καθορίζεται από το μέσο επίπεδο του εύρους της παλίρροιας, χαμηλής και υψηλής στάθμης, η οποία είναι αποτέλεσμα της βαρυτικής αλληλεπίδρασης μεταξύ Γης, Ήλιου και Σελήνης. Η στάθμη της θάλασσας όμως μεταβάλλεται προσωρινά – για ώρες, μέρες ή και μερικά έτη – και από μετεωρολογικά και υδρολογικά αίτια, όπως καταγίδες και εκφορτίσεις ποταμών. Το μέσο επίπεδο αναφοράς της στάθμης των ωκεανών καλείται *γεωειδές* το οποίο είναι η ισοδυναμική επιφάνεια του πεδίου βαρύτητας της Γης και το οποίο θεωρητικά συμπίπτει με το μέσο επίπεδο της στάθμης της θάλασσας (*Mean Sea Level*). Η μέση στάθμη της θάλασσας όμως αποκλίνει από το γεωειδές δημιουργώντας την λεγόμενη *τοπογραφία της επιφάνειας της θάλασσας* (Παπανικολάου *et al*, 2011).

Ο όρος «*ευστατισμός*» αναφέρεται στις παγκόσμιες και μακροχρόνιες μεταβολές του επιπέδου της στάθμης, με την άνοδο αυτού να καλείται *επίκλυση* και την πτώση αυτού *απόσυρση*. Οι βασικότερες αιτίες του ευστατισμού είναι η μεταβολή του όγκου των ωκεάνιων υδάτων, κυρίως λόγω της μεταβολής του όγκου των παγετώνων, και η μεταβολή του μεγέθους των ωκεάνιων λεκανών κυρίως μέσα από την ισοστατική τροποποίηση της λιθόσφαιρας ως αντίδραση στην μεταβολή του όγκου των παγετώνων και μέσα από βραδείς γεωδυναμικές διεργασίες, τη λεγόμενη «*ορογένεση*» ή και από την συσσώρευση ιζήματος. Θεωρητικά, η

μεταβολή της στάθμης της θάλασσας θα αναμενόταν να είναι παγκόσμια και ταυτόχρονη δεδομένου ότι οι ωκεανοί συνδέονται μεταξύ τους. Η σύγκριση όμως καμπυλών μεταβολής της στάθμης της θάλασσας από διαφορετικές περιοχές δείχνει ότι αυτό δεν ισχύει, αποδεικνύοντας ότι οι ευστατικές μεταβολές δεν είναι ομοιόμορφες παγκόσμια. Αυτή η διαφορετική απόκριση της στάθμης ερμηνεύεται σε μεγάλο ποσοστό με την προσαρμοστική ικανότητα της Γης απέναντι στην μεταβολή επιφανειακών φορτίων πάγου και νερού τήξης (Παπανικολάου *et al*, 2011).

Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας δεν είναι ένα φαινόμενο που παρουσιάζεται πρώτη φορά στον πλανήτη Γη. Είναι ένα γεγονός που έχει επαναληφθεί αμέτρητες φορές και ειδικότερα κατά τα τελευταία δυο εκατομμύρια χρόνια. Καθ' όλη την διάρκεια της γεωλογικής ιστορίας της Γης, η στάθμη της θάλασσας έχει ανέβει και έχει πέσει πάνω από 300m. Παρόλο που οι αλλαγές στο μέγεθος και το σχήμα του πυθμένα των ωκεανών έπαιξαν σημαντικό ρόλο κατά την διάρκεια μεγάλων χρονικών περιόδων, οι πιο σημαντικές αλλαγές στην στάθμη της θάλασσας έγιναν εξαιτίας των κλιματικών αλλαγών. Κατά την διάρκεια της τελευταίας εποχής των παγετώνων (πριν από δεκαοχτώ χιλιάδες χρόνια), η Γη ήταν 5 °C περίπου ψυχρότερη από ότι είναι σήμερα. Παγετώνες κάλυπταν το μεγαλύτερο μέρος του βόρειου ημισφαιρίου και η στάθμη της θάλασσας ήταν περίπου 300m χαμηλότερα από το σημερινό επίπεδο (Σκαρβέλης, 2005).

Αν και οι περισσότεροι παγετώνες έχουν λιώσει από τότε, οι πολικοί παγετώνες στην Γροιλανδία και την Ανταρκτική περιέχουν ακόμη αρκετές ποσότητες νερού ικανές να υψώσουν την στάθμη της θάλασσας περισσότερο από 70m. Μετρήσεις που έγιναν για το φαινόμενο της παλίρροιας ανά τον κόσμο, κατέστησαν δυνατή τη μέτρηση της σχετικής στάθμης της θάλασσας σε διάφορες περιοχές. Μελέτες που συνδυάζουν αυτές τις μετρήσεις αναφέρουν ότι η μέση παγκόσμια στάθμη της θάλασσας έχει ανέβει κατά 10 με 15cm στη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα. Τα 5cm αυτής της ανόδου μπορούν να αποδοθούν στη θερμική άνοδο των ανωτέρω στρωμάτων των ωκεανών, η οποία προκλήθηκε από την παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας κατά 0.4 °C τον προηγούμενο αιώνα (Σκαρβέλης, 2005).

1.2 Σύγχρονες μελέτες και προβλέψεις

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, οι πολιτικές δυνάμεις των χωρών εξέφρασαν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τα αποτελέσματα που είναι σε θέση να αποφέρουν τα κλιματικά μοντέλα σχετικά με τις επιπτώσεις που θα έχει η ανθρωπογενής παρέμβαση στο γίνεσθαι του πλανήτη. Ως εκ τούτου, ο Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής (World Meteorological Organization – WMO) και το Πρόγραμμα

Περιβάλλοντος (*United Nations Environment Program – UNEP*) ίδρυσαν το 1988 την Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (*Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC*) (*McGuffie & Henderson – Sellers, 2005*).

Η *IPCC* έλαβε σαφείς οδηγίες για τη συγκέντρωση της υπάρχουσας επιστημονικής γνώσης σχετικά με την κλιματική αλλαγή, και την γραπτή απόδοσή της με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να αξιοποιηθεί τόσο από τις πολιτικές δυνάμεις όσο και από τους ίδιους τους πολίτες των χωρών. Μέχρι σήμερα έχουν δημοσιευθεί τέσσερις (4) Εκθέσεις Αξιολόγησης από την *IPCC* (1990, 1995, 2001 και 2007), ενώ η πέμπτη Έκθεση Αξιολόγησης πρόκειται να δημοσιευθεί σε τρία μέρη, τον Σεπτέμβριο του 2013, τον Μάρτιο του 2014 και τέλος, τον Απρίλιο του 2014. Οι εκθέσεις της *IPCC* αποτελούν σημείο αναφοράς για τα ζητήματα που άπτονται της παγκόσμιας θέρμανσης και βασίζονται κατά κύριο λόγο σε επιστημονικές δημοσιεύσεις ειδικών ερευνητών (*McGuffie & Henderson – Sellers, 2005*).

Στα πλαίσια της τέταρτης και πιο πρόσφατης Έκθεσης Αξιολόγησης της *IPCC*, εξετάστηκε ένα ευρύ φάσμα διαφορετικών σεναρίων για την εξέλιξη του κλίματος στην ερχόμενη εκατονταετία. Σύμφωνα με την έκθεση προβλέπεται θέρμανση του πλανήτη κατά $0.2^{\circ}C$ ανά δεκαετία, ενώ υποθέτοντας πως τα επίπεδα συγκέντρωσης για τα αέρια του θερμοκηπίου παραμένουν ίδια με εκείνα του 2000, αναμένεται μια επιπρόσθετη αύξηση κατά $0.1^{\circ}C$ ανά δεκαετία. Ταυτόχρονα, προβλέπεται ότι η στάθμη της θάλασσας σε όλη τη διάρκεια του 21^{ου} αιώνα θα αυξηθεί κατά μέσο όρο $0.35m$, και ειδικότερα μεταξύ 0.23 και $0.47m$, σύμφωνα με την πλέον συντηρητική εκτίμηση και σύμφωνα με το πλέον απαισιόδοξο σενάριο για τα μελλοντικά επίπεδα εκπομπής (*IPCC, 2007*).

Είναι σαφές πως η τέταρτη Έκθεση Αξιολόγησης της *IPCC*, όπως άλλωστε και όλες οι προηγούμενες, επικεντρώνεται σε προβλέψεις των μελλοντικών επιπτώσεων της ανθρώπινης δραστηριότητας σε παγκόσμιο επίπεδο, η οποία αναμένεται να επιδράσει καταλυτικά στο κλίμα του πλανήτη και στην περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε διοξείδιο του άνθρακα. Ωστόσο, τα αίτια στα οποία είναι δυνατό να αποδοθεί η αναμενόμενη άνοδος της στάθμης της θάλασσας είναι πολλά και ποικιλούν. Μεταξύ αυτών σημειώνονται η ένταση των καταιγίδων, το λιώσιμο των πάγων των βουνών, η θερμική διαστολή των ωκεανών, η μεταβολή της τοπογραφίας του βυθού ανά περιοχή και η σχετική κίνηση μεταξύ ξηράς και θάλασσας. Επιπρόσθετα, το φαινόμενο ανόδου της στάθμης της θάλασσας εξαρτάται και από άλλους παράγοντες όπως μεταβολές στην ηλιακή ακτινοβολία, αλλαγές στην τροχιά της Γης και έντονη ηφαιστειακή δραστηριότητα.

Η πλήρης κατανόηση των παραγόντων που συνεισφέρουν στη μεταβολή της στάθμης των υδάτων αποτελεί αντικείμενο έρευνας παγκοσμίως, καθώς η ζωή εκατομμυρίων ανθρώπων που ζουν και εργάζονται σε παραθαλάσσιες περιοχές επηρεάζεται άμεσα. Είναι γνωστό πως η πλειονότητα του παγκόσμιου πληθυσμού κατοικεί σε μεγάλες παράκτιες πόλεις. Παρόλο που χρειάζεται μια πιο λεπτομερής καταγραφή για την σωστή ποσοτικοποίηση των δεδομένων, μια γενική εκτίμηση είναι ότι το 50% έως και το 70% του παγκόσμιου πληθυσμού κατοικεί κοντά στην παράκτια ζώνη. Ο έντονα αυξανόμενος πληθυσμός στην παράκτια ζώνη βασίζεται διατροφικά ως επί το πλείστον στη ζώνη αυτή, ενώ παράλληλα στην περιοχή πραγματοποιούνται δραστηριότητες αναψυχής και εξόρυξης φυσικών πόρων. Είναι σαφές πως ο κατακλυσμός των παράκτιων περιοχών από την αναμενόμενη άνοδο της στάθμης της θάλασσας θα είναι καταστροφικός για τους οικισμούς των ανθρώπων αυτών και πιθανότατα να θέσει σε κίνδυνο την ανθρώπινη ζωή.

Τα προβλήματα από την κλιματική αλλαγή θα γίνουν ορατά τα προσεχή χρόνια. Όταν η άνοδος της στάθμης της θάλασσας πλησιάσει το 1m τότε οι παρακάτω παραθαλάσσιες μεγαλουπόλεις θα κινδυνεύσουν: Μπουένος Άϊρες, Ρίο ντε Τζανέϊρο, Λάγκος, Λος Άντζελες, Νέα Υόρκη, Αλεξάνδρεια, Μουμπάϊ, Καλκούτα, Ντάκα, Σαγκάϊ, Οζάκα και Τόκυο. Ολόκληρες πόλεις σήμερα, όπως η Βενετία ή το Άμστερνταμ, αντιμετωπίζουν ήδη προβλήματα από την αλλαγή της στάθμης των υδάτων. Το φαινόμενο αναμένεται να ενταθεί στο προσεχές μέλλον, τόσο λόγω της προβλεπόμενης ανόδου της μέσης θαλάσσιας στάθμης και της παράλληλης επιδείνωσης των ακραίων κυματικών φαινομένων, όσο και λόγω μεταβολών στην ένταση και το ρυθμό των βροχοπτώσεων και της κατασκευής ποτάμιων και άλλων διαχειριστικών έργων. Με τη σειρά τους, οι παρεμβάσεις αυτές θα επιφέρουν σοβαρές επιπτώσεις στην ακεραιότητα των οικοσυστημάτων, τους υδατικούς πόρους, τη δημόσια υγεία, την προσφορά τροφής, τη βιομηχανία, τις γεωργικές καλλιέργειες, τις μεταφορές και τις υποδομές. Το γεγονός αυτό καθιστά την ανάγκη για προσαρμογή και προφύλαξη με κάθε μέσο ως την άμεση προτεραιότητα σε εθνικό επίπεδο.

1.3 Παράκτια ζώνη και παράκτια επικινδυνότητα

Παραλία ή «*Πάραλος γη*» ονομάζεται η ζώνη ξηράς, που εκτείνεται από τον αιγιαλό και προς την ενδοχώρα. Παρουσιάζει την ίδια σύσταση μέχρι το σημείο όπου το ανάγλυφο του εδάφους γίνεται ορεινό. Ο όρος «*παραλία*» ή «*παράκτια ζώνη*» ή «*ακτή*» παραπέμπει στην επιφάνεια γης, που βρέχεται από την θάλασσα τουλάχιστον κατά την μια πλευρά. Η παράκτια ζώνη συγκεντρώνει τις περισσότερες ανθρώπινες δραστηριότητες εξαιτίας της αισθητικής και χρηστικής της αξίας. Παράλληλα, παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον από οικονομικής άποψης

λόγω των φυσικών πόρων που συγκεντρώνει και των ευνοϊκών συνθηκών που προσφέρει. Οι χρήσεις της παράκτιας ζώνης είναι πολλαπλές και συχνά αντιπαραθετικές (Αίτσας, 2009).

Η παράκτια ζώνη αποτελεί το πολύπλοκο φυσικό σύστημα που συντίθεται στα όρια της υδρόσφαιρας, της λιθόσφαιρας και της ατμόσφαιρας και είναι προϊόν της ανταγωνιστικής δράσης και αλληλεπίδρασής τους. 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 ιδιαιτέρως εύθραυστη. Για τον λόγο αυτό, η παράκτια ζώνη μεταβάλλεται συνεχώς με το πέρασμα του χρόνου σε μέρη ιδιαίτερης σημασίας, όπως οι γεώτοποι, οι υγρότοποι και οι βιότοποι (Αίτσας, 2009).

Αναφορικά με τα όρια μιας παράκτιας ζώνης, αυτά διακρίνονται στο χερσαίο και το θαλάσσιο όριο, ενώ η θέση τους ποικίλλει ανάλογα με τη μορφολογία της περιοχής αλλά και με βάση περιβαλλοντικά, οικονομικά και διοικητικά κριτήρια. Από οικονομικής άποψης, για παράδειγμα, η θέση του χερσαίου ορίου μιας παράκτιας ζώνης μπορεί να ποικίλλει περιλαμβάνοντας είτε περιοχές που εξαρτώνται από την αλιεία της παράκτιας ζώνης, είτε περιοχές όπου βρίσκονται βιομηχανίες που χρησιμοποιούν τα λιμάνια της παράκτιας ζώνης για μεταφορές. Συνεπώς, το χερσαίο όριο μιας παράκτιας ζώνης καθορίζεται από την ίδια την περιοχή, τοποθετούμενο από μερικά μέτρα από την ακτογραμμή έως και τα όρια της εγγύτερης λεκάνης απορροής. Ταυτόχρονα, το θαλάσσιο όριο μιας παράκτιας περιοχής συνήθως τοποθετείται σε μια θέση από την υφαλοκρηπίδα έως τα όρια του κράτους. Φαίνεται λοιπόν, να υπάρχουν διαφορετικές προσεγγίσεις στο περιεχόμενο της παράκτιας ζώνης και τον τρόπο που λαμβάνεται υπόψη σε τοπικό επίπεδο, αναδεικνύοντας τη δυσκολία εφαρμογής ενός ενιαίου ορισμού με εθνική προοπτική (Ζερβούδη, 2010).

Βασικά χαρακτηριστικά μιας παράκτιας ζώνης αποτελούν η ευαισθησία, η αντοχή και η προσαρμοστικότητα της. Σύμφωνα με την τρίτη Έκθεση Αξιολόγησης της IPCC, ο βαθμός κατά τον οποίο η κλιματική αλλαγή μπορεί να καταστρέψει ή να βλάψει ένα σύστημα, δεν εξαρτάται μόνο από την ευαισθησία του συστήματος αλλά και από την ικανότητα αυτού να αντέχει και να προσαρμόζεται στις νέες κλιματικές συνθήκες. Η ευαισθησία αντανακλά την πιθανότητα επίδρασης της στάθμης της θάλασσας στο παράκτιο σύστημα. Αντίστοιχα, η προσαρμοστικότητα και η αντοχή περιγράφουν την σταθερότητα ή μη του φυσικού συστήματος σε μεταβολές. Οι παραπάνω παράμετροι συνιστούν τη φυσική επικινδυνότητα

ενός παράκτιου φυσικού συστήματος στο ενδεχόμενο ανόδου της στάθμης της θάλασσας. Η έννοια της τρωτότητας έναντι της ανόδου της στάθμης της θάλασσας συμπεριλαμβάνει την μακροχρόνια διαδικασία της ανόδου εξαιτίας κλιματικών αλλαγών αλλά και την επιπρόσθετη επικινδυνότητα που υπεισέρχεται εξαιτίας μεσοπρόθεσμων φαινομένων όπως η συνδυασμένη κίνηση βαρομετρικών συστημάτων, αλλά και βραχυπρόθεσμων, όπως οι έντονες καταστάσεις της θάλασσας εξαιτίας καταιγίδων (Ντούμας, 2010).

Κατά τη διάρκεια της προηγούμενης δεκαετίας έγινε πλέον σαφές ότι οι παράκτιες περιοχές της Μεσογείου, αλλά και του πλανήτη γενικότερα, βρίσκονται υπό συνεχή πίεση από το γειτονικό θαλάσσιο περιβάλλον. Η Ελλάδα, με χερσαία έκταση περίπου 132.000km^2 και με μια ακτογραμμή που ξεπερνά τα 15.000km , είναι η χώρα με την πλέον εκτεταμένη ακτογραμμή μεταξύ των χωρών της Μεσογείου. Η ελληνική παράκτια ζώνη διαδραματίζει στρατηγικό ρόλο στην οικονομική ανάπτυξη της χώρας, αφού ποσοστό μεγαλύτερο από 57% του πληθυσμού είναι εγκατεστημένο στις παράκτιες περιοχές, όπου αναπτύσσεται αντίστοιχα το 90% του τουρισμού και αναψυχής, πάνω από το 80% των βιομηχανικών δραστηριοτήτων και τέλος το 35% της γεωργίας. Συνεπώς, είναι υψίστης σημασίας σε πρώτη φάση να αναγνωριστούν ή να προβλεφθούν για τις περιοχές αυτές οι ενδεχόμενες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, και ύστερα να ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα πρόληψης και προστασίας στα πλαίσια του σχεδιασμού και της διαχείρισης της παράκτιας ζώνης.

Η πρόβλεψη της εξέλιξης της παράκτιας ζώνης είναι μια διαδικασία αρκετά περίπλοκη, καθότι δεν υπάρχει μια ενιαία μεθοδολογία αντιμετώπισης του ζητήματος και ταυτόχρονα τα δεδομένα που απαιτούνται για την πρόβλεψη είναι ασταθή ή ανεπαρκή. Ωστόσο, μια από τις πιο κοινές και ευρέως χρησιμοποιούμενες μεθοδολογίες για την αξιολόγηση της εμβалότητας μιας συγκεκριμένης παράκτιας περιοχής λόγω της ενδεχόμενης ανόδου της στάθμης των υδάτων είναι ο υπολογισμός του *Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας* (Δουκάκης, 2007).

1.4 Εισαγωγή στον Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας (CVI)

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

Η βασική ιδέα του εν λόγω δείκτη είναι η ταξινόμηση της επικινδυνότητας των παράκτιων περιοχών ανάλογα με την τιμή του δείκτη και αναφορικά με κάποιες *παραμέτρους ή μεταβλητές*, οι οποίες συμβάλλουν και καθορίζουν την επικινδυνότητα της παράκτιας ζώνης. Προκειμένου να γίνει αυτή η ταξινόμηση, θα πρέπει (Δουκάκης, 2005):

- *Να προσδιοριστούν οι εν λόγω παράμετροι.*

Σε παγκόσμια κλίμακα χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο *έξι (6) παράμετροι ή μεταβλητές*, ενώ πολλές εργασίες και μελέτες έχουν γίνει πάνω στο θέμα προκειμένου να συμπεριληφθούν στον υπολογισμό του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας και άλλοι παράγοντες που ενδεχομένως επηρεάζουν την παράκτια εμβαλότητα. Στόχος είναι η ισχυροποίηση του υπολογισμού του δείκτη, ώστε αυτός να είναι σε θέση να αποδώσει μια πιο αξιόπιστη πρόβλεψη για τη μελλοντική κατάσταση.

Σήμερα, ο συνολικός αριθμός των μεταβλητών που εξετάζονται φτάνει τις *έντεκα (11)*, ωστόσο στα πλαίσια της εν λόγω Διπλωματικής Εργασίας εξετάζονται *μόνο οι έξι (6)* βασικές μεταβλητές. Συγκεκριμένα, οι μεταβλητές αυτές είναι η παράκτια κλίση, η σχετική μεταβολή της στάθμης της θάλασσας, η γεωλογία και οι παράκτιες γεωμορφές, η ιστορική μετατόπιση της ακτογραμμής, το μέσο σημαντικό ύψος κύματος και το μέσο παλιρροιακό εύρος.

- *Να ποσοτικοποιηθούν οι παράμετροι σε μια αποδεκτή κλίμακα τιμών.*

Με σκοπό τη δημιουργία μιας βάσης δεδομένων εθνικής κλίμακας για την παράκτια επικινδυνότητα, οι *Gornitz και White (1992)* δημιούργησαν έναν πίνακα για τις μεταβλητές του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας, στον οποίο καθορίζονται για καθεμία από αυτές τα επιμέρους εύρη τιμών ή οι επιμέρους περιγραφικές ονομασίες, ανάλογα πάντα με την ίδια τη φύση της εκάστοτε μεταβλητής, ποσοτική ή ποιοτική. Τελικά, σε κάθε εύρος τιμών ή ονομασία αποδόθηκε μια τιμή σχετικής επικινδυνότητας, βασισμένη στο πιθανό μέγεθος συνεισφοράς της εκάστοτε μεταβλητής στην εμβαλότητα των ακτών όσο ανέρχεται η στάθμη της θάλασσας. Συγκεκριμένα, η κάθε μια από τις βασικές μεταβλητές, για μια συγκεκριμένη παράκτια περιοχή, δύναται να λάβει μια τιμή στην κλίμακα από το *ένα (1)* έως το *πέντε (5)* με σειρά αυξανόμενης επικινδυνότητας: πολύ μικρή επικινδυνότητα, μικρή επικινδυνότητα, μέτρια, υψηλή και πολύ υψηλή επικινδυνότητα.

Η κατηγοριοποίηση των παραπάνω μεταβλητών επιτρέπει τη συσχέτισή τους αποκλειστικά με ποσοτικό τρόπο στον υπολογισμό του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας, ξεπερνώντας έτσι το εμπόδιο των διαφορετικών μονάδων μέτρησης στα δεδομένα ή ακόμα και της σύνδεσης αριθμητικών με ποιοτικά δεδομένα.

- Να επιλεγεί η μαθηματική εξίσωση προσδιορισμού του δείκτη.

Με δεδομένες τις τιμές των έξι (6) βασικών μεταβλητών στη σχετική κλίμακα από το (1) έως και το πέντε (5), μπορεί να προκύψει για ορισμένο τμήμα μιας ακτογραμμής ο Δείκτης Παράκτιας Επικινδυνότητας (CVI), με χρήση ενός εκ των έξι (6) μέχρι στιγμής διαθέσιμων μαθηματικών τύπων. Το μαθηματικό τυπολόγιο που χρησιμοποιείται ευρέως είναι ο γεωμετρικός μέσος, όπου:

$$CVI = \sqrt{\frac{a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot e \cdot f}{6}}$$

Ωστόσο, κανένας από τους διαθέσιμους μαθηματικούς τύπους δεν διαφοροποιεί την επιρροή της καθεμίας μεταβλητής στον υπολογισμό του δείκτη. Είναι προφανές πως δεν είναι δυνατόν να έχει την ίδια επίδραση η παράκτια κλίση με το μέσο σημαντικό ύψος κύματος ή η γεωμορφολογία της παράκτιας ζώνης με το εύρος της παλίρροιας. Στην υπάρχουσα μεθοδολογία υπολογισμού του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας, όλες οι μεταβλητές χρησιμοποιούνται ισοβαρώς στον προσδιορισμό της τελικής τιμής του δείκτη, γεγονός που δημιουργεί σφάλματα στον προσδιορισμό του τελικού χαρακτηρισμού επικινδυνότητας που αποδίδεται στην υπό μελέτη παράκτια ζώνη και άρα κλονίζεται η αξιοπιστία του δείκτη, όχι μόνο σε εθνικό αλλά και σε παγκόσμιο επίπεδο.

Το μοντέλο του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας (Coastal Vulnerability Index – CVI) αποτελεί ένα μαθηματικό μοντέλο που παρήχθη για την ανάδειξη των παράκτιων εκείνων περιοχών που δύναται να διατρέξουν άμεσο κίνδυνο κατακλυσμού σε ένα ενδεχόμενο σενάριο παγκόσμιας ανόδου της στάθμης των υδάτων. Στόχος των δημιουργών του μοντέλου ήταν αυτό να αποτελέσει μια αντικειμενική πηγή χαρακτηρισμού σχετικά με την επικινδυνότητα, και ταυτόχρονα ένα ισχυρό εργαλείο για την αναγνώριση των επιρρεπών ακτογραμμών, ώστε να ληφθούν εγκαίρως τα απαραίτητα μέτρα πρόληψης. Ωστόσο, το μοντέλο στη σημερινή του μορφή δεν είναι σε θέση να αποτελέσει ένα αξιόπιστο μέσο για τον ακριβή χαρακτηρισμό της επικινδυνότητας ακτογραμμών. Το γεγονός οφείλεται στην έλλειψη ειδικών τιμών βαρύτητας στις επιμέρους μεταβλητές που συνθέτουν το μαθηματικό μοντέλο του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας.

Ο εν λόγω δείκτης έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως τα τελευταία χρόνια σε ειδικές μελέτες παράκτιας επικινδυνότητας που έχουν διεξαχθεί στις παράλιες ζώνες των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής, προκειμένου να προσδιοριστούν με σαφήνεια οι περιοχές εκείνες που βρίσκονται σε πιθανό κίνδυνο από το εγγύτερο θαλάσσιο περιβάλλον. Ωστόσο, στην πλειοψηφία των μελετών αυτών ο Δείκτης Παράκτιας Επικινδυνότητας διατηρεί την αρχική του μορφή, σύμφωνα με την οποία έχουν χρησιμοποιηθεί ίδιες τιμές βαρύτητας για όλους εκείνους τους παράγοντες που εισάγονται ως μεταβλητές στον υπολογισμό του δείκτη και λαμβάνονται υπόψη, διότι επιδρούν καταλυτικά σε θέματα παράκτιας επικινδυνότητας. Μια τέτοια υπόθεση σαφέστατα δεν είναι λογική, καθότι σε μια γενική περίπτωση υπολογισμού ενός δείκτη είναι σύνηθες φαινόμενο κάποια ή κάποιες από τις επιλεγμένες συνιστώσες να σχετίζονται ισχυρότερα με το χαρακτηριστικό που αποσκοπεί να αξιολογήσει ο δείκτης αυτός. Ταυτόχρονα, η υπόθεση ισοβαρούς επίδρασης των συνιστωσών δύναται να οδηγήσει σε λάθος εκτιμήσεις και τελικά, σε σφάλματα που ίσως κοστίσουν ανθρώπινες ζωές.

Ανάλογα με τα ιδιαίτερα παράκτια χαρακτηριστικά κάθε χώρας και επιπρόσθετα το θαλάσσιο καθεστώς στο οποίο υποβάλλεται αλλά και την ανάγκη για άμεσο και ακριβή χαρακτηρισμό των ακτογραμμών ως προς την επικινδυνότητά τους, είναι δυνατόν να διεξαχθούν ειδικές μελέτες για την προσαρμογή του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας στα δεδομένα της χώρας αυτής. Εντός των ελληνικών συνόρων, η πληθώρα ειδικών μελετών που έχουν διεξαχθεί επί του θέματος της απόδοσης ειδικών τιμών βαρύτητας στις βασικές μεταβλητές του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας και ταυτόχρονα ο εμπλουτισμός του μαθηματικού μοντέλου με την ανάδειξη επιπρόσθετων μεταβλητών για χρήση σε παγκόσμιο επίπεδο, καταδεικνύουν σαφώς το αυξημένο και αμείωτο ενδιαφέρον για τη συμβολή στην ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων από ενδεχόμενο κατακλυσμό. Ωστόσο, με βάση την υπάρχουσα μεθοδολογία, δεν υπάρχει μια σαφής μαθηματική εξήγηση για την απόδοση του κατάλληλου βάρους στην κάθε μεταβλητή. Οι περισσότερες μελέτες στηρίζονται σε έναν εμπειρικό και κατά βάση αυθαίρετο συλλογισμό, με αποτέλεσμα η τιμή βάρους που αποδίδεται σε κάθε παράμετρο να είναι σε μεγάλο βαθμό αμφισβητήσιμη (Λουκάκης, 2005).

Η πρώτη λοιπόν παρατήρηση σχετικά με τις παραμέτρους που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας είναι ότι θα πρέπει να αναζητηθεί η *μαθηματικά εμπειριστατωμένη διαφορετική επιρροή ή βαρύτητα* κάθε μίας παραμέτρου στο ενδεχόμενο κατακλυσμού μιας παράκτιας περιοχής από άνοδο της στάθμης των υδάτων. Σε κάθε περίπτωση, ιδιαίτερα σημαντικό είναι να καθοριστεί εξ αρχής η ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος που πρόκειται να μελετηθεί στα πλαίσια μιας μελέτης παράκτιας επικινδυνότητας. Με τον τρόπο αυτό προσδιορίζεται σαφώς το σύνολο των παραμέτρων, βασικών και επιπρόσθετων, που συμβάλλουν στο ζητούμενο της παράκτιας επικινδυνότητας

και πρόκειται να εξεταστεί η επιρροή τους στο μαθηματικό μοντέλο του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας. Σύμφωνα με τα παραπάνω, στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η πρόταση τιμών για το βάρος κάθε μεταβλητής, όπως θα προκύψει μέσα από μαθηματική ανάλυση, με άμεση και αξιόπιστη εφαρμογή για τα ελληνικά δεδομένα.

Σύμφωνα με τα όσα έχουν ήδη αναφερθεί, η σκοπιμότητα της εισαγωγής βαρών εκφράζει την ανάγκη ιεράρχησης των μεταβλητών, ανάλογα με τη επιρροή της κάθε μεταβλητής στην παράκτια επικινδυνότητα συγκριτικά με τις υπόλοιπες. Στα πλαίσια της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, η διαδικασία ιεράρχησης των εν λόγω μεταβλητών πραγματοποιείται με τη μέθοδο της *πολυκριτηριακής ανάλυσης REGIME*. Σύμφωνα με μέθοδο αυτή, σε πρώτη φάση καθορίζεται το πρόβλημα αξιολόγησης, καθώς και οι εναλλακτικές λύσεις που πιθανώς συμπληρώνουν το προφίλ της βέλτιστης δυνατής επιλογής για την ιεράρχηση των μεταβλητών. Στη συνέχεια ορίζονται τα κριτήρια με βάση τα οποία θα αξιολογηθεί η κάθε εναλλακτική, και ταυτόχρονα η σχετική σπουδαιότητα του κάθε κριτηρίου αξιολόγησης στη λήψη της τελικής απόφασης. Το αποτέλεσμα της διαδικασίας είναι η επιλογή μιας εκ των προτεινόμενων εναλλακτικών λύσεων, η οποία με βάση τα κριτήρια αξιολόγησης που διατυπώθηκαν, είναι η βέλτιστη δυνατή επιλογή για το πρόβλημα που εξαρχής τέθηκε.

Η δευτερη και εξίσου σημαντική παρατήρηση είναι ότι ο μαθηματικός τύπος που χρησιμοποιείται στην παρούσα φάση για τον υπολογισμό του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας θα πρέπει να τροποποιηθεί. Ο γεωμετρικός μέσος όρος των τιμών σχετικής επικινδυνότητας των μεταβλητών δεν επιτρέπει την ανάδειξη της έννοιας της διαφορετικής τιμής βάρους για καθεμία μεταβλητή, συνεπώς θα πρέπει να αναζητηθεί μια νέα μορφή τυπολογίου. Για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης επιλέχθηκε να εφαρμοστεί ανάλυση παλινδρόμησης στα αρχικά δεδομένα, και ειδικότερα η μέθοδος της *πολλαπλής, μη – γραμμικής παλινδρόμησης* λόγω της μη – γραμμικής φύσης του τυπολογίου του ήδη υπάρχοντος μοντέλου για τον υπολογισμό του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας. Η συγκεκριμένη μέθοδος υποδεικνύει ένα *νέο τυπολόγιο εκθετικής μορφής*, το οποίο ταιριάζει απόλυτα στο προφίλ του μαθηματικού τύπου που αναζητείται για τον προσδιορισμό του βαθμού επικινδυνότητας παράκτιων περιοχών.

Ο νέος μαθηματικός τύπος εκθετικής μορφής που προτείνεται στα πλαίσια της παρούσας εργασίας είναι δυνατόν να αντικαταστήσει τον υπάρχοντα, συμπεριλαμβάνοντας και τις ειδικές τιμές βαρύτητας για την κάθε παράμετρο. Ο προσδιορισμός του νέου τυπολογίου στηρίζεται σε ένα *Δείγμα Ακτογραμμών*, που πρέπει να συλλεχθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να αντανακλά τις χαρακτηριστικές ιδιότητες που ενδιαφέρουν στα πλαίσια της παρούσας

μελέτης για τον γεννήτορα πληθυσμό. Τα στοιχεία του δείγματος σε μια ιδανική περίπτωση μελέτης της παράκτιας επικινδυνότητας, θα πρέπει να είναι πραγματικά και βασισμένα σε έγκυρες πηγές συλλογής στοιχείων που θα καθορίσουν τις τιμές σχετικής επικινδυνότητας που θα λάβει κάθε ακτογραμμή του δείγματος. Εν τούτοις, λόγω του μεγέθους της περιοχής μελέτης, η οποία περιλαμβάνει τις ελληνικές ακτογραμμές σε όλο το μήκος τους και όχι μια μεμονωμένη παράκτια ζώνη, τα στοιχεία της δειγματοληψίας επιλέχθηκε να είναι *συνθετικά*, υπό την προϋπόθεση ότι στηρίζονται σε ρεαλιστικές και πλήρως επιχειρηματολογημένες υποθέσεις.

Η πλασματική φύση των δεδομένων παρέχει την ευχέρεια της κατάλληλης σύνθεσης του δείγματος, ώστε να καλυφθούν όλες οι πιθανές περιπτώσεις ακτογραμμών που συναντώνται στον ελληνικό χώρο. Παράλληλα, όμως, περιλαμβάνει τον κίνδυνο της εσφαλμένης επιλογής ακτογραμμών και άρα της αδύναμης και ταυτόχρονα άστοχης σύνθεσης της δειγματοληψίας, γεγονός που μπορεί πολύ εύκολα να οδηγήσει σε λάθος συμπεράσματα όσον αφορά στον γεννήτορα πληθυσμό. Προκειμένου να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα αυτό, στα πλαίσια της παρούσας μελέτης παράκτιας επικινδυνότητας πραγματοποιήθηκε η σύνθεση *τριών (3)* εναλλακτικών σεναρίων δειγματοληψίας και η αξιολόγηση αυτών με βάση ένα συγκεκριμένο στατιστικό κριτήριο. Την τελική επιλογή του καταλληλότερου σεναρίου δειγματοληψίας ακολούθησε η σύνθεση του νέου μαθηματικού τύπου και η διαμόρφωση της νέας σειράς ιεράρχησης των μεταβλητών του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας, η οποία πλέον διαμορφώνεται σύμφωνα με τις τιμές βαρύτητας που προσδιορίστηκαν διαμέσου στατιστικών μεθόδων, εν αντιθέσει με την προηγούμενη ιεράρχηση που στηρίχθηκε σε βιβλιογραφικές αναφορές. Η σύγκριση των δύο σειρών ιεράρχησης οδηγεί σε συμπεράσματα, τα οποία καταγράφονται και σχολιάζονται εκτενώς.

Η τρίτη και τελευταία παρατήρηση είναι ότι στο τελικό στάδιο της μελέτης θα απαιτηθεί να πραγματοποιηθεί *έλεγχος της εγκυρότητας* του νέου μαθηματικού τύπου για τον Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας. Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, αρχικά διαπιστώνεται η *ρεαλιστικότητα* των αποτελεσμάτων που αποδίδει το νέο τυπολόγιο, εξετάζοντας ουσιαστικά την απόκλιση που παρουσιάζουν τα αποτελέσματα του νέου τυπολογίου με τα αποτελέσματα του ήδη υπάρχοντος μοντέλου. Ο έλεγχος πραγματοποιείται με χρήση του *Δείγματος Ακτογραμμών* που χρησιμοποιήθηκε νωρίτερα για την εξαγωγή του νέου μαθηματικού τυπολογίου του δείκτη. Εν συνεχεία, διαπιστώνεται η *αξιοπιστία* των αποτελεσμάτων διαμέσου μιας *εφαρμογής* του προτεινόμενου μαθηματικού τύπου σε μια *συνθετική ακτογραμμή*, η οποία διαμερίζεται σε επιμέρους διατομές ώστε να δομηθεί ένα *Δείγμα Διατομών*. Για διασφάλιση της εγκυρότητας των αποτελεσμάτων, τα χαρακτηριστικά της συνθετικής ακτογραμμής βρίσκονται σε συμφωνία με τα ελληνικά δεδομένα ακτογραμμών.

1.5 Μεθοδολογικό Πλαίσιο

Με βάση όλα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, μορφώνεται το μεθοδολογικό πλαίσιο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Η εργασία αποτελείται από οκτώ (8) κεφάλαια, το περιεχόμενο των οποίων παρουσιάζεται ακολούθως με συνοπτικό τρόπο.

Το **Κεφάλαιο 1** αποτελεί ένα εισαγωγικό κεφάλαιο, στο οποίο καταγράφεται η παρούσα κατάσταση για το παγκόσμιο θαλάσσιο περιβάλλον, ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή των υποθέσεων και των επίσημων προβλέψεων όσον αφορά στην άνοδο της στάθμης των υδάτων και γίνεται μια πρώτη γνωριμία με την έννοια του *Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας (Coastal Vulnerability Index - CVI)*.

Στο **Κεφάλαιο 2** παρουσιάζονται με αναλυτικό τρόπο οι μεταβλητές που συνθέτουν το μοντέλο του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας. Ταυτόχρονα γίνεται λόγος για τις απαιτήσεις ακρίβειας σε μια μελέτη παράκτιας επικινδυνότητας, ώστε να περιγραφούν στη συνέχεια εκτενώς οι δυνατοί τρόποι συλλογής των στοιχείων εκείνων που είναι απαραίτητα για να δομηθεί ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα ακτογραμμών, με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων για το σύνολο των ελληνικών ακτών. Στη συνέχεια, στο ίδιο κεφάλαιο παρουσιάζεται η κατηγοριοποίηση των μεταβλητών του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας, όπως ορίστηκε από τους *Gornitz* και *White (1992)*, το υπάρχον τυπολόγιο για τον Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας και οι χαρακτηρισμοί επικινδυνότητας που πρόκειται να αποδοθούν στις ακτογραμμές.

Στο **Κεφάλαιο 3** πραγματοποιείται η ιεράρχηση των μεταβλητών του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας, με τη μέθοδο *πολυκριτηριακής ανάλυσης REGIME*. Ειδικότερα, περιγράφονται τα εναλλακτικά σενάρια ιεράρχησης και καθορίζονται τα κριτήρια αξιολόγησης, καθώς επίσης και η προτεραιότητα του κάθε κριτηρίου όσον αφορά στην τελική επιλογή. Το τελικά επιλεγμένο σενάριο καθορίζει τη σειρά κατάταξης των μεταβλητών με βάση την ιδιαίτερη συμβολή της καθεμίας στην παράκτια επικινδυνότητα.

Στο **Κεφάλαιο 4** περιγράφεται η διαδικασία της δειγματοληψίας των ακτογραμμών. Το κεφάλαιο ξεκινά με την καταγραφή των βασικών εκείνων στοιχείων σχετικά με την *Κανονική κατανομή* που θα πρέπει να είναι γνωστά σε όποιον επιχειρήσει να αξιοποιήσει την επιστήμη της Δειγματοληψίας στη Στατιστική για τη συλλογή κατάλληλου δείγματος από έναν συγκεκριμένο γεννήτορα πληθυσμό. Στη συνέχεια περιγράφεται ο τρόπος για την επιλογή του μεγέθους του δείγματος που θα μορφωθεί στα πλαίσια της συγκεκριμένης μελέτης και τέλος

παρουσιάζονται και αναλύονται εκτενώς τα επιμέρους σενάρια δειγματοληψίας των ακτογραμμών.

Στο **Κεφάλαιο 5** περιγράφεται η μέθοδος της παλινδρόμησης, και ειδικότερα της *πολλαπλής, μη – γραμμικής παλινδρόμησης*, η οποία αποτελεί και τη βασική μέθοδο για την επιλογή του καταλληλότερου σεναρίου δειγματοληψίας και τον προσδιορισμό των τιμών βαρύτητας για καθεμία μεταβλητή που λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας. Ταυτόχρονα, παρουσιάζεται η εντολή του προγραμματιστικού περιβάλλοντος *Excel* που αποτέλεσε το βασικό εργαλείο εφαρμογής της ανάλυσης παλινδρόμησης και άρα της εξαγωγής των απαιτούμενων τιμών βαρύτητας. Τα αποτελέσματα για το επιλεγμένο δείγμα και το τελικό προτεινόμενο τυπολόγιο παραθέτονται και σχολιάζονται αναλυτικά στο τέλος του κεφαλαίου. Παράλληλα, παρουσιάζεται η νέα σειρά ιεράρχησης, όπως ακριβώς προέκυψε από τις τιμές βαρύτητας που απέδωσε η διαδικασία.

Στο **Κεφάλαιο 6** πραγματοποιείται ο πρώτος απαιτούμενος έλεγχος εγκυρότητας του νέου μαθηματικού τύπου για την ανάδειξη της *ρεαλιστικότητας* των αποτελεσμάτων που αυτός αποδίδει, διαμέσου της σύγκρισης των αποτελεσμάτων αυτών με τα αποτελέσματα που αποδίδει το υπάρχον τυπολόγιο, επί του επιλεγμένου *Δείγματος Ακτογραμμών*. Στο σημείο αυτό σημειώνεται πως τα αποτελέσματα από τα δύο τυπολόγια έπρεπε να εκφραστούν στην ίδια κλίμακα προκειμένου να είναι εφικτή η μεταξύ τους σύγκριση, και για το λόγο αυτό προηγήθηκε η τυποποίησή τους. Στη συνέχεια προσδιορίζεται το συνολικό εύρος τιμών του νέου τυπολογίου, το ανώτατο και κατώτατο όριο των τιμών που λαμβάνει ο δείκτης και τέλος, αποδίδεται η αντιστοιχία των τιμών του δείκτη με τους χαρακτηρισμούς για την επικινδυνότητα μιας παράκτιας περιοχής.

Στο **Κεφάλαιο 7** πραγματοποιείται ο δεύτερος απαιτούμενος έλεγχος εγκυρότητας του νέου μαθηματικού τύπου διαμέσου μιας *εφαρμογής* του προτεινόμενου μαθηματικού τυπολογίου, με τη μελέτη να επικεντρώνεται σε μια *συγκεκριμένη ακτογραμμή* της παράκτιας ελληνικής επικράτειας. Σκοπός της εφαρμογής είναι η ανάδειξη της αξιοπιστίας του μοντέλου σε θέματα ακριβούς προσδιορισμού της επικινδυνότητας που χαρακτηρίζει μια συγκεκριμένη παράκτια περιοχή.

Τέλος, το **Κεφάλαιο 8** αποτελεί τον επίλογο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, όπου αποδίδονται με συμπερασματικό τρόπο τα αποτελέσματα της μελέτης που διεξήχθη και παρουσιάζονται ορισμένες ενδιαφέρουσες σκέψεις και προτάσεις για μια μελλοντική ενασχόληση με το αντικείμενο της μαθηματικής περιγραφής της παράκτιας επικινδυνότητας, με την ελπίδα ότι η νέα έρευνα θα πάει την παρούσα μελέτη ένα βήμα παραπέρα.

Η σελίδα παραμένει σκόπιμα λευκή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ

Στο παρόν κεφάλαιο επιχειρείται μια πιο συστηματική προσέγγιση του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας (*Coastal Vulnerability Index - CVI*), εξετάζοντας σε βάθος τις μεταβλητές ή παράγοντες που επιδρούν στον δείκτη και τον υπολογισμό του και αποδίδοντας την ακρίβεια λήψης των απαιτούμενων δεδομένων, το κόστος καθώς επίσης και τη διαθεσιμότητά τους για την Ελλάδα. Επιπρόσθετα, παρουσιάζεται η κατηγοριοποίηση των μεταβλητών που προτάθηκε αρχικά από την *Gornitz* και εξακολουθεί να χρησιμοποιείται ευρέως στα πλαίσια των μεθοδολογιών που ήδη αξιοποιούνται ή προτείνονται εκ των υστέρων για τον υπολογισμό του δείκτη, ως η βάση για την περαιτέρω ανάλυση. Τέλος, περιγράφεται η υπάρχουσα τυποποίηση του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας, η οποία έχει χρησιμοποιηθεί κατά κόρον τα προηγούμενα χρόνια σε μελέτες παράκτιας επικινδυνότητας για τη διαχείριση παράκτιων ζωνών.

2.1 Συνοπτική παρουσίαση των μεταβλητών

Οι μεταβλητές που λαμβάνονται υπόψη προκειμένου να διαπιστωθεί η ευαισθησία ενός παράκτιου συστήματος και να προσδιοριστεί ποιοτικά ο βαθμός του κινδύνου που διατρέχει από μια ενδεχόμενη άνοδο της στάθμης των υδάτων, είναι οι εξής (*Σιαφάκας, 2003*):

- *Παράκτια Κλίση*

Η κλίση μιας παράκτιας ζώνης αποτελεί χαρακτηριστικό της τοπογραφίας της περιοχής. Η επιπεδότητα ή μη της παράκτιας περιοχής συνδέεται με την φυσική αντοχή μιας ακτής και την ταχύτητα με την οποία η ακτογραμμή θα υποχωρήσει, έναντι κατάκλυσης.

- *Σχετική Μεταβολή της Στάθμης της Θάλασσας*

Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας αποδίδεται εξ' ολοκλήρου στην κλιματική αλλαγή, ωστόσο μια τέτοια προσέγγιση δεν είναι απόλυτα σωστή. Παράγοντες όπως η σχετική μετακίνηση ξηράς - θάλασσας και οι παγκόσμιες, «ευστατικές» αλλαγές της στάθμης λόγω θερμικής διαστολής των ωκεανών, επιδρούν εξίσου σημαντικά στη μεταβολή της στάθμης των υδάτων. Η επιρροή των παραγόντων αυτών στον υπολογισμό του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας αντανακλάται μέσα από την εν λόγω μεταβλητή.

- *Γεωλογία και Παράκτιες Γεωμορφές*

Το σύνολο των φυσικών χαρακτηριστικών των διαφόρων μορφών αναγλύφου της Γης που έχουν προκύψει από ενδογενείς και εξωγενείς φυσικές δυνάμεις. Ως μεταβλητή του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας, δίνεται ιδιαίτερη βαρύτητα στην ικανότητα των παράκτιων γεωμορφών να αποτελέσουν ένα φυσικό τείχος προστασίας απέναντι στο ενδεχόμενο κατακλυσμού του παράκτιου συστήματος.

- *Ιστορική Μετατόπιση της Ακτογραμμής*

Η συγκεκριμένη μεταβλητή αναφέρεται στη διαχρονική μεταβολή του ορίου μεταξύ ξηράς και θάλασσας, που αποδίδεται στις διαδικασίες της διάβρωσης και της πρόσχωσης.

- *Μέσο Σημαντικό Ύψος Κύματος*

Πρόκειται για την παράμετρο εκείνη που εκφράζει το αντιπροσωπευτικό ύψος κύματος μιας πραγματικής, ακανόνιστης κατάστασης της θάλασσας. Η μεταβλητή αυτή συνδέεται άμεσα με τον κίνδυνο κατακλυσμού μιας παράκτιας περιοχής και χρησιμοποιείται συχνά, διότι συμπίπτει με την τιμή ύψους κύματος που δίνει εμπειρικά ένας ναυτικός από την οπτική παρατήρηση της θάλασσας.

- *Μέσο Παλιρροιακό Εύρος*

Πρόκειται για το παγκόσμιο φαινόμενο της περιοδικής ανύψωσης και κατάπτωσης της στάθμης των υδάτων. Το φαινόμενο παρατηρείται σε κάθε παράκτια ζώνη και σαφώς επηρεάζει τη μορφολογία των ακτών και ως εκ τούτου, τον υπολογισμό του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας.

Οι παραπάνω μεταβλητές μπορούν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία αποτελεί τις *γεωλογικές μεταβλητές*, οι οποίες αποδίδουν τα ιδιαίτερα τοπικά χαρακτηριστικά μιας παράκτιας περιοχής. Στις γεωλογικές μεταβλητές υπάγονται η γεωλογία και παράκτιες γεωμορφές, η ιστορική μετατόπιση της ακτογραμμής και η παράκτια κλίση. Η δεύτερη κατηγορία αποτελεί τις *μεταβλητές των φυσικών διεργασιών*. Στις μεταβλητές αυτές περιλαμβάνονται το μέσο σημαντικό ύψος κύματος, το μέσο παλιρροιακό εύρος και η σχετική μεταβολή της στάθμης των υδάτων (Σιαφάκας, 2003).

Αξίζει να σημειωθεί πως οι παράγοντες που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους σε κάθε παράκτια περιοχή και δύναται να συμβάλλουν στον υπολογισμό του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας, ξεπερνούν τον βασικό αριθμό των έξι (6). Κατά καιρούς έχουν γίνει συστηματικές μελέτες επί του θέματος και έχει εξεταστεί το ζήτημα της εισαγωγής μεταβλητών οικονομικής και κοινωνικής φύσης στον υπολογισμό του δείκτη. Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, η μελέτη περιορίζεται στις βασικές μεταβλητές.

2.2 Γεωλογικές Μεταβλητές

Στη συνέχεια αναλύεται η πρώτη κατηγορία μεταβλητών που λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας. Οι μεταβλητές αυτές έχουν να κάνουν με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της κάθε παράκτιας ζώνης, όπως αυτά υπήρξαν από την αρχή ή/ και διαμορφώθηκαν στο πέρασ του χρόνου. Πρόκειται για τη γεωμορφολογία της περιοχής, την παράκτια κλίση και την ιστορική μετατόπιση της ακτογραμμής.

2.2.1 Γεωλογία και Παράκτιες Γεωμορφές

Σε μια μελέτη παράκτιας επικινδυνότητας, ο παράγοντας της γεωμορφολογίας της περιοχής πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη καθώς κάθε παράκτια γεωμορφή παρουσιάζει διαφορετική αντίσταση απέναντι στη διάβρωση και τον ενδεχόμενο κατακλυσμό λόγω ανόδου της στάθμης της θάλασσας. Ανάλογα με τη λιθολογική τους σύσταση, τη συνοχή των αντίστοιχων πετρωμάτων, την κλίση και την υπάρχουσα βλάστηση, οι παράκτιες γεωμορφές καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τη συμπεριφορά και τις μεταβολές των ακτών. Ως εκ τούτου, η γεωμορφολογία συμπεριλαμβάνεται ως παράγοντας στον υπολογισμό του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας. Διαφορετικοί τύποι παράκτιων γεωμορφών έχουν διαφορετικά επίπεδα αντοχής απέναντι στη διάβρωση που οι ακτές εκ των πραγμάτων υφίστανται λόγω τοπικών χερσαίων μετακινήσεων, λόγω ανόδου της στάθμης της θάλασσας, κυματισμών και ακραίων καιρικών φαινομένων. Οι τύποι της γεωλογίας και των παράκτιων γεωμορφών ταξινομήθηκαν ποιοτικά από τους *Gornitz και White (1992)* σε πέντε (5) βασικές κατηγορίες, καθεμία από τις οποίες αντιπροσωπεύει ένα διαφορετικό επίπεδο παράκτιας εμβалότητας και άρα επηρεάζει με διαφορετικό τρόπο τον Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας.

Την μικρότερη επικινδυνότητα σε σχέση με όλες τις υπόλοιπες γεωμορφές παρουσιάζουν οι βραχώδεις ακτές, οι ακτές με παγετώδεις βράχους και οι ακτές των φιόρδ. Τα φιόρδ είναι στενοί, βαθείς και επιμήκεις θαλάσσιοι κόλποι που έχουν συνήθως απότομες και βραχώδεις ακτές. Τα φιόρδ σχηματίστηκαν από κατακλυσμό των θαλασσών σε περιοχές που καλύπτονταν από παγετώνες, γεγονός που εξηγεί τη μεγάλη εξάπλωσή τους σε περιοχές με

μεγάλο γεωγραφικό πλάτος. Ενδεικτικά αναφέρονται η Νορβηγία, η Γροιλανδία, η Χιλή, η Σκωτία, η περιοχή της Νέας Ζηλανδίας και η Γη του Πυρός. Το μήκος μερικών φιορδ ξεπερνά τα 200 μέτρα και το βάθος τους τα 1000 μέτρα. Το ύψος των απόκρημνων ακτών τους φτάνει ως και 1000 μέτρα. Τα φιορδ αποτελούν σήμα κατατεθέν των περιοχών όπου απαντώνται και έτσι συγκαταλέγονται τόσο στα Μνημεία Παγκόσμιας Πολιτιστικής Κληρονομιάς της *UNESCO* όσο και στους πιο δημοφιλείς ταξιδιωτικούς προορισμούς στον κόσμο.

Ιδιαίτερα υψηλή επικινδυνότητα παρουσιάζουν οι τυπικές, αμμώδεις ακτές που τόσο συχνά συναντά κανείς στην ελληνική επικράτεια. Πρόκειται για τις παράκτιες ζώνες που αποτελούνται από λεπτόκοκκα υλικά, τα οποία θρυμματίζονται εύκολα κυρίως εάν το συνδετικό τους υλικό είναι αργιλικό. Οι αμμώδεις ακτές διαμορφώνονται και διατηρούνται κυρίως από τους κυματισμούς και τις παλίρροιας. Ο έντονος κυματισμός μπορεί να προκαλέσει αποθέσεις μεγάλων οστράκων και άλλων χονδρόκοκκων υλικών που εγκαταλείπονται από τα κύματα, κατά μήκος μιας ακτογραμμής. Καθώς η θάλασσα ηρεμεί, η ενέργεια των κυμάτων υποβιβάζεται και το υλικό απόθεσης γίνεται λεπτόκοκκο και ελαφρότερο. Σύμφωνα με τον *Bird (1993)*, οι αμμώδεις ακτές αποτελούν περίπου το 20% των ακτογραμμών παγκοσμίως (*Ξύζη, 2004*).

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, θαλάσσια ρεύματα που οδεύουν κατά μήκος μιας ακτής δύναται να αλλάξουν τη μορφολογία της. Η άμμος που αποσπάται από κάποιο σημείο της ακτής αποτίθεται λίγο αργότερα σε κάποιο άλλο σημείο, δημιουργώντας βραχίονες με φορά και διεύθυνση που καθορίζεται από την διεύθυνση των ρευμάτων. Στην περίπτωση που δύο ρεύματα αντίθετης φοράς συναντώνται σε έναν κόλπο οι βραχίονες παίρνουν μορφή αμμώδους τόξου. Επιπρόσθετα, στο ανώτερο τμήμα των ακτών χωρίς ιδιαίτερη κλίση σχηματίζονται συχνά αμμοθίνες, με άλλα λόγια αμμόλοφοι. Το μέγεθός τους κυμαίνεται από μικρούς λοφίσκους έως ράχες που φθάνουν τα 40 μέτρα ύψος. Το σχήμα των θινών είναι ποικίλο, αλλά γενικά οι πλευρά που έρχεται σε άμεση επαφή με τον κυματισμό είναι ασταθής και με απότομη κλίση, σε αντίθεση με την πλευρά που καλύπτεται από την κυματική δράση. Γραμμικές θίνες που κατευθύνονται προς το εσωτερικό δημιουργούνται σε εκτεταμένες ακτές και είναι δείγμα προσφοράς μεγάλης ποσότητας άμμου. Τόσο το αμμώδες τόξο όσο και οι αμμοθίνες αποτελούν ένδειξη υψηλής επικινδυνότητας της παράκτιας περιοχής σε μια ενδεχόμενη άνοδο της στάθμης των υδάτων (*Παναγιωτίδης & Χατζημπίρος, 2004*).

Ιδιαίτερα υψηλή επικινδυνότητα παρουσιάζουν και οι ακτές κοντά στις εκβολές μεγάλων ποταμών, στις οποίες δημιουργείται πλήθος κόλπων και οι οποίες είναι έκθετες στις παλιρροιακές επιδράσεις. Το ίδιο ισχύει και για τα λασπώδη αβαθή νερά που εντοπίζονται

στα ποτάμια δέλτα και είναι άμεσα εκτεθειμένες στις επιδράσεις της παλίρροιας. Κοντά σε ποτάμια δέλτα αλλά και λιμνοθάλασσες παρατηρούνται πολύ συχνά τα παράκτια αλμυρά έλη που φέρουν έντονη βλάστηση, ανθεκτική στο αλμυρό νερό. Αν και πρόκειται για εξαιρετικώς δυναμικά οικοσυστήματα, εν τούτοις η επικινδυνότητα που φέρουν σε μια ενδεχόμενη άνοδο της στάθμης της θάλασσας, είναι ιδιαίτερος αυξημένη. Παρομοίως, τα κοραλλιογενή νησιά και οι κοραλλιογενείς ύφαλοι παρουσιάζουν μικρή αντοχή έναντι διάβρωσης. Οι κοραλλιογενείς σχηματισμοί συντίθενται γενικά από άμμο ή χαλίκι και βρίσκονται πάνω από την ανώτατη στάθμη της παλίρροιας κατά μήκος μιας ακτογραμμής. Οι ακτές κοραλλιογενών υφάλων βρίσκονται ανάντι αβαθών υδάτων και σχηματίζονται από ανθρακικό ασβέστιο που προέρχεται από κοράλλια, φύκια και άλλους θαλάσσιους οργανισμούς. Ωστόσο, πρόκειται για εύθραυστους σχηματισμούς, ειδικά στη θερμοκρασία των υδάτων όπου φιλοξενούνται, με αποτέλεσμα να βρίσκονται ήδη σε άμεσο κίνδυνο λόγω της κλιματική αλλαγής.

Σημειώνεται ότι το μέγεθος στο οποίο η γεωμορφολογία μιας παράκτιας περιοχής επηρεάζει τον Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας, συνδέεται άμεσα με την κλίση της περιοχής αυτής, η οποία βρίσκεται υπό συνεχή διαμόρφωση από ποικίλες φυσικές διαδικασίες. Οι περισσότερες από αυτές τις διαδικασίες είναι αποκλειστικά θαλάσσιας προέλευσης, όπως για παράδειγμα η πρόσκρουση των κυμάτων ή ο συνδυασμός της δράσης της θάλασσας με τα έντονα ατμοσφαιρικά φαινόμενα που χαρακτηρίζουν τις παραθαλάσσιες περιοχές. Τα απότομα πρανή που συναντώνται σε μια βραχώδη ακτή είναι συνδυασμός θαλάσσιας δράσης και προϋπάρχουσας μορφολογίας, που οφείλεται στις ανοδικές κινήσεις των ακτών κατά μήκος ενεργών ρηγμάτων. Αντίστοιχα, οι προσχωματικές επίπεδες παράκτιες περιοχές με έντονη κλίση υποδηλώνουν ότι η παροχή υλικών απόθεσης στο τμήμα αυτό της ακτογραμμής πριν από κάποιο χρονικό διάστημα ήταν έντονη και σταδιακά ελαχιστοποιήθηκε. Στη ζώνη κυματωγής με τη δράση των κυμάτων ήταν δυνατή κάποτε η απόσπαση και η μεταφορά ιζημάτων όπως ιλύς (λάσπη) και άμμος. Μετά όμως από μια σημαντική περίοδο κυματικής ηρεμίας ο όγκος των αποθέσεων έγινε μεγάλος και έτσι το θαλάσσιο μέτωπο της ακτής απέκτησε μεγαλύτερη κλίση. Συμπερασματικά, τα ύψη και οι κλίσεις των παράκτιων ζωνών εξαρτώνται από την ευρύτερη τοπογραφία της περιοχής, τη λιθολογική δομή και το κλίμα που επικρατεί στην ευρύτερη περιοχή (Παναγιωτίδης & Χατζημήτρος, 2004).

2.2.2 Παράκτια Κλίση

Η παράκτια κλίση καθώς και η γεωμορφολογία αποτελούν τις σημαντικότερες, μεγάλης κλίμακας μεταβλητές προσδιορισμού της επικινδυνότητας μιας παράκτιας περιοχής. Η συσχέτιση των δύο αυτών μεταβλητών είναι ισχυρή, καθώς η κλίση αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της τοπογραφίας μιας παράκτιας περιοχής, ενώ η ίδια η τοπογραφία εκφράζεται

μέσω των ιδιαίτερων παράκτιων γεωμορφών που συναντώνται σε κάθε διαφορετική ακτογραμμή παγκοσμίως. Η κλίση καθορίζει σε σημαντικό βαθμό τη σχετική επικινδυνότητα μιας παράκτιας περιοχής σε μια ενδεχόμενη άνοδο της στάθμης της θάλασσας, διότι συνδέεται με την φυσική αντοχή της ακτής και την ταχύτητα με την οποία η ακτογραμμή θα υποχωρήσει, έναντι κατάκλισης.

Η παράκτια κλίση εμπεριέχει μεγάλο βαθμό αβεβαιότητας ως προς τον ορισμό της, παρά το πλήθος μελετών παράκτιας επικινδυνότητας που έχουν μέχρι σήμερα διεξαχθεί. Βάσει της διεθνούς πρακτικής, η περιοχή υπολογισμού της παράκτιας κλίσης εκτείνεται από το όριο μεταξύ ξηράς και θάλασσας μέχρι το σημείο όπου καταλήγει η παράκτια υφαλοκρηπίδα, σύμφωνα με τον γεωλογικό ορισμό της. Ειδικότερα, η ηπειρωτική υφαλοκρηπίδα με τη γεωλογική της έννοια είναι η φυσική υποθαλάσσια προέκταση της ακτής μέχρι το σημείο όπου το επικλινές του βυθού γίνεται απότομα έντονο. Συνήθως, η αλλαγή της κλίσης συμβαίνει σε μέγιστο βάθος 200 μέτρων και σε απόσταση περίπου 42 με 45 ναυτικά μίλια από την ακτή. Γενικά, η ηπειρωτική υφαλοκρηπίδα είναι ένα υποθαλάσσιο πλάτωμα με μέση κλίση 2%, του οποίου η συνολική έκταση δεν υπερβαίνει το 7% της συνολικής επιφάνειας των ωκεανών. Πέρα όμως από τον ορισμό της παράκτιας κλίσης, εγείρεται και το ερώτημα του χωρικού εύρους της παράκτιας περιοχής για την οποία θα υπολογιστεί η κλίση στα πλαίσια της μελέτης για την παράκτια επικινδυνότητα (Σιαφάκας, 2003).



Εικόνα 2.1: Σχηματική αναπαράσταση της υφαλοκρηπίδας.

(Πηγή: Ιστότοπος Βικιπαίδεια)

Η μεταβλητή της παράκτιας κλίσης, όπως είναι απολύτως αναμενόμενο συμπεριλαμβάνεται στον υπολογισμό του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας. Ήπιες κλίσεις σε μια ακτή υποδηλώνουν ότι μια μικρή κατακόρυφη άνοδος της στάθμης της θάλασσας δύναται να προκαλέσει σημαντική μετατόπιση των υδάτων προς την ξηρά. Στον αντίποδα, απότομες κλίσεις αποτελούν ένα φυσικό εμπόδιο απέναντι στο θαλάσσιο περιβάλλον και τον έντονο κατά τόπους και χρόνο, κυματισμό. Άμεσο συμπέρασμα αυτού είναι πως όσο μεγαλύτερη η κλίση μιας παράκτιας περιοχής, τόσο πιο δύσκολο είναι η περιοχή αυτή να κινδυνεύσει από

την άνοδο της στάθμης των υδάτων, πάντα λαμβάνοντας υπόψη τη γεωμορφολογία της περιοχής και εν τέλει την ένταση του κυματισμού. Η τιμή της παράκτιας κλίσης εκφράζεται πάντα σε ποσοστό επί τοις εκατό (%).

2.2.3 Ιστορική Μετατόπιση της Ακτογραμμής

Το σημερινό σχήμα των ακτογραμμών είναι αποτέλεσμα διεργασιών που έγιναν κατά το γεωλογικό παρελθόν και οφείλεται σε κινήσεις της ξηράς και της θάλασσας. Οι μεταβολές αυτές πραγματοποιήθηκαν με την επίδραση ενδογενών δυνάμεων, όπως είναι οι ανυψώσεις και ταπεινώσεις περιοχών, δημιουργία ρηγμάτων, ηφαιστειακή δράση, κ.α., καθώς επίσης και με την επίδραση εξωγενών παραγόντων, όπως είναι η δημιουργία παγετώνων, η διάβρωση και η απόθεση. Οι διαδικασίες της διάβρωσης και της απόθεσης σχηματίζουν τις πιο εντυπωσιακές ακτές. Η διάβρωση είναι αρμόδια για τη διαμόρφωση των λόφων και των κοιλάδων στην ξηρά, των λιμνών και των ακτών στο παράκτιο περιβάλλον. Η διάβρωση είναι μια απολύτως φυσική διαδικασία και ένα μέσο κίνησης υλικού και ιζημάτων. Η διαδικασία της διάβρωσης σταματάει όταν το υλικό εγκατασταθεί σε μια επιφάνεια. Η διαδικασία αυτή καλείται απόθεση ή αλλιώς πρόσχωση (Ξύξη, 2004).

Το 70% των αμμώδων παραλιών παγκοσμίως γνωρίζουν έντονη διάβρωση τις τελευταίες δεκαετίες. Βέβαια, όλες οι ακτές δεν διαβρώνονται κατά τον ίδιο τρόπο και στον ίδιο βαθμό, καθότι οι παράγοντες που επηρεάζουν τις διαδικασίες της διάβρωσης και, ως εκ τούτου και της απόθεσης, είναι πολυσύνθετοι και ποικίλλουν. Στα πλαίσια υπολογισμού του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας εξετάζεται η οπισθοχώρηση ή πρόσχωση μιας ακτογραμμής λόγω διάβρωσης και πρόσχωσης, ως βασικός παράγοντας της επικινδυνότητας που παρουσιάζει η εν λόγω ακτογραμμή σε μια πιθανή άνοδο της στάθμης των υδάτων. Συνήθως εξετάζεται η ιστορική μετακίνηση που έχει παρέλθει σε χρονική έκταση δεκαετιών, όσο επιτρέπουν τα διαθέσιμα δεδομένα για τη λήψη της συγκεκριμένης πληροφορίας. Στη συνέχεια πραγματοποιείται σύγκριση της τωρινής κατάστασης της υπό μελέτη ακτογραμμής με τη μορφή που είχε σε παλιότερα έτη, ώστε να προκύψουν οι ρυθμοί ιστορικής μεταβολής. Το συγκεκριμένο δεδομένο χρησιμοποιείται τελικά για να προβλεφθούν με ικανοποιητική ακρίβεια οι τάσεις μετακίνησης του ορίου μεταξύ ξηράς και θάλασσας. Η ιστορική μετακίνηση μιας ακτογραμμής εκφράζεται σε *m/έτος* (Σιαφάκας, 2003).

Οι ρυθμοί μεταβολής μιας συγκεκριμένης ακτογραμμής και μάλιστα οι μέσοι ετήσιοι ρυθμοί δύναται να υπολογιστούν ως μέσες τιμές κατά μήκος διατομών κάθετων στην ακτογραμμή ή με χρήση της τεχνικής της γραμμικής παλινδρόμησης. Για το σκοπό αυτό, πηγές δεδομένων για την ιστορική μετακίνηση αποτελούν διάφορες ιστορικές αναφορές, χάρτες και

τοπογραφικά διαγράμματα της συγκεκριμένης παράκτιας ζώνης που παρουσιάζουν την παλαιότερη μορφή αυτής, αεροφωτογραφίες, ορθοφωτογραφίες και ορθοφωτοχάρτες. Παράλληλα, δύναται να αξιοποιηθούν παλιρροιακές μετρήσεις για τον προσδιορισμό της Μέσης Στάθμης της Θάλασσας ως τη στάθμη αναφοράς για τη διαπίστωση της οπισθοχώρησης ή πρόσχωσης της ακτογραμμής. Ρυθμοί οπισθοχώρησης ή πρόσχωσης μικρότεροι από ± 0.6 m/έτος δε θεωρούνται σημαντικοί από άποψη επικινδυνότητας (Σιαφάκας, 2003).

2.3 Μεταβλητές των φυσικών διεργασιών

Στη συνέχεια αναλύεται η δεύτερη κατηγορία μεταβλητών που λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας. Οι μεταβλητές αυτές έχουν να κάνουν με τις επιδράσεις κανονικού ή επαυξημένου μεγέθους που δέχεται η κάθε παράκτια ζώνη λόγω των διεργασιών που συντελούνται στα πλαίσια του κύκλου ζωής του πλανήτη Γη. Πρόκειται για τη σχετική μεταβολή της στάθμης της θάλασσας, το μέσο σημαντικό ύψος κυμάτων και το μέσο παλιρροιακό εύρος.

2.3.1 Σχετική Μεταβολή της Στάθμης της Θάλασσας

Για πρακτικούς λόγους, η επιφάνεια της θάλασσας αποτέλεσε από πολύ νωρίς την επιφάνεια αναφοράς πάνω στην οποία ο άνθρωπος μετρούσε τα υψόμετρα της στεριάς και κάτω από την οποία μετρούσε τα βάθη των θαλασσών. Επειδή όμως η στιγμιαία επιφάνεια της θάλασσας μεταβάλλεται συνεχώς ως επιφάνεια αναφοράς, για τις απαιτούμενες μετρήσεις υψομέτρων και βαθών χρησιμοποιείται η *Μέση Στάθμη της επιφάνειας της Θάλασσας (ΜΣΘ)*. Η μέση στάθμη της θάλασσας μεταβάλλεται περιοδικά με το χρόνο λόγω εποχιακών κυρίως μεταβολών της θερμοκρασίας της θάλασσας, της ατμοσφαιρικής πίεσης και άλλων μετεωρολογικών παραμέτρων. Επίσης, η μέση στάθμη της θάλασσας μεταβάλλεται και με συστηματικό τρόπο λόγω μικρών αλλά συνεχών μεταβολών της θερμοκρασίας, της τήξης των πάγων και τέλος, λόγω της μεταβολής των ωκεάνιων λεκανών, γεγονός που οφείλεται σε γεωλογικές αιτίες (Μητσακάκη, 2007).

Μέση Στάθμη της Θάλασσας καλείται ο μέσος όρος των καταγραφών της στιγμιαίας στάθμης της θάλασσας για μια μεγάλη χρονική περίοδο. Οι σχετικές μεταβολές της μέσης στάθμης της θάλασσας προκύπτουν από την αύξηση ή τη μείωση της μέσης ετήσιας στάθμης των υδάτων, όπως αυτή μετράται από ενεργούς παλιρροιακούς σταθμούς, παράκτια ή μεσωκεάνια τοποθετημένους. Παρατηρήσεις της στιγμιαίας στάθμης της θάλασσας έδειξαν ότι δύναται να μεταβάλλεται μέχρι και 10 μέτρα ημερησίως. Σε μηνιαία βάση, ο μέσος όρος δεν

μεταβάλλεται περισσότερο από αρκετά δέκατα του μέτρου, ενώ ετήσια ο μέσος όρος παραμένει κατά βάση σταθερός για αρκετές δεκαετίες, με πιθανές διαφορές που κυμαίνονται στα μερικά εκατοστά από έτος σε έτος. Με δεδομένο το ότι στη διάρκεια ενός έτους οι επιδράσεις της Σελήνης και του Ήλιου στη Γη από αριθμητικής άποψης είναι ισόποσες και άρα αναιρούνται, συνηθίζεται να λαμβάνεται ως Μέση Στάθμη της Θάλασσας ο μέσος όρος των ωριαίων υψών κατά τη διάρκεια ενός έτους (Ξύξη, 2004).

Το συγκεκριμένο φαινόμενο συμπεριλαμβάνεται στον υπολογισμό του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας με την ομόνομη μεταβλητή. Η μεταβλητή αυτή του δείκτη εμπεριέχει την παγκόσμια μεταβολή της στάθμης της θάλασσας κυρίως λόγω θερμικής διαστολής των ωκεανών και κλιματικής αλλαγής, καθώς και τις τοπικές ισοστατικές ή τεκτονικές μετακινήσεις της ξηράς. Τα αντίστοιχα δεδομένα προκύπτουν ως ιστορικές αναφορές παλιρροιακών σταθμών και παρουσιάζουν τις ενδεχόμενες μεταβολές μόνο για σχετικά πρόσφατες χρονικές περιόδους, δηλαδή για τα παρελθόντα 50 με 100 έτη. Τα τελικά αποτελέσματα για τις μεταβολές της στάθμης της θάλασσας εκφράζονται σε *mm/έτος* και προκύπτουν με εφαρμογή της γραμμικής παλινδρόμησης ή της Μεθόδου Ελαχίστων Τετραγώνων στις χρονοσειρές των μέσων ετήσιων υψών υδάτων για κάθε μετρητικό σταθμό. Οι σταθμοί αυτοί μετρούν τις μεταβολές της θαλάσσιας στάθμης ως προς ένα σταθερό σημείο αναφοράς στη ξηρά, όπως ένα τριγωνομετρικό ή υψομετρικό σημείο (Σιαφάκας, 2003).

Σε μελέτες εκτίμησης της παράκτιας επικινδυνότητας ενδιαφέρει κυρίως η μεταβολή της στάθμης των υδάτων λόγω της μεταβολής της παγκόσμιας στάθμης και όχι λόγω τοπικών ανυψώσεων, καθιζήσεων ή ανθρωπογενών παρεμβάσεων στον πυθμένα. Έτσι, οι σχετικές μεταβολές της στάθμης της θάλασσας παρέχουν ενδείξεις για τη σχετική επικινδυνότητα κάθε τμήματος ακτογραμμής, μόνο σε περίπτωση που επέλθει παγκόσμια άνοδος της στάθμης των υδάτων. Επιπρόσθετα, δύναται να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση περιοχών που ανυψώνονται ή καθιζάνουν ταχύτερα ή όχι σε σχέση με τις τοπικές μέσες τιμές. Ουσιαστικά, τα δεδομένα σχετικών μεταβολών της στάθμης της θάλασσας παρέχουν τις τάσεις μεταβολής της στάθμης των υδάτων, καθώς αναφέρονται σε χρονική περίοδο ετών ή και δεκαετιών, ενώ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προσαρμογή της καμπύλης των παγκόσμιων μεταβολών της στάθμης της θάλασσας στις τοπικές συνθήκες (Σιαφάκας, 2003).

2.3.2 Μέσο Σημαντικό Ύψος Κύματος

Το σημαντικό ύψος κύματος εκφράζει σε μέτρα τη μέση τιμή ύψους κύματος του 33% ή ισοδύναμα του ενός τρίτου των υψηλότερων παρατηρούμενων κυμάτων σε ένα σημείο κατά τη διάρκεια μιας δειγματοληψίας που διαρκεί 10 με 20 λεπτά. Το πιθανό αναμενόμενο

μέγιστο ύψος κύματος μπορεί να φτάσει μέχρι δύο φορές το υπολογιζόμενο σημαντικό ύψος κύματος. Με τον τρόπο αυτό, στις μελέτες παράκτιας επικινδυνότητας λαμβάνονται υπόψη τα κύματα μεγαλύτερου ύψους που είναι τα πλέον επικίνδυνα και ευκολότερο να μετρηθούν. Στην πραγματικότητα, τα θαλάσσια κύματα προκύπτουν από την σύζευξη πολλών ημιτονοειδών κυμάτων με διαφορετικό μήκος, εύρος, περίοδο και κατεύθυνση κύματος το καθένα, και άρα δεν παρουσιάζουν την βολική μορφή ενός απλού ημιτονοειδούς κύματος. Για το λόγο αυτό οι πραγματικοί κυματισμοί χρειάζεται να αντιμετωπιστούν εξ' ολοκλήρου ως στοχαστικό μέγεθος (Δεληκαράογλου, 2011).

Ως κυματισμός ορίζεται κάθε περιοδική ή μη περιοδική διαταραχή της επιφάνειας της θάλασσας, η οποία συνήθως προκαλείται από την επίδραση των ανέμων. Οι ανεμογενείς κυματισμοί αναπτύσσονται μέσω μεταφοράς ενέργειας από τα κινούμενα κατώτερα ατμοσφαιρικά στρώματα στις επιφανειακές θαλάσσιες μάζες. Η ενέργεια αυτή αρχικά περνά από την ατμόσφαιρα στη θάλασσα με τη διάτμηση και στη συνέχεια με την αναδιαμόρφωση του πεδίου των πιέσεων πάνω από τα κυρτά και τα κοίλα του κύματος. Σύμφωνα με την επικρατούσα θεωρία των *Philips (1957)* και *Miles (1960)*, η κυματογένεση ξεκινά με γραμμική αύξηση του κύματος, λόγω συντονισμού με τις τυρβώδεις διαταραχές πιέσεως και τριβής στην επιφάνεια, και συνεχίζει με εκθετικό ρυθμό ανάπτυξης λόγω υδροδυναμικής αστάθειας (Κόφτης, 2009).

Ένα κύμα μπορεί να χαρακτηριστεί από τα γεωμετρικά και τα κινηματικά μεγέθη του. Τα χαρακτηριστικά μεγέθη του κυματισμού είναι τα εξής (Δεληκαράογλου, 2011):

- Το μήκος κύματος (L).

Πρόκειται για την οριζόντια απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών κορυφών ή δύο διαδοχικών κοιλωμάτων του κύματος. Το μήκος κύματος ορίζεται ως το γινόμενο της περιόδου T και της ταχύτητας u του κύματος, δηλαδή ισχύει ότι: $L = T \cdot u$.

- Η περίοδος του κύματος (T).

Το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μέχρι να περάσουν από το ίδιο σημείο δύο διαδοχικές κορυφές ή δύο διαδοχικά κοίλα του κύματος. Οι τιμές της περιόδου των ανεμογενών κυμάτων κυμαίνονται από 4 sec μέχρι και 25 sec, ενώ για τον ελλαδικό χώρο οι τιμές τους είναι από 4 sec μέχρι και 10 sec περίπου.

- Το ύψος του κύματος (H).

Πρόκειται για την κάθετη απόσταση ανάμεσα σε μία κορυφή και ένα κοίλο του κύματος. Το ύψος του κύματος εξαρτάται από την ένταση του πνέοντος ανέμου, τη διάρκειά του, την έκταση της υδάτινης επιφάνειας πάνω στην οποία φυσά ο άνεμος και τέλος, το βάθος του νερού. Το ύψος κύματος αποκτά τη μεγαλύτερη τιμή του όταν η απώλεια ενέργειας εξαιτίας της προώθησης των κυμάτων εξισορροπηθεί από την ενέργεια που προέρχεται από τον άνεμο.

Τα χαρακτηριστικά ύψη κύματος είναι το μέσο ύψος κύματος, το μέγιστο πιθανό ύψος κύματος και τέλος, το μέσο σημαντικό ύψος κύματος, το οποίο έχει επικρατήσει και χρησιμοποιείται ευρέως στις μελέτες παράκτιας επικινδυνότητας. Η τιμή αυτή αντιστοιχεί κατά προσέγγιση με τις εκτιμήσεις έμπειρων ναυτικών. Στις μελέτες παράκτιας επικινδυνότητας, το μέσο σημαντικό ύψος κύματος χρησιμοποιείται ως δείκτης της ενέργειας των κυμάτων που προκαλεί τη μεταφορά και την απόθεση ιζημάτων στις ακτές.

Η μέση ενέργεια μιας συγκεκριμένης κατάστασης της θάλασσας, που χαρακτηρίζεται από το μέσο σημαντικό ύψος κύματος και την περίοδο του κύματος, υπολογίζεται συνήθως από την παρακάτω σχέση:

$$E = \frac{(p \cdot g \cdot H^2)}{8}$$

όπου:

E : ο μέσος όρος της ενέργειας του κύματος σε ένα ορισμένο χρονικό διάστημα,

H : το μέσο σημαντικό ύψος κύματος,

p : η πυκνότητα του νερού και

g : η επιτάχυνση της βαρύτητας ίση με $9,81m/sec$.

Η ενέργεια του κύματος χωρίζεται σε δυναμική και κινητική. Ένα κύμα έχει δυναμική ενέργεια ως αποτέλεσμα της θέσης του και κινητική ενέργεια ως αποτέλεσμα της κίνησης του νερού. Με άλλα λόγια, η κυματική ενέργεια προέρχεται από τις δύο εναλλασσόμενες κινήσεις του νερού της θαλάσσιας επιφάνειας, την κατακόρυφη και την οριζόντια. Η μεν πρώτη προσδιορίζει το ύψος του κύματος ενώ η δεύτερη προσδιορίζει την ταχύτητα με την οποία κινείται το κύμα. Αυτή η συνολική ενέργεια των κυμάτων παράγεται από την επίδραση των ανέμων που κινούνται πάνω από την ωκεάνια επιφάνεια, ενώ είναι σαφές πως το ανεμολογικό καθεστώς της κάθε περιοχής διαμορφώνει με ανάλογο τρόπο τους κυματισμούς

που παρατηρούνται σε αυτή. Για τον υπολογισμό του επιπέδου της κυματικής ενέργειας μιας ορισμένης περιοχής λαμβάνονται δεδομένα για την ετήσια μέση τιμή όλων των καταστάσεων της θάλασσας. Ο παράγοντας αυτός είναι σημαντικός γιατί οι εποχιακές μεταβολές δύναται να είναι μεγάλες (Γαλανού, 2012).

Το μέσο σημαντικό ύψος και η περίοδος των κυματισμών επηρεάζονται από την χαρακτηριστική ταχύτητα του ανέμου, όπως αυτή μετράται σε ύψος 10m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, την κατεύθυνση κίνησης του ανέμου, την διάρκεια πνοής του ανέμου και την απόσταση από την επιφάνεια της θάλασσας στην οποία ταξιδεύει ο άνεμος. Επιπρόσθετα, επηρεάζεται από την μορφολογία και το βάθος του πυθμένα, καθώς επίσης και από το αποτελεσματικό μήκος ανάπτυξης του κύματος. Ως αποτελεσματικό μήκος ανάπτυξης για ένα κύμα ορίζεται η διαθέσιμη θαλάσσια έκταση στην οποία δύναται να αναπτυχθεί ένας κυματισμός, ξεκινώντας από το σημείο όπου υπολογίζονται τα στοιχεία του κύματος έως την απέναντι ακτή κατά μήκος της κατεύθυνσης πνοής του ανέμου και 45° εκατέρωθεν αυτής (Κόφτης, 2009).

Η ανάπτυξη των ανεμογενών κυματισμών από ανεμολογικής άποψης, εξαρτάται από την χαρακτηριστική ταχύτητα ανέμου, τη διάρκεια πνοής και το αποτελεσματικό μήκος ανάπτυξης. Ανάλογα με τις τιμές που λαμβάνουν οι τρεις αυτοί παράγοντες, διακρίνονται οι εξής τρεις κυματικές καταστάσεις (Κόφτης, 2009):

- *Ανάπτυξη με περιορισμό χρόνου.*

Στην περίπτωση αυτή το μήκος ανάπτυξης είναι πολύ μεγάλο και τα στοιχεία του κύματος - το ύψος και η περίοδος - εξαρτώνται από τη διάρκεια πνοής του ανέμου και την χαρακτηριστική του ταχύτητα.

- *Ανάπτυξη με περιορισμό μήκους ανάπτυξης.*

Στην περίπτωση αυτή η διάρκεια πνοής του ανέμου είναι πολύ μεγάλη και τα στοιχεία του κύματος εξαρτώνται από το μήκος ανάπτυξης του κύματος και την χαρακτηριστική ταχύτητα του ανέμου.

- *Πλήρως αναπτυγμένη κατάσταση κυματισμών.*

Στην περίπτωση αυτή η διάβαση ενέργειας από την ατμόσφαιρα στη θάλασσα δεν περιορίζεται ούτε από τη διάρκεια πνοής του ανέμου ούτε από το αποτελεσματικό μήκος

ανάπτυξης, και άρα τα στοιχεία του κύματος εξαρτώνται μόνο από την χαρακτηριστική ταχύτητα του ανέμου.

Από άποψη μορφολογίας της παράκτιας περιοχής, οι ανεμογενείς κυματισμοί σχετίζονται άμεσα με την απόσταση από τον πυθμένα και το πόσο απότομα μεταβάλλεται η απόσταση αυτή. Τα κύματα ταξιδεύουν στα βαθιά νερά των ωκεανών σχεδόν χωρίς καμία απώλεια ενέργειας ενώ, πλησιάζοντας στα ρηχότερα ύδατα των ακτών, η ισχύς των κυμάτων εξασθενίζει όλο και περισσότερο λόγω της τριβής στο βυθό. Στην περίπτωση που η εξασθένιση αυτή γίνεται σταδιακά και με ομαλό τρόπο, το κύμα θραύεται με αποτέλεσμα να φτάνει στην ακτή αποδυναμωμένο. Ωστόσο, στην περίπτωση που το κύμα πλησιάζει στην ακτή και δε συναντά ρηχά νερά για να το επιβραδύνουν, φτάνει με αμείωτο ενεργειακό φορτίο στην ακτή και αποτελεί άμεσο κίνδυνο για ενδεχόμενο κατακλυσμό αυτής. Η παραμικρή αλλαγή στην ταχύτητα και την πορεία ενός μετώπου κυμάτων καλείται διάθλαση. Το φαινόμενο της διάθλασης αποτελεί τον βασικότερο παράγοντα μεταβολής των ακτών, καθώς καθορίζει τη διαβρωτική δράση των κυμάτων κατά μήκος της ακτογραμμής, αλλά και τη μεταφορά και απόθεση ιζημάτων σε αυτές. Λόγω του φαινομένου της διάθλασης των κυμάτων, παρατηρείται συγκέντρωση της κυματικής ενέργειας και της διαβρωτικής τους επίδρασης μπροστά στα ακρωτήρια, ενώ μπροστά σε κόλπους η κυματική ενέργεια είναι σαφώς μικρότερη (Σιαφάκας, 2003).

2.3.3 Μέσο Παλιρροιακό Εύρος

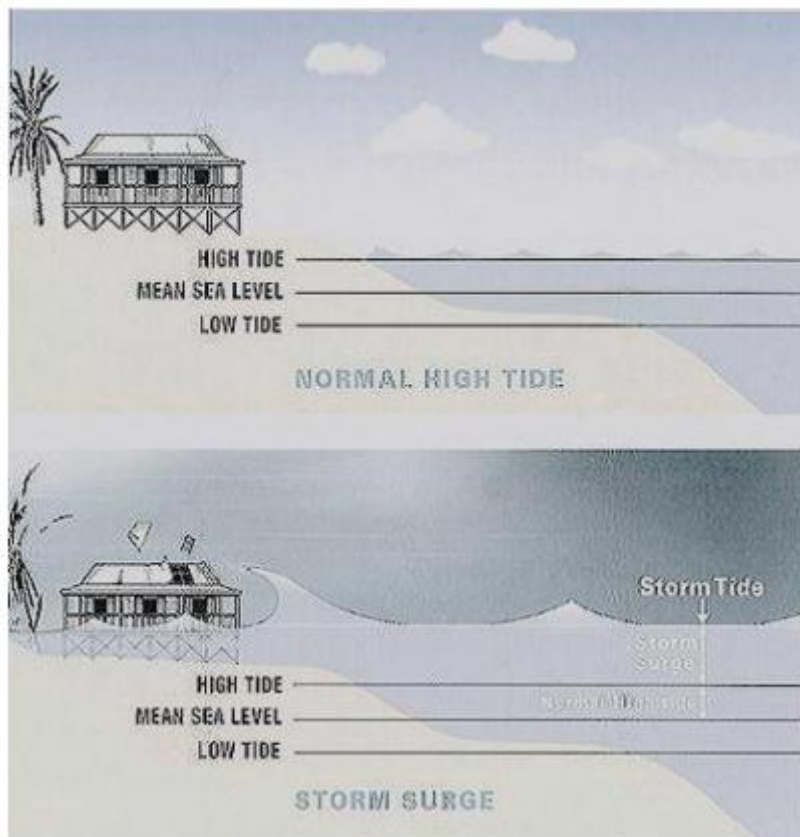
Το φαινόμενο της παλίρροιας λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας και έχει εισαχθεί ως μεταβλητή με την ονομασία «μέσο παλιρροιακό εύρος». Το μέσο παλιρροιακό εύρος για δεδομένο παλιρροιακό σταθμό μέτρησης είναι η διαφορά σε μέτρα μεταξύ της μέσης πλήμμης και της μέσης ρηχίας στη διάρκεια ενός έτους. Τα υψή των παλιρροιών διαφέρουν από έτος σε έτος όμως οι μεταξύ τους διαφορές είναι σχετικά σταθερές. Όσο μεγαλύτερο το μέσο εύρος παλίρροιας, τόσο μικρότερη η επικινδυνότητα για κατακλυσμό της εκάστοτε ακτής. Ο βασικός λόγος για αυτή την επιλογή είναι η δυναμική επίδραση των καταιγίδων στην παράκτια εξέλιξη και οι επιπτώσεις τους σε σχέση με το παλιρροιακό εύρος (Σιαφάκας, 2003).

Με τον όρο παλίρροια ορίζεται το φυσικό φαινόμενο κατά το οποίο η στάθμη της θάλασσας ανυψώνεται και υποχωρεί δύο φορές την ημέρα. Η ανύψωση καλείται πλημμυρίδα και η ανώτατη στάθμη του θαλάσσιου νερού κατά την πλημμυρίδα καλείται πλήμμη. Αντίστοιχα, η υποχώρηση καλείται άμπωτις και η κατώτατη στάθμη του θαλάσσιου νερού κατά την άμπωτις καλείται ρηχία. Αφού το φαινόμενο ολοκληρωθεί, επαναλαμβάνεται από την αρχή.

Η διαφορά των επιπέδων πλημμυρίδας και αμπώτιδας καλείται εύρος της παλίρροιας. Το φαινόμενο της παλίρροιας οφείλει την ύπαρξή του σε εξωγενείς επιδράσεις, και συγκεκριμένα στη συνδυασμένη έλξη πλανητών στην επιφάνεια της Γης, καθώς επίσης και σε ενδογενείς επιδράσεις, δηλαδή στην επίδραση κλιματικών φαινομένων και γεωτεκτονικών κινήσεων που διαδραματίζονται στην επιφάνεια της Γης (Γαλανού, 2012).

Η παλιρροιακή διαφοροποίηση της στάθμης της θάλασσας λόγω της συνδυασμένης επίδρασης των πλανητών στη Γη ονομάζεται *αστρονομική παλίρροια*. Το φαινόμενο της παλίρροιας διαμορφώνεται κατά κύριο λόγο από την έλξη που ασκούν στην υδρόσφαιρα η Σελήνη και ο Ήλιος, η μεν Σελήνη λόγω της μικρής απόστασης από τη Γη και ο Ήλιος λόγω της μεγάλης μάζας του. Ειδικότερα λόγω της Σελήνης, κατά τη διάρκεια της πανσελήνου ή της νέας Σελήνης το εύρος παλίρροιας είναι μέγιστο, δηλαδή παρουσιάζεται η μεγαλύτερη πλήμμη και η μικρότερη ρηχία. Οι παλίρροιες αυτές ονομάζονται παλίρροιες συζυγίας. Αντίστοιχα, κατά τη διάρκεια του πρώτου και τελευταίου τετάρτου της Σελήνης, το εύρος της παλίρροιας είναι ιδιαίτερα μικρό και οι παλίρροιες καλούνται παλίρροιες τετραγωνισμού. Η διαφορά στο εύρος των παλιρροιών συζυγίας και τετραγωνισμού είναι γνωστή με τον όρο ανισότητα φάσης (Γαλανού, 2012).

Επιπρόσθετα, το φαινόμενο της παλίρροιας επηρεάζεται από ποικίλους ενδογενείς παράγοντες, και συγκεκριμένα από κλιματικά φαινόμενα, από την περιστροφή της Γης, από τις ηπείρους που δρουν ανασχετικά στην κίνηση των ρευμάτων γύρω από τη Γη, από τη δύναμη *Coriolis* λόγω της περιστροφής της Γης και από τις δυνάμεις τριβής που αναπτύσσονται στον θαλάσσιο πυθμένα, κυρίως σε αβαθείς θάλασσες. Η εξαιρετική και μη συνήθης άνοδος της στάθμης της θάλασσας κατά μήκος της ακτογραμμής, η οποία προκαλείται από τις δυνάμεις του ανέμου και της πίεσης ενός βαρομετρικού χαμηλού ή μιας έντονης καταιγίδας, ονομάζεται *μετεωρολογική παλίρροια*. Σε ορισμένες περιπτώσεις, το φαινόμενο της παλίρροιας διαμορφώνεται από την συνδυασμένη επίδραση της μετεωρολογικής παλίρροιας και της αστρονομικής παλίρροιας, οπότε δημιουργείται η *παλίρροια καταιγίδας*, η οποία σε αρκετές περιπτώσεις δημιουργεί έντονα προβλήματα κατακλυσμού σε παράκτιες περιοχές (Σιαφάκας, 2003).



Εικόνα 2.2: Η συνδυασμένη επίδραση της μετεωρολογικής παλίρροιας και της αστρονομικής παλίρροιας δημιουργεί την παλίρροια καταιγίδας.

(Πηγή: Ιστότοπος Βικιπαίδεια)

Η εμφάνιση μετεωρολογικών παλιρροιών τόσο κοντά στις ακτές όσο και στην ανοικτή θάλασσα είναι ένας ιδιαίτερα σημαντικός παράγοντας πρόκλησης πλυμμυρικών συμβάντων στις παράκτιες περιοχές. Η ανύψωση της στάθμης σε μια δεδομένη θέση εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες, συμπεριλαμβάνοντας το μέγεθος του βαρομετρικού χαμηλού, την ένταση των ανέμων και την ταχύτητα προώθησης, τον προσανατολισμό των ανέμων σε σχέση με την ακτή, το σχήμα της ακτογραμμής και τη βαθυμετρία κοντά σ' αυτή. Επίσης, περιοχές με χαμηλά υψόμετρα και ήπιες μορφολογικές κλίσεις εμφανίζουν κίνδυνο κατάκλυσης κατά τη διάρκεια αλλά και μετά τη διέλευση ενός βαρομετρικού χαμηλού επεισοδίου. Τα κινούμενα μέσω γεωγραφικού πλάτους συστήματα χαμηλής πίεσης λειτουργούν προς την κατεύθυνση της ανύψωσης της στάθμης θάλασσας ακριβώς κάτω από αυτά, αλλά αυτό το φαινόμενο από μόνο του είναι αρκετά περιορισμένο σε κλειστές θάλασσες όπως είναι η Μεσόγειος θάλασσα. Ο πιο σημαντικός μετεωρολογικός παράγοντας είναι οι παραγόμενοι άνεμοι, οι οποίοι τείνουν να παρασύρουν τις θαλάσσιες επιφανειακές μάζες προς την ίδια κατεύθυνση, με μια τάση προς τα δεξιά εξαιτίας των δυνάμεων *Coriolis* (Ανδρουλιδάκης *et al*, 2009).

Αν το φαινόμενο της παλίρροιας οφειλόταν μόνο στην επίδραση της Σελήνης και η κάλυψη της γήινης επιφάνειας με νερό ήταν ομοιόμορφη, τότε θα έπρεπε σε κάθε τόπο να υπήρχε ανύψωση των νερών κατά την άνω και κάτω μεσημβρινή διάβαση της Σελήνης, δηλαδή όταν η Σελήνη βρίσκεται στο επίπεδο του μεσημβρινού του τόπου. Στην περίπτωση αυτή κατά τη διάρκεια μιας ημέρας θα υπήρχαν δύο ανυψώσεις και δύο καταπτώσεις της επιφάνειας της θάλασσας. Στην πραγματικότητα όμως, αφ' ενός μεν λόγω των δυνάμεων τριβής και αδράνειας, αφ' ετέρου δε λόγω του ότι το φαινόμενο της παλίρροιας οφείλεται και στην επίδραση του Ηλίου, η μέγιστη ανύψωση της επιφάνειας της θάλασσας σε ένα τόπο δε συμβαίνει κατά το χρόνο της μεσημβρινής διαβάσεως της Σελήνης από τον τόπο αυτό (Υδρογραφική Υπηρεσία, 2008).

Εν γένει, καμία ακτή δεν στερείται παλιρροιών καθότι η περιοδική ανύψωση και υποχώρηση της θαλάσσιας επιφάνειας είναι ένα παγκόσμιο φαινόμενο. Συχνά η κίνηση είναι τόσο μικρή που επισκιάζεται από την επίδραση του ανέμου και του καιρού, αλλά εξίσου συχνές είναι οι περιπτώσεις που η θαλάσσια στάθμη φτάνει θεαματικά ύψη της τάξης των 15 m πάνω από το κανονικό επίπεδο της στάθμης. Η μεγάλη σημασία του φαινομένου της παλίρροιας είναι αδιαμφισβήτητη, καθώς οι εναλλαγές της θαλάσσιας στάθμης έχουν μια σημαντική επίδραση στη ζωή και την οικονομία των παράκτιων περιοχών (Δουκάκης, 1998).

2.4 Απαιτήσεις ακρίβειας σε μια μελέτη παράκτιας επικινδυνότητας

Αντικείμενο του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας είναι ο κατά το δυνατόν επιτυχής προσδιορισμός της επικινδυνότητας που φέρει μια συγκεκριμένη παράκτια περιοχή. Για το σκοπό αυτό θα πρέπει να εξεταστεί αρχικά η έκταση της εν λόγω παράκτιας περιοχής και εν συνεχεία η πιθανή ανάγκη διαχωρισμού αυτής σε υποπεριοχές, καθότι η χωρική κλίμακα που θα επιλεγεί καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την ακρίβεια με την οποία θα εξαχθούν τα απαραίτητα δεδομένα της μελέτης από τις διαθέσιμες πηγές. Κάθε παράκτια περιοχή παρουσιάζει τις ιδιαιτερότητές της αποτελώντας ένα πολύπλοκο σύστημα. Συνεπώς, η διακριτοποίηση της περιοχής αυτής σε υποπεριοχές για λόγους πληρότητας της μελέτης, ποικίλλει από περιοχή σε περιοχή και εξαρτάται σημαντικά από την ανάλυση και την ακρίβεια του υπάρχοντος χαρτογραφικού υποβάθρου.

Οι μεταβλητές των φυσικών διεργασιών, και συγκεκριμένα η *Σχετική Μεταβολή της Μέσης Στάθμης της Θάλασσας*, το *Μέσο Σημαντικό Ύψος Κύματος* και το *Μέσο Εύρος Παλίρροιας*, παρουσιάζουν ομοιομορφία και συνέχεια κατά μήκος της ακτογραμμής μιας σχετικά περιορισμένης περιοχής μελέτης. Οι επιπτώσεις των παραπάνω παραμέτρων στη μεταβλητότητα των τιμών παράκτιας τρωτότητας είναι δευτερεύουσες και αποκτούν σημασία

για χωρικές κλίμακες που υπερβαίνουν τα 20 χιλιόμετρα ή σε κάποιες περιπτώσεις και τα 100 χιλιόμετρα. Αντίστοιχα, παράγοντες όπως η *Γεωλογία και Παράκτιες Γεωμορφές*, η *Παράκτια Κλίση* και η *Ιστορική Μετατόπιση της Ακτογραμμής*, παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη μεταβλητότητα συναρτήσει της χωρικής κλίμακας και για τα λόγο αυτό έχουν τη μεγαλύτερη επίδραση στην τελική τιμή παράκτιας επικινδυνότητας. Ιδιαίτερα, η γεωμορφολογία και η παράκτια κλίση είναι χαρακτηριστικές για κάθε ακτή ή τμήμα της και θεωρούνται ως οι κυρίαρχοι παράγοντες προσδιορισμού της παράκτιας επικινδυνότητας λόγω ανόδου της στάθμης της θάλασσας. Ακόμα, η ιστορική μεταβολή της ακτογραμμής παρουσιάζει μεγάλη μεταβλητότητα σε μικρές χωρικές κλίμακες (Λουκάκης, 2007).

Εν γένει, για την πληρέστερη μελέτη παράκτιας τρωτότητας θεωρείται ότι οι μεταβλητές των φυσικών διεργασιών πρέπει να χαρτογραφούνται με σχετικά καλή ακρίβεια, ενώ οι γεωλογικές μεταβλητές πρέπει να μελετούνται σε κλίμακα που να επιτρέπει την αντίληψη των επιδράσεών τους στις ακτές.

2.5 Τρόποι συλλογής των απαραίτητων δεδομένων

Το πλήθος και η ποικιλομορφία των διαφόρων παραγόντων παράκτιας εξέλιξης, καθώς και ο διαφορετικός βαθμός επίδρασής τους συναρτήσει της χωρικής κλίμακας, αποτελούν θέματα προς επίλυση σε μια μελέτη παράκτιας επικινδυνότητας. Τα απαραίτητα δεδομένα για τον προσδιορισμό των μεταβλητών κάθε περιοχής μελέτης προέρχονται από διαφορετικές ποικίλες πηγές με διαφορετική ακρίβεια και ανάλυση λεπτομέρειας. Στο συγκεκριμένο υποκεφάλαιο εξετάζονται οι διάφορες πηγές λήψης των απαραίτητων δεδομένων για τις ανάγκες εκπόνησης μιας μελέτης παράκτιας επικινδυνότητας. Η κάθε περίπτωση αναλύεται ξεχωριστά, ενώ ιδιαίτερος λόγος γίνεται για τη διαθέσιμη ακρίβεια λήψης των δεδομένων, για το κόστος για την απόκτησή τους και τέλος, για τη διάθεση στην ελληνική επικράτεια μέσω ιδιωτικών ή δημοσίων φορέων.

2.5.1 Λήψη Δεδομένων στο Πεδίο

Το πρώτο και σημαντικότερο βήμα κάθε τοπογραφικής ή άλλης εργασίας επιστημονικού υποβάθρου, είναι η συλλογή των απαραίτητων πρωτογενών στοιχείων από την ύπαιθρο. Είτε πρόκειται για επίγειες μετρήσεις είτε για αναγνώριση της περιοχής, και στις δύο περιπτώσεις συλλέγεται πληθώρα πληροφοριών με την ακρίβεια που απαιτεί η εκάστοτε εργασία σε σχέση με το επιδιωκόμενο αποτέλεσμα, για την περιοχή μελέτης που ενδιαφέρει στα πλαίσια της μελέτης για την παράκτια επικινδυνότητα. Ωστόσο, η επίσκεψη στο πεδίο πάντα είναι μια χρονοβόρα και αρκετά κουραστική διαδικασία, ενώ θα πρέπει να ληφθεί υπόψη και το

κόστος μετάβασης στην περιοχή. Για το λόγο αυτό, η διαδικασία λήψης δεδομένων στο πεδίο ακολουθείται συνήθως αφού διαπιστωθεί ανεπάρκεια των στοιχείων που παρέχονται από χάρτες, τοπογραφικά διαγράμματα ή/ και αεροφωτογραφίες.

Η εύρεση της γεωμορφολογίας μιας παράκτιας περιοχής μπορεί να γίνει με επιτόπου επίσκεψη στο πεδίο. Η άμεση οπτική επαφή μπορεί να προσφέρει τις ποιοτικές πληροφορίες για τις κλίσεις, τη βλάστηση, τη σύνθεση και τελικά τον τύπο της παράκτιας γεωμορφολογίας. Αντίστοιχα, ο υπολογισμός των κλίσεων μιας παράκτιας ζώνης μπορεί να προκύψει έπειτα από συλλογή και επεξεργασία τοπογραφικών και βυθομετρικών δεδομένων που δύναται να ληφθούν με επιτόπου επίσκεψη στην εν λόγω περιοχή. Τέλος, για τον συστηματικό και διαχρονικό έλεγχο της μετακίνησης των ακτογραμμών δύναται να πραγματοποιούνται τακτικές τοπογραφικές αποτυπώσεις των ακτογραμμών που θεωρούνται επίφοβες για την επικινδυνότητά τους, είτε σε τοπικό σύστημα αναφοράς είτε ιδανικά στο Κρατικό Σύστημα Αναφοράς της Ελλάδας, το ΕΓΣΑ '87.



Εικόνα 2.3: Τοπογραφική αποτύπωση ακτογραμμής και συλλογή των απαιτούμενων στοιχείων.

Ειδικότερα, πραγματοποιείται τοπογραφική αποτύπωση διατομών κάθετων στην ακτογραμμή σε διαστήματα 20 ή 50 μέτρων συνήθως, ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες που παρουσιάζει η κάθε ακτογραμμή. Οι αποτυπώσεις των διατομών δύναται να πραγματοποιηθούν με τη χρήση Ολοκληρωμένων Γεωδαιτικών Σταθμών (*Total Stations*) και χωροβατών, με εφαρμογή μεθοδολογίας αποτύπωσης με πολικές συντεταγμένες, ταχυμετρία και τριγωνομετρική ή

γεωμετρική χωροστάθμιση. Επιπρόσθετα, δύναται να εφαρμοστεί μεθοδολογία Δορυφορικού Εντοπισμού με χρήση δεκτών GPS (Σιαφάκας, 2003).

Οι υδρογραφικές αποτυπώσεις πραγματοποιούνται με τη βοήθεια σκαφών και στηρίζονται στον ταυτόχρονο προσδιορισμό της θέσης του σκάφους, δηλαδή στον εντοπισμό της θέσης του πλωτού σε προκαθορισμένο σύστημα αναφοράς και του ταυτόχρονου προσδιορισμού της τιμής του βάθους που αντιστοιχεί στη θέση αυτή. Οι βυθομετρικές εργασίες βασίζονται κυρίως στη μεθοδολογία των ηχοβολιστικών συσκευών, η βασική αρχή των οποίων είναι η μέτρηση του χρόνου της συνολικής διαδρομής ενός ακουστικού κύματος από τη στιγμή δημιουργίας του μέχρι να ανακλαστεί πίσω στο σκάφος από τον πυθμένα (Σιαφάκας, 2003).

2.5.2 Χάρτες και Τοπογραφικά Διαγράμματα

Προκειμένου να διαπιστωθεί η γεωμορφολογία μιας παράκτιας ζώνης, δύναται να γίνει χρήση γεωλογικών χαρτών. Ένας γεωλογικός χάρτης απεικονίζει υπό κλίμακα τη γεωλογική κατανομή των διαφόρων γεωλογικών μονάδων και δομών του εξωτερικού φλοιού της Γης. Ουσιαστικά, ο γεωλογικός χάρτης αποτελεί αναπαράσταση των χωρικών σχέσεων μεταξύ γεωγραφικών και γεωλογικών χαρακτηριστικών, σε οριζόντια προβολή ενός τοπογραφικού τμήματος της επιφάνειας της Γης, επιτυγχάνοντας έτσι την απεικόνιση του τρόπου σύνδεσης και συναρμογής των γεωλογικών μονάδων από τις τρεις διαστάσεις στο επίπεδο του χάρτη, δίνοντας παράλληλα πληροφορίες για την χρονική τους αλληλουχία μέσα στο γεωλογικό χρόνο. Οι γεωλογικοί χάρτες κατασκευάζονται υπό κλίμακα χάρτου, όπως και όλοι οι άλλοι χάρτες, με αρχικά δεδομένα λεπτομερείς γεωλογικές ερευνες και παρατηρήσεις.

Οι παράκτιες γεωμορφές δύναται να προσδιοριστούν από τοπογραφικά διαγράμματα, στα οποία πολλές φορές αναφέρονται ονομαστικά οι γεωμορφές των ακτών, όπως για παράδειγμα αμμουδιά, απότομοι βράχοι, στοιχεία παράκτιας βλάστησης, κλπ. Κυρίως όμως είναι άμεσα αξιοποιήσιμη η πληροφορία για τις αποτυπωμένες χωρικές οντότητες, όπως έλη, λιμνοθάλασσες, αλυκές, εκβολές ποταμών, που οδηγούν άμεσα στον προσδιορισμό της τοπικής γεωμορφολογίας. Αξιοποιήσιμη είναι και η υψομετρική πληροφορία με τη μορφή ισοϋψών καμπυλών ή μεμονωμένων υψομέτρων, που παρέχουν πληροφορία για τοπικές εξάρσεις, απότομες παράκτιες πλαγιές ή ομαλές ακτές. Τέλος, γεωμορφολογικά δεδομένα για τον υπολογισμό της παράκτιας κλίσης περιοχών στην ελληνική επικράτεια, δύναται να ληφθούν και μέσω της βάσης δεδομένων του *CORINE-2001*.

Ιδιαίτερη είναι η αξία των τοπογραφικών διαγραμμάτων για τον υπολογισμό της κλίσης παράκτιων περιοχών για τις ανάγκες εκπόνησης μελετών παράκτιας επικινδυνότητας διεθνών

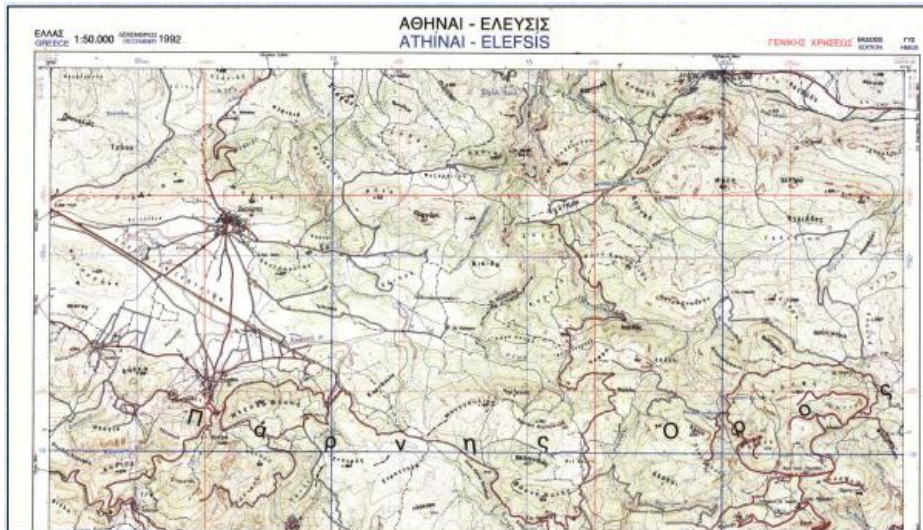
οργανισμών και φορέων. Η κλίση μιας παράκτιας ζώνης υπολογίζεται από κάρναβο τοπογραφικών και βαθυμετρικών υψομέτρων, ο οποίος αποτελεί ένα Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου. Τα υψόμετρα και τα βάθη είναι κανονικά διατεταγμένα στις κορυφές καννάβου ή έχουν τυχαία χωρική κατανομή αναφερόμενα στις κορυφές ενός μη κανονικού δικτύου τριγώνων. Σημαντικό πλεονέκτημα των τριγωνικών αυτών δικτύων είναι το γεγονός ότι μπορούν να συμπεριλάβουν τις πρωτογενείς παρατηρήσεις υψομέτρων και βαθών, όπως αυτές προέκυψαν από τοπογραφικές και βυθομετρικές εργασίες αντίστοιχα, σε αντίθεση με τους κανονικούς καννάβους που προκύπτουν από παρεμβολή στις πρωτογενείς παρατηρήσεις και άρα είναι περισσότερο επιρρεπείς σε σφάλματα. Η σημερινή ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας υπαγορεύει τη χρήση λογισμικού *Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS)*, στο οποίο εισάγεται το Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου για να προκύψουν με τη βοήθεια αλγορίθμων, οι επιθυμητές κλίσεις της παράκτιας ζώνης (Σιαφάκας, 2003).

Οι απαιτούμενοι τοπογραφικοί χάρτες και τα τοπογραφικά διαγράμματα για την περιοχή μελέτης παρέχονται έναντι χρηματικού αντίτιμου από τη *Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (Γ.Υ.Σ.)*. Η επιλογή της κλίμακας γίνεται πάντα ανάλογα με την απαιτούμενη ακρίβεια στην οποία πρέπει να ληφθούν τα απαραίτητα δεδομένα. Έτσι, χάρτες κλίμακας 1:50.000 δίνουν μια λεπτομερή εικόνα της περιοχής, καθότι περιέχουν πληροφορίες για το ανάγλυφο με ισοϋψείς καμπύλες ισοδιάστασης των 20 μέτρων, καθώς και για τα χωρικά δεδομένα της περιοχής όπως οικισμοί και δρόμοι. Από την Γ.Υ.Σ. διατίθενται διαγράμματα σε κλίμακες 1:2.000, 1:5.000 και 1:10.000, ενώ ταυτόχρονα διατίθενται χάρτες σε κλίμακες 1:100.000, 1:250.000, 1:500.000 και 1:1.000.000. Ακόμα μια υπηρεσία αρμόδια για τη διανομή χαρτών και τοπογραφικών διαγραμμάτων, είναι η *Διεύθυνση Τοπογραφικής του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων (πρώην Γεωργίας)*. Η διάθεση χαρτών και διαγραμμάτων γίνεται σε κλίμακες 1:2.000 και 1:5.000, αλλά μόνο για επιλεγμένες περιοχές. Όπως είναι αναμενόμενο, και στις δύο περιπτώσεις οι χάρτες και τα διαγράμματα έχουν συνταχθεί σε διαφορετικό προβολικό σύστημα από αυτό που χρησιμοποιείται σήμερα, συνεπώς απαιτείται η μετατροπή των συντεταγμένων του εκάστοτε συστήματος σε ΕΓΣΑ '87.

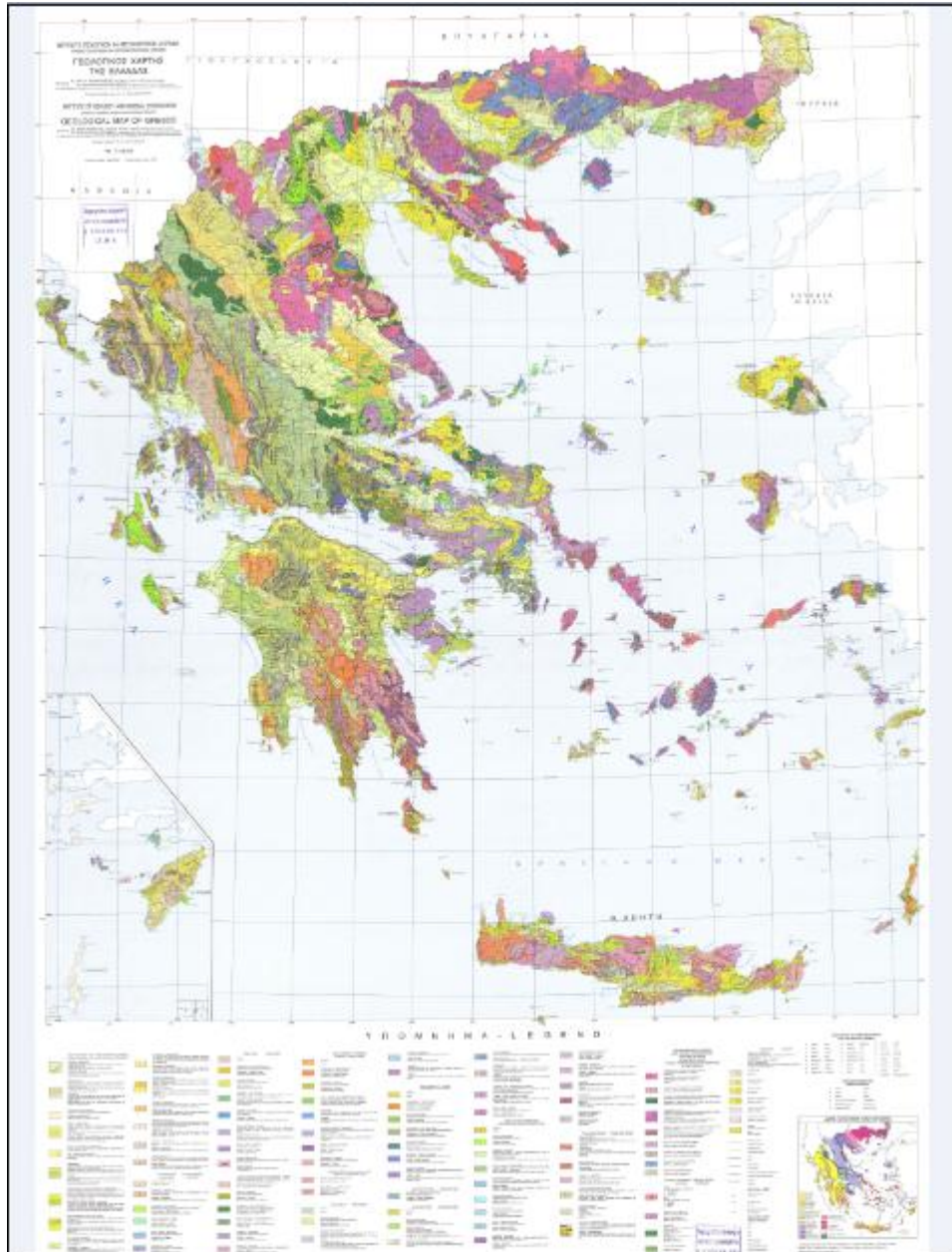
Αντίστοιχα, οι πρόσφατοι γεωλογικοί χάρτες παρέχονται σε μία μόνο κλίμακα για τις περιοχές στις οποίες έχει χωριστεί γεωλογικά η χώρα, χρησιμοποιούν ως υπόβαθρο τους χάρτες της Γ.Υ.Σ. και από αυτούς λαμβάνονται πληροφορίες για το γεωλογικό υπόβαθρο της εκάστοτε περιοχής εργασίας, την στρωματογραφία, τα πετρώματα και τα ρήγματα της περιοχής. Η ελληνική επικράτεια έχει χωριστεί σε 350 περιοχές, για κάθε μια από τις οποίες έχει συνταχθεί και ένας γεωλογικός χάρτης υπό κλίμακα 1:50.000. Ένα παράδειγμα γεωλογικού χάρτη του 1983 για όλη την Ελλάδα, κλίμακας 1:500.000, απεικονίζεται παρακάτω.



Εικόνα 2.4: Τοπογραφικό διάγραμμα της Γ.Υ.Σ. κλίμακας 1:5.000.
(Πηγή: Μακρίδης, 2008).



Εικόνα 2.5: Τοπογραφικός χάρτης της Γ.Υ.Σ. κλίμακας 1:50.000.
(Πηγή: Μακρίδης, 2008).



Εικόνα 2.6: Γεωλογικός χάρτης του Ι.Γ.Μ.Ε. για όλη την Ελλάδα, κλίμακας 1:500.000.

(Πηγή: Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, 1983).

Όλοι οι γεωλογικοί χάρτες είναι διαθέσιμοι χωρίς χρηματικό αντίτιμο από το *Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ)*. Το *ΙΓΜΕ* φέρει την ευθύνη για τη συλλογή, ταξινόμηση και επεξεργασία στοιχείων και δεδομένων για τη γεωλογία των περιοχών της ελληνικής επικράτειας, καθώς επίσης και την παροχή αντικειμενικών, αξιόπιστων και συγκρίσιμων πληροφοριών σε δημόσιους και ιδιωτικούς χρήστες.

2.5.3 Αεροφωτογραφίες, Ορθοφωτογραφίες & Ορθοφωτοχάρτες

Σημαντικές πληροφορίες για την παράκτια γεωμορφολογία μπορεί να προσφέρει η φωτοερμηνεία με χρήση αεροφωτογραφιών, έγχρωμων ή ασπρόμαυρων. Για την αναγνώριση των διαφόρων παράκτιων γεωμορφών πρέπει να ληφθούν υπόψη ορισμένα βασικά φωτοερμηνευτικά χαρακτηριστικά, όπως σχήμα, μέγεθος, πρότυπο, τόνος, υφή, σκίαση, συσχέτιση και θέση αντικειμένου στο χώρο. Όσον αφορά στη λήψη δεδομένων για την ιστορική μετατόπιση της ακτογραμμής, μέχρι σήμερα δεν έχει θεσπιστεί μια κοινώς αποδεκτή μεθοδολογία για την ανάλυση των μεταβολών της ακτογραμμής και το γεγονός αυτό έχει οδηγήσει στην υιοθέτηση ποικίλων μετρητικών και υπολογιστικών τεχνικών. Η συνήθης ακολουθούμενη πρακτική περιλαμβάνει τη μετρητική αξιοποίηση παλαιών χαρτών και διαγραμμάτων, αλλά κυρίως αεροφωτογραφιών.

Προκειμένου να χαρτογραφηθεί μια περιοχή, το πρώτο στάδιο εργασιών επικεντρώνεται στη συλλογή αεροφωτογραφιών της περιοχής αυτής, οι οποίες θα πρέπει να έχουν ληφθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι δυνατόν στη συνέχεια να υποβληθούν σε κατάλληλη επεξεργασία με χρήση φωτογραμμετρικών τεχνικών για να προκύψει ένα μετρητικό παράγωγο. Το παράγωγο αυτό καλείται *ορθοφωτογραφία* και η διαδικασία παραγωγής μιας ορθοφωτογραφίας καλείται *ορθοαναγωγή*. Μέσω αυτής της διαδικασίας, διορθώνονται όλες οι παραμορφώσεις μιας αεροφωτογραφίας από την εκτροπή λόγω αναγλύφου, από τις μεταβολές της κλίμακας και τις κλίσεις της φωτογραφικής μηχανής, έτσι ώστε όλα τα σημεία να προβάλλονται τελικά στην πραγματική οριζοντιογραφική τους θέση. Η ορθοφωτογραφία αποτελεί ένα εικονιστικό προϊόν που προκύπτει από μονοεικονική διαδικασία, έχει *ενιαία κλίμακα* αλλά και *γεωαναφορά*, δηλαδή σωστή θέση στο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς που ενδιαφέρει. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στο γεγονός ότι η ορθοφωτογραφία ως παράγωγο είναι *δύο διαστάσεων*, χωρίς καμία πληροφορία για υψόμετρα. Η επιπλέον πληροφορία συμπληρώνεται εκ των υστέρων στο στάδιο μετατροπής της ορθοφωτογραφίας σε *ορθοφωτοχάρτη* (Σαρταμπάκου, 2012).

Όπως περιγράφηκε παραπάνω, οι αεροφωτογραφίες συνθετονται με χρήση φωτογραμμετρικών τεχνικών σε ορθοφωτοχάρτη, ενώ η ψηφιοποίηση της ακτογραμμής πραγματοποιείται χειροκίνητα έπειτα από εισαγωγή του ορθοφωτοχάρτη σε περιβάλλον *AutoCAD*. Παράλληλα, υπάρχει η δυνατότητα απευθείας εύρεσης ορθοφωτοχαρτών για την ελληνική επικράτεια και ειδικότερα για τις περιοχές που ενδιαφέρουν τη μελέτη παράκτιας επικινδυνότητας, από αρμόδιους φορείς. Τελικά προκύπτουν οι ακτογραμμές όπως αυτές παρατηρήθηκαν σε διάφορες χρονικές περιόδους και έτσι διευκολύνεται η συγκριτική ιστορική ανάλυση των μεταβολών από το παρελθόν μέχρι σήμερα, της ακτογραμμής που

μελετάται κάθε φορά. Με τον τρόπο αυτό παρέχεται ένας αξιόπιστος προσδιορισμός των τάσεων μετακίνησης της στάθμης της θάλασσας, όπως αυτές εμφανίζονται στην εν λόγω παράκτια περιοχή (Ξύζη, 2004).

Η ακρίβεια των παραπάνω διαδικασιών εξαρτάται άμεσα από την κλίμακα της αεροφωτογραφίας ή του ορθοφωτοχάρτη που διατίθεται για τις ανάγκες της μελέτης παράκτιας επικινδυνότητας, από το αν ο ενδιαφερόμενος έχει διαθέσιμο υλικό σε ψηφιακή ή γραφική μορφή και από την ποιότητα σάρωσης, στην περίπτωση υλικού σε γραφική μορφή. Η απόδοση της ακτογραμμής από τον χρήστη είναι άμεση συνάρτηση της διακριτικής ικανότητας του ανθρώπινου ματιού, καθώς η ψηφιοποίηση πραγματοποιείται με χειροκίνητο τρόπο στις αεροφωτογραφίες και τους ορθοφωτοχάρτες, είτε είναι ψηφιακής είτε είναι αναλογικής μορφής. Στο σημείο αυτό σημειώνεται πως η γραφική ακρίβεια για την απόδοση οριζοντιογραφικών λεπτομερειών είναι $0.25mm$ και για ηλεκτρονικό υλικό είναι $0.1mm$, γεγονός που επιτρέπει τον υπολογισμό της ακρίβειας με την οποία δύναται να ψηφιοποιηθεί το τμήμα της ακτογραμμής που ενδιαφέρει για τη μελέτη.

Αεροφωτογραφίες ή/ και ορθοφωτογραφίες και ορθοφωτοχάρτες στην Ελλάδα προμηθεύουν οι εξής φορείς:

- Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (Γ.Υ.Σ.),
- Οργανισμός Κτηματολογίου και Χαρτογραφίσεων Ελλάδος (Ο.Κ.Χ.Ε.),
- Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων (πρώην Γεωργίας),
- Κτηματολόγιο ΑΕ.

Οι συγκεκριμένοι φορείς διατηρούν αρχείο αεροφωτογραφιών–ασπρόμαυρων ή έγχρωμων - οι οποίες έχουν ληφθεί σχεδόν ανά πενταετία με ποικιλία κλιμάκων.. Για τα ελληνικά δεδομένα, οι παλαιότερες αεροφωτογραφίες ανάγονται στο έτος 1938 - 1939 και είναι σχετικά μεγάλης κλίμακας, δηλαδή $1/18.000$. Οι πιο πρόσφατες ανάγονται στο έτος 2007 και η κλίμακα στην οποία έχουν ληφθεί, αν και μικρότερη, εξακολουθεί να είναι κατάλληλη για τις ανάγκες μιας μελέτης παράκτιας επικινδυνότητας. Το γεγονός αυτό σχεδόν εξαιρεί τις δορυφορικές εικόνες από τη λίστα με τις διαθέσιμες πηγές λήψης δεδομένων, καθότι σε μια μελέτη παράκτιας επικινδυνότητας δεν είναι απαραίτητη η υψηλή ακρίβεια που προσφέρουν και άρα αποτελούν μια αντιοικονομική λύση. Παρακάτω δίνεται ενδεικτικά ένας πίνακας με τις 300.000 και πλέον αεροφωτογραφίες που διατίθενται από την Γ.Υ.Σ.

Έτος Λήψης	Αριθμός Φωτογραφιών	Κλίμακα	Κάλυψη	Χρώμα
1938-1939	1.600	1: 18.000	Διάφορες περιοχές	Ασπρόμαυρες
1940	2.690	1: 20.000	Διάφορες περιοχές	Ασπρόμαυρες
1945	13.200	1: 42.000	Διάφορες περιοχές	Ασπρόμαυρες
1960	10.205	1: 30.000	Διάφορες περιοχές	Ασπρόμαυρες
1960	8.812	1: 15.000	Διάφορες περιοχές	Ασπρόμαυρες
1960	440	1: 40.000	Δωδεκάνησα	Ασπρόμαυρες
1964-65	523	1: 40.000	Κρήτη	Ασπρόμαυρες
1965	272	1: 40.000	Δωδεκάνησα	Ασπρόμαυρες
1969	4.283	1: 40.000	Διάφορες περιοχές	Ασπρόμαυρες
1970-	278.622	Διάφορες	Διάφορες περιοχές	Ασπρόμαυρες & έγχρωμες

Πίνακας 2.1: Λίστα με τις διατιθέμενες αεροφωτογραφίες της Γ.Υ.Σ.

(Πηγή: Ιστότοπος Γ.Υ.Σ.)

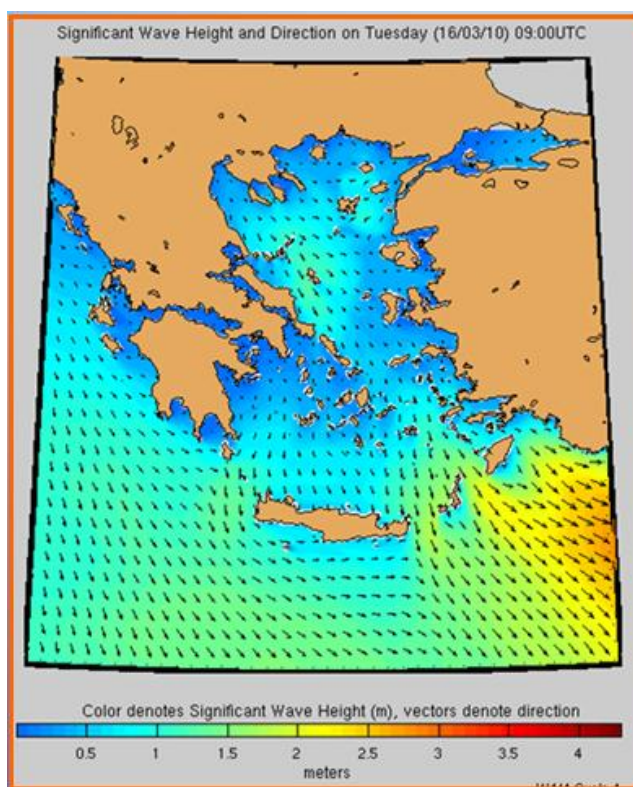
Οι διαθέσιμες κλίμακες των αεροφωτογραφιών ποικίλουν ανάλογα με το έτος λήψης, διότι παλαιότερα διέφεραν τα μέσα για την πραγματοποίηση τέτοιου είδους λήψεων. Στο σημείο αυτό σημειώνεται ότι ποικίλει και το κόστος των αεροφωτογραφιών ανάλογα με το αν ο ενδιαφερόμενος ζητήσει το υλικό σε ψηφιακή ή αναλογική μορφή, εάν του είναι χρήσιμα μόνο τα διαθετικά των αεροφωτογραφιών ή ακόμα και αν ενδιαφέρεται μόνο για μια ειδική μεγέθυνση σε κάποια περιοχή που απεικονίζεται σε υπάρχουσες αεροφωτογραφίες.

2.5.4 Πλωτοί Μετρητικοί Σταθμοί

Η μελέτη των κυματισμών και η μέτρηση χαρακτηριστικών στοιχείων αυτών πραγματοποιούνται σε εθνικό επίπεδο με τη βοήθεια πλωτών μετρητικών σταθμών. Οι πλωτοί μετρητικοί σταθμοί φέρουν κυματογράφους για τη συλλογή κυματικών δεδομένων, καθώς επίσης και αισθητήρες για την παράλληλη μέτρηση της ατμοσφαιρικής πίεσης, της θερμοκρασίας του ανέμου, της ταχύτητας και κατεύθυνσης του ανέμου, του σημαντικού ύψους κύματος σε μέτρα, της κατεύθυνσης και της περιόδου των κυμάτων, της επιφανειακής θερμοκρασίας και αλατότητας του νερού και τέλος, της ταχύτητας και της κατεύθυνσης των επιφανειακών ρευμάτων. Τα κυματικά στοιχεία συγκεντρώνονται και αποστέλλονται σε πραγματικό χρόνο σε κεντρικούς σταθμούς για την ανάλογη επεξεργασία με χρήση ειδικών λογισμικών. Με τη βοήθεια διαφόρων μοντέλων πρόγνωσης κυματισμών και υδροδυναμικών μοντέλων θαλάσσιας κυκλοφορίας, καθώς επίσης και με την αξιοποίηση κυματικών μετρήσεων πεδίου, προκύπτουν η επιφανειακή κατανομή του σημαντικού ύψους κύματος, η

κύρια διεύθυνσή του, η μέση περίοδος κύματος στην περιοχή εφαρμογής και τέλος, η πίεση και η κατανομή της κυματικής ταχύτητας στο βυθό (Σιαφάκας, 2003).

Στην Ελλάδα, η μελέτη και παρακολούθηση των κυματισμών είναι αρμοδιότητα του Ελληνικού Κέντρου Θαλασσιών Ερευνών (ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε.). Ειδικότερα, η παρακολούθηση, πρόγνωση και πληροφόρηση για την κατάσταση των ελληνικών θαλασσών γίνεται μέσω του συστήματος ΠΟΣΕΙΔΩΝ (*Poseidon*), που δημιουργήθηκε από το ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. και βασίζεται στη λήψη δεδομένων από εννέα (9) θαλάσσιους σταθμούς. Η παρακολούθηση του συστήματος σε πραγματικό χρόνο επιτυγχάνεται μέσω ενός Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS).



Εικόνα 2.7: Το κυματικό μοντέλο ΠΟΣΕΙΔΩΝ.

(Πηγή: Κόφτης, 2009)

Η ακρίβεια των κυματικών δεδομένων που συλλέγονται από τους πλωτούς μετρητικούς σταθμούς, κυμαίνεται περίπου στο $\pm 1cm$. Τα δεδομένα καθώς και τα αποτελέσματα των αριθμητικών μοντέλων είναι διαθέσιμα στην επιστημονική κοινότητα χωρίς κόστος για ερευνητικούς σκοπούς αλλά και στον ιδιωτικό τομέα για περιβαλλοντικές και τεχνικές μελέτες.

2.5.5 Παλιρροιόμετρα και Παλιρροιογράφοι

Προκειμένου να μελετηθεί το φαινόμενο της παλίρροιας σε ένα τόπο αλλά και της μεταβολής της στάθμης της θάλασσας στον ίδιο τόπο και την ευρύτερη περιοχή, γίνεται χρήση ορισμένων διατάξεων που είναι τοποθετημένες στη ξηρά και διατηρούν άμεση επαφή με το θαλάσσιο επίπεδο. Οι απλούστερες μετρήσεις της στάθμης των υδάτων γίνονται από παλιρροιόμετρα, ενώ μετρήσεις σαφώς υψηλότερης ακρίβειας πραγματοποιούνται με παλιρροιογράφους.

Στην περίπτωση των παλιρροιόμετρων, είναι απαραίτητο να λαμβάνονται μετρήσεις της θαλάσσιας στάθμης κάθε μια ώρα για μια μεγάλη χρονική περίοδο. Σε ακτές με ρηγά νερά, όπου ο κυματισμός είναι μικρός και οι εκάστοτε επιφανειακές διαταράξεις του επιπέδου της θάλασσας είναι ελάχιστες, το ευρος της παλίρροιας μπορεί να μετρηθεί με παλιρροιόμετρο. Στην ουσία, το παλιρροιόμετρο είναι μια βαθμονομημένη σταδία ή δοκός, η οποία τοποθετείται μόνιμα σε σημεία όπου υπάρχει άμεση επαφή με τη θάλασσα και μικρές πιθανότητες καταστροφής της σταδίας, όπως για παράδειγμα σε προβλήτες λιμανιών, αποβάθρες ή άλλου είδους πλατφόρμες. Το υψηλότερο σημείο της δοκού δεν θα πρέπει να βρίσκεται κάτω από το θαλάσσιο επίπεδο κατά τη διάρκεια της πλήμμης, και όμοια το χαμηλότερο σημείο της δοκού δεν θα πρέπει να βρίσκεται πάνω από το θαλάσσιο επίπεδο κατά τη διάρκεια της ρηχίας, προκειμένου να είναι δυνατή η λήψη δεδομένων.

Οι βαθμονομήσεις των δοκών θα πρέπει φυσικά να έχουν χαραχθεί με όσο το δυνατόν καλύτερη ακρίβεια. Σε κάθε περίπτωση, ωστόσο, η ακρίβεια των δεδομένων είναι εκ των πραγμάτων χαμηλή. Χρήσιμες παλιρροιακές πληροφορίες ουσιαστικά δεν υπήρξαν πριν τον 20^ο αιώνα, ενώ οι πρώτες προς επεξεργασία καταγραφές πραγματοποιούνται την εποχή που συντελέστηκε η ραγδαία ανάπτυξη οργάνων αυτόματης καταγραφής. Οι απλοί παλιρροιογράφοι αποτελούν σχετικό παράδειγμα αυτογραφικών οργάνων αναλογικής καταγραφής και επίσης μόνιμης εγκατάστασης, που έχουν τη δυνατότητα να καταγράφουν τα ύψη της επιφάνειας της θάλασσας σε χαρτοταινία, η οποία είναι τυλιγμένη σε έναν κύλινδρο. Ένας πλήρης κύκλος καταγραφής κλείνει μέσα σε 24 ώρες ή μια εβδομάδα, ανάλογα πάντα με τις ανάγκες των μετρήσεων. Στην χαρτοταινία, ο χρόνος μεταβάλλεται κατά την έννοια του άξονα των x και το ύψος της θαλάσσιας στάθμης μεταβάλλεται κατά την έννοια του άξονα των y . Η μέτρηση του χρόνου πραγματοποιείται από ηλεκτρονικό ή ωρολογιακό μηχανισμό που ορίζει την ταχύτητα περιστροφής του κυλίνδρου, ενώ τα ύψη της θαλάσσιας στάθμης καταγράφονται με τη χρήση γραφίδας (Δουκάκης, 1998).

Η συγκεκριμένη κατηγορία των παλιρροιογράφων διαθέτει πολλά από τα μειονεκτήματα της αναλογικής καταγραφής, όπως είναι για παράδειγμα η καταστροφή του καταγραφικού μέσου λόγω της υγρασίας του περιβάλλοντος και η ανάγκη τακτικής συντήρησης. Με τον καιρό λοιπόν επήλθε η ανάπτυξη της τεχνολογίας και η επίτευξη πολύ καλύτερων ακριβειών με ηλεκτρονικές ή ψηφιακές μεθόδους καταγραφής, γεγονός που άφησε στην άκρη τους απλούς αναλογικούς παλιρροιογράφους. Οι πιο πρόσφατες βελτιώσεις των διαδικασιών παρατήρησης των φαινομένων της παλίρροιας και των μεταβολών της θαλάσσιας στάθμης συνδυάζουν τους ηλεκτρονικούς παλιρροιογράφους με μεθόδους δορυφορικής τηλεμετρίας, παρέχοντας έτσι τη δυνατότητα αμοιβαίου ελέγχου της ποιότητας των δεδομένων και της ορθής λειτουργίας των συστημάτων.



Εικόνα 2.8: Σύγχρονος ηλεκτρονικός παλιρροιογράφος σε προβλήτα λιμανιού.

Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι η μέτρηση της στάθμης της θάλασσας με παλιρροιογράφο γίνεται σε σχέση με ένα σταθερό σημείο αναφοράς στη ξηρά, όπως για παράδειγμα ένα τριγωνομετρικό ή υψομετρικό σημείο. Άρα είναι πιθανό να εισαχθεί σφάλμα λόγω τεκτονικών διεργασιών που θα επιφέρουν μετακίνηση του σταθερού σημείου από την πραγματική του θέση. Τέτοιου είδους σφάλματα αναγνωρίζονται και διορθώνονται, ωστόσο ελαχιστοποιούνται με τη συνδυασμένη χρήση τηλεμετρίας και δεδομένων από ηλεκτρονικούς παλιρροιογράφους.

Η χρήση των δεδομένων των παλιρροιογράφων περιορίζεται στην περιοχή όπου είναι τοποθετημένα μόνιμα τα όργανα και σε κάποιο εύρος της κοντινής θαλάσσιας περιοχής, ώστε να αποφευχθεί η εξαγωγή εσφαλμένων τελικών αποτελεσμάτων. Η ακρίβεια των

παλιρροιακών δεδομένων κυμαίνεται περίπου στο $\pm 1cm$. Τα δεδομένα σχετικά με την παλίρροια για την ελληνική επικράτεια προέρχονται από το δίκτυο παλιρροιογράφων της *Υδρογραφικής Υπηρεσίας του Πολεμικού Ναυτικού (Hellenic Navy Hydrographic Service)*, το οποίο εντάσσεται στο ευρύτερο δίκτυο παλιρροιογράφων της *European Sea Level Service (ESEAS)*. Οι σταθμοί των παλιρροιογράφων των οποίων τα δεδομένα της στάθμης των υδάτων είναι διαθέσιμα στο διαδίκτυο χωρίς κόστος, είναι στον Πειραιά, στην Καλαμάτα, στη Σύρο και τέλος στο Κατάκολο Ηλείας. Το δίκτυο της Ελλάδας αποτελείται από είκοσι έναν (21) μόνιμους σταθμούς κατανεμημένους σε όλες τις ελληνικές θάλασσες (Ντούμας, 2010).

2.5.6 Δορυφορική Αλτιμετρία

Από τη δεκαετία του 1970, τα ραντάρ αλτιμετρίας έκαναν πραγματικότητα τη συστηματική και αποτελεσματική μελέτη της δυναμικής κατάστασης των ωκεανών. Μέσω μετρήσεων υψηλής ακρίβειας και ανάλυσης, τα δορυφορικά αλτιμέτρα καλύπτουν τη συνολική επιφάνεια των ωκεανών σε τακτά και μακροχρόνια διαστήματα. Με τον τρόπο αυτό συνέβαλλαν και εξακολουθούν να συντελούν στην καλύτερη κατανόηση των ωκεάνιων φαινομένων, καθώς επίσης και του ρόλου των ωκεανών στο διαχρονικό φαινόμενο της αλλαγής του κλίματος της Γης. Επιπρόσθετα, αναμένεται να βελτιωθούν περαιτέρω οι σύγχρονες μεθοδολογίες παρακολούθησης και πρόγνωσης της κατάστασης των θαλασσών, ώστε να εξυπηρετούνται καλύτερα οι ανάγκες για την ασφάλεια της ακτοπλοΐας και των θαλασσίων μεταφορών έναντι των ακραίων θαλασσίων καιρικών φαινομένων, αλλά και για πολλές άλλες δραστηριότητες (Δεληκαράογλου, 2005).

Τα δορυφορικά αλτιμέτρα προσφέρουν την ευκαιρία της κάλυψης σε παγκόσμια κλίμακα της επιφάνειας του ωκεανού σε τακτά χρονικά διαστήματα, σε αντίθεση με τις συμβατικές τεχνικές μέτρησης του θαλάσσιου επιπέδου. Η δορυφορική μέτρηση βασίζεται στη μετάδοση ενός ηλεκτρομαγνητικού παλμού από έναν δορυφόρο προς την επιφάνεια του νερού, όπου ο παλμός ανακλάται και επιστρέφει πίσω στον δορυφόρο. Η ολική χρονική διάρκεια της μετάβασης και επιστροφής του παλμού μετράται με ρολόι υψηλής ακρίβειας και έτσι εξασφαλίζεται ο ακριβής υπολογισμός του επιπέδου της θαλάσσιας επιφάνειας για τη δεδομένη χρονική στιγμή που έγινε η μέτρηση. Η ακρίβεια της καταγραφής εξαρτάται από την ανάλυση του ηλεκτρομαγνητικού παλμού, την ακρίβεια του ειδικού ρολογιού και τη γνώση τροχιακών δεδομένων όπως η κλίση της τροχιάς, το ύψος πτήσης και η περίοδος περιστροφής του δορυφόρου (Δουκάκης, 1998).

Αν και ο βασικός στόχος της δορυφορικής αλτιμετρίας είναι ο ακριβής προσδιορισμός του θαλάσσιου γεωειδούς και η βραχυπρόθεσμη και μακροπρόθεσμη παρακολούθηση των παλιρροιών και των μεταβολών της Μέσης Στάθμης της Θάλασσας (ΜΣΘ), ωστόσο από τα αλτιμετρικά δεδομένα μπορούμε να αντλήσουμε πληροφορίες που αφορούν και στο σημαντικό ύψος των κυμάτων στην περιοχή των μετρήσεων. Αυτό συμβαίνει διότι το μέγεθος και το σχήμα του ανακλώμενου παλμού ραντάρ, η λεγόμενη κυματομορφή του παλμού, περιέχει επίσης πληροφορίες σχετικά με τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας η οποία προκάλεσε την ανάκλαση του παλμού που εκπέμπεται από το δορυφορικό αλτίμετρο. Η οπισθοσκέδαση του παλμού επηρεάζεται από την τραχύτητα της επιφάνειας της θάλασσας εξαιτίας των επιφανειακών κυματισμών, δεδομένου ότι το αλτίμετρο μετρά πρώτα την κυματική κορυφή και ύστερα την κυματική κοιλάδα των κυμάτων (Δεληκαράογλου, 2011).



Εικόνα 2.9: Ο δορυφόρος αλτιμετρίας TOPEX/ Poseidon.

Ο TOPEX/ Poseidon παρέχει μοναδικές δυνατότητες διαχρονικής παρατήρησης των μεταβολών μεσαίας κλίμακας και της δυναμικής τοπογραφίας της επιφάνειας της θάλασσας.

(Πηγή: Δεληκαράογλου, 2005).

Συγκεκριμένα, η κυματομορφή του εκάστοτε ανακλώμενου παλμού έχει ένα χαρακτηριστικό σχήμα που μπορεί να περιγραφεί αναλυτικά, ενώ η ένταση του παλμού ποικίλλει με την πάροδο του χρόνου επιστροφής του παλμού. Όταν η επιφάνεια της θάλασσας είναι επίπεδη, ο παλμός ανακλάται έντονα από τη στιγμή που η αιχμή του εκπεμπόμενου παλμού ραντάρ χτυπά την επιφάνεια. Αντίθετα, όταν επικρατεί θαλασσοταραχή, ο παλμός ανακλάται αρχικά από την κορυφή του υψηλότερου κύματος που βρίσκεται απευθείας κάτω από το δορυφόρο και μετέπειτα από τη σειρά άλλων κυματοκορυφών διαδοχικών κυμάτων, με τέτοιο τρόπο ώστε το πλάτος του ανακλώμενου παλμού του ραντάρ να αυξάνεται σταδιακά. Έτσι, είναι δυνατό να εκτιμηθεί το σημαντικό ύψος των κυμάτων από τη κλίση της καμπύλης που

αντιπροσωπεύει το πλάτος του ανακλώμενου παλμού με την πάροδο του χρόνου κατά μήκος του ίχνους του ραντάρ στην επιφάνεια της θάλασσας (Δεληκαράογλου, 2011).



Εικόνα 2.10: Ο δορυφόρος αλιμετρίας JASON – 1.

Ο JASON – 1 αποσκοπεί να εξασφαλίσει συνεχή παρατήρηση των ωκεανών για τις επόμενες δεκαετίες.

(Πηγή: Δεληκαράογλου, 2005).

Η απαίτηση από τους αλιμετρικούς δορυφόρους είναι ότι, με χρήση των δεδομένων που αποδίδουν, θα είναι δυνατόν να ανιχνευθούν και να μετρηθούν με μεγάλη ακρίβεια ποικίλα φαινόμενα που σχετίζονται με τη δυναμική κατάσταση των θαλασσών, όπως είναι οι παλίρροιες, τα κυματικά δεδομένα και οι μεταβολές της θαλάσσιας στάθμης σε παγκόσμιο επίπεδο. Συνεπώς, η ακρίβεια μέτρησης των αλιμετρικών δεδομένων κυμαίνεται από 2 μέχρι και 5 cm, ενώ τα δεδομένα του εκάστοτε δορυφόρου είναι διαθέσιμα χωρίς κόστος στο διαδίκτυο. Ειδικότερα, δεδομένα αλιμετρίας μπορούν να ληφθούν από τον διαδικτυακό χώρο της εταιρείας AVISO, η οποία διανέμει αλιμετρικά δεδομένα από ευρωπαϊκούς δορυφόρους, μεταξύ των οποίων και δεδομένα του σημαντικού ύψους των κυμάτων και της έντασης των ανέμων. Τα δεδομένα που λαμβάνονται είναι σε μορφή NETCDF και απαιτείται η μετατροπή του σε μορφή ASCII, προκειμένου να είναι δυνατή η επεξεργασία τους. Η μετατροπή των δεδομένων σε κατάλληλες προς ανάλυση μορφές αρχείων δύναται να πραγματοποιηθεί μέσω του ιστοχώρου Space Physics Data Facility (SPDF) της National Aeronautics and Space Administration (NASA) (Δεληκαράογλου, 2011).

2.6 Κατηγοριοποίηση των μεταβλητών

Ο υπολογισμός της τρωτότητας των ελληνικών ακτών, σε περίπτωση που επέλθει άνοδος της παγκόσμιας στάθμης της θάλασσας, πραγματοποιείται με χρήση του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας (*Coastal Vulnerability Index – CVI*). Εν γένει, ο δείκτης υπολογίζεται από έξι (6) βασικές μεταβλητές που επηρεάζουν με ουσιαστικό τρόπο την εξέλιξη της παράκτιας ζώνης. Με σκοπό τη δημιουργία μιας βάσης δεδομένων εθνικής κλίμακας για την παράκτια επικινδυνότητα, οι *Gornitz* και *White (1992)* κατηγοριοποίησαν τις έξι (6) αυτές βασικές μεταβλητές βάσει αριθμητικών ή ποιοτικών διαφοροποιήσεων. Την παραπάνω κατηγοριοποίηση ακολούθησε πολύ αργότερα μια νέα κατηγοριοποίηση που συντάχθηκε από τους *Pendleton et al. (2004)*. Η νέα αυτή κατηγοριοποίηση προτείνει διαφορετικά εύρη τιμών των μεταβλητών που αντιστοιχούν στις σχετικές τιμές για την επικινδυνότητα. Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας λαμβάνεται υπόψη μόνο η κατηγοριοποίηση κατά *Gornitz* και *White (1992)*.

Σε κάθε μεταβλητή δόθηκε μια τιμή σχετικής επικινδυνότητας βασισμένη στο πιθανό μέγεθος της συνεισφοράς της στη μεταβολή των ακτών ανάλογα με την άνοδο της στάθμης των υδάτων. Τα εύρη τιμών των μεταβλητών ταξινομήθηκαν σε μια κλίμακα από την τιμή (1) μέχρι την τιμή (5), με σειρά αυξανόμενης επικινδυνότητας. Έτσι, η τιμή (1) αντιστοιχεί σε πολύ χαμηλή επικινδυνότητα, η τιμή (2) αντιστοιχεί σε χαμηλή επικινδυνότητα και οι τιμές (3), (4) και (5) αντιστοιχούν σε μέτρια, υψηλή και πολύ υψηλή επικινδυνότητα αντίστοιχα. Ενώ όλες οι μεταβλητές είναι ποσοτικές και λαμβάνουν αριθμητικές τιμές, μοναδική εξαίρεση αποτελεί ο παράγοντας «*Γεωλογία και Παράκτιες Γεωμορφές*». Πρόκειται για μια ποιοτική μεταβλητή, η οποία κατηγοριοποιείται με βάση ποιοτικά κριτήρια ως προς τη σχετική αντίσταση στη διάβρωση της εκάστοτε παράκτιας γεωμορφής.

Θεωρητικά, οι παράκτιες περιοχές υψηλής επικινδυνότητας είναι εκείνες που δέχονται υψηλή ενέργεια κυμάτων, οι τοπικές κλίσεις είναι πολύ μικρές ενώ η αντίστοιχη, αμμώδη γεωμορφολογία τους καταδεικνύει τη μικρή αντοχή της ακτής σε ενδεχόμενη άνοδο της στάθμης της θάλασσας και στις διαδικασίες της διάβρωσης και πρόσχωσης. Χαρακτηριστικό των παράκτιων περιοχών υψηλής επικινδυνότητας είναι ότι η ιστορική μετατόπιση της ακτογραμμής καταδεικνύει υποχώρηση της ακτογραμμής προς την ξηρά με σχετικά υψηλό και σταθερό ρυθμό. Αντίθετα, οι παράκτιες περιοχές χαμηλής επικινδυνότητας παρουσιάζουν απότομες κλίσεις, μεγάλο παλιρροιακό εύρος και βραχώδη γεωμορφολογία. Οι παραπάνω θεωρήσεις είναι αποτέλεσμα λογικής σκέψης, ωστόσο δεν στηρίζονται σε ένα μαθηματικό υπόβαθρο το οποίο να αποδεικνύει πέρα από κάθε αμφιβολία την ορθή υπόσταση αυτών. Η ποσοτικοποίηση της έννοιας της παράκτιας επικινδυνότητας ή εμβαλότητας έναντι της

ανόδου της θάλασσας στάθμης, και άρα ο εντοπισμός των παράκτιων εκείνων περιοχών που βρίσκονται σε ενδεχόμενο κίνδυνο, επιτυγχάνεται με την εφαρμογή του μοντέλου του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας (Σιαφάκας, 2003).

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ/ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ	ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΗ	ΧΑΜΗΛΗ	ΜΕΣΗ	ΥΨΗΛΗ	ΠΟΛΥ ΥΨΗΛΗ
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΤΙΕΣ ΓΕΩΜΟΡΦΕΣ	ΒΡΑΧΩΔΕΙΣ, ΑΠΟΤΟΜΕΣ ΑΚΤΕΣ, ΦΙΟΡΔ	ΗΠΙΟΙ ΒΡΑΧΟΙ, ΚΟΙΛΕΣ ΑΚΤΕΣ	ΧΑΜΗΛΟΙ ΒΡΑΧΟΙ, ΠΑΓΕΤΩΝΕΣ, ΠΡΟΣΧΩΜΑΤΙΚΕΣ ΠΕΔΙΑΔΕΣ	ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΚΕΣ ΑΚΤΕΣ, ΕΚΒΟΛΕΣ ΠΟΤΑΜΩΝ, ΛΙΜΝΟΘΑΛΑΣΣΕΣ	ΚΟΡΑΛΛΙΟΓΕΝΕΙΣ ΠΑΡΑΛΙΕΣ, ΚΟΡΑΛΛΙΟΓΕΝΕΙΣ ΥΦΑΛΟΙ, ΑΜΜΩΔΕΙΣ ΠΑΡΑΛΙΕΣ, ΕΛΗ, ΛΑΣΠΩΔΗ ΑΒΑΘΗ, ΠΟΤΑΜΙΑ ΔΕΛΤΑ, ΘΑΜΝΩΔΕΙΣ ΑΚΤΕΣ
ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΤΗΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ (m/ έτος)	> (2.0)	(1.0) - (2.0)	(-1.0) - (+1.0)	(-2.0) - (-1.0)	< (-2.0)
ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΚΛΙΣΗ (%)	> 1.9	1.3 - 1.9	0.9 - 1.3	0.6 - 0.9	< 0.6
ΣΧΕΤΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ (mm/ έτος)	< (-1.21)	(-1.21) - (0.1)	(0.1) - (1.24)	(1.24) - (1.36)	> 1.36
ΜΕΣΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ ΥΨΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ (m)	< 1.1	1.1 - 2.0	2.0 - 2.25	2.25 - 2.60	> 2.60
ΜΕΣΟ ΠΑΛΙΡΡΟΙΑΚΟ ΕΥΡΟΣ (m)	> 6.0	4.1 - 6.0	2.0 - 4.0	1.0 - 1.9	< 1.0

Πίνακας 2.2: Κατηγοριοποίηση των μεταβλητών του CVI κατά Gornitz και White (1992).

(Πηγή: Ιστότοπος USGS)

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ/ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ	ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΗ	ΧΑΜΗΛΗ	ΜΕΣΗ	ΥΨΗΛΗ	ΠΟΛΥ ΥΨΗΛΗ
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΤΙΕΣ ΓΕΩΜΟΡΦΕΣ	ΒΡΑΧΩΔΕΙΣ ΑΚΤΕΣ, ΥΨΗΛΟΙ ΚΡΗΜΝΟΙ	ΜΕΣΟΥ ΥΨΟΥΣ ΚΡΗΜΝΟΙ	ΧΑΜΗΛΟΙ ΚΡΗΜΝΟΙ, ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΕΣ ΠΕΔΙΑΔΕΣ	ΑΚΤΕΣ ΜΕ ΚΡΟΚΑΛΕΣ, ΛΙΜΝΟΘΑΛΑΣΣΕΣ	ΝΗΣΙΩΤΙΚΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ, ΔΕΛΤΑ, ΑΜΜΩΔΕΙΣ ΑΚΤΕΣ
ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΤΗΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ (m/ έτος)	> (2.0)	(1.0) - (2.0)	(-1.0) - (+1.0)	(-2.0) - (-1.0)	< (-2.0)
ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΚΛΙΣΗ (%)	> 1.2	1.2 - 0.9	0.9 - 0.6	0.6 - 0.3	< 0.3
ΣΧΕΤΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ (mm/ έτος)	< 1.8	1.8 - 2.5	2.5 - 3.0	3.0 - 3.4	> 3.4
ΜΕΣΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ ΥΨΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ (m)	< 0.55	0.55 - 0.85	0.85 - 1.05	1.05 - 1.25	> 1.25
ΜΕΣΟ ΠΑΛΙΡΡΟΙΑΚΟ ΕΥΡΟΣ (m)	> 6.0	4.0 - 6.0	2.0 - 4.0	1.0 - 2.0	< 1.0

Πίνακας 2.3: Κατηγοριοποίηση των μεταβλητών του CVI κατά Pendleton et al (2004).

(Πηγή: Αλεξανδράκης et al, 2009)

Μια προσεκτικότερη παρατήρηση της κατηγοριοποίησης των Gornitz και White (1992) και Pendleton et al. (2004), καθιστά σαφές πως οι ακτές που παρουσιάζουν μεγάλο εύρος παλίρροιας κατηγοριοποιούνται ως ακτές μικρής επικινδυνότητας έναντι ανόδου της στάθμης των υδάτων, σε αντίθεση με τις ακτές μικρού εύρους παλίρροιας που κατηγοριοποιούνται ως ακτές μεγάλης επικινδυνότητας. Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, καμία ακτή δε στερείται παλίρροιών. Είναι προφανές ότι το μικρό εύρος παλίρροιας εστιάζει τη δράση του κυματισμού σε συγκεκριμένα επίπεδα της παράκτιας ζώνης καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας

και του έτους, κάνοντας έτσι την κυματική δράση να είναι περισσότερο αποτελεσματική στον κατακλυσμό της ακτής. Αντίθετα, το μεγάλο εύρος παλίρροιας επιφέρει τον διασκορπισμό της κυματικής δράσης, συνεπώς μειώνεται και η επικινδυνότητα της ακτής στο ενδεχόμενο κατακλυσμού (Μαγκλάρα, 2011).

Η κατηγοριοποίηση των μεταβλητών επιτρέπει τη ενσωμάτωσή τους με ποσοτικό τρόπο στον υπολογισμό του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας, έτσι ώστε το τελικό αποτέλεσμα να εκφράζει την επικινδυνότητα της ακτής έναντι των φυσικών αλλαγών στην παγκόσμια στάθμη της θάλασσας. Με τον τρόπο αυτό συνδέονται όχι μόνο ποσοτικά δεδομένα διαφορετικών μονάδων μέτρησης, αλλά ταυτόχρονα επιτυγχάνεται η σύνδεση των ποιοτικών και ποσοτικών δεδομένων, η οποία είναι απαραίτητη για τον υπολογισμό του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας.

2.7 Το υπάρχον τυπολόγιο και οι χαρακτηρισμοί επικινδυνότητας

Ο πίνακας κατηγοριοποίησης κατά *Gornitz* και *White* (1992) των έξι (6) βασικών μεταβλητών, αποδίδει για μια συγκεκριμένη παράκτια ζώνη τις σχετικές τιμές συμβολής των εκάστοτε μεταβλητών στην επικινδυνότητα που παρουσιάζει η περιοχή αυτή σε μια ενδεχόμενη άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Με δεδομένες τις τιμές σχετικής επικινδυνότητας από το (1) έως το (5), δύναται να προκύψει για ορισμένο τμήμα της ακτογραμμής ο Δείκτης Παράκτιας Επικινδυνότητας (*Coastal Vulnerability Index – CVI*), με χρήση μαθηματικών τύπων.

Ο μαθηματικός τύπος που έχει επικρατήσει στις μελέτες προσδιορισμού της επικινδυνότητας παράκτιων περιοχών, υπαγορεύει τον υπολογισμό του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας ως την τετραγωνική ρίζα του γινομένου των κατηγοριοποιημένων μεταβλητών παράκτιας επικινδυνότητας, διαιρούμενου με το πλήθος των μεταβλητών αυτών:

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

Οι παράγοντες *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f* λαμβάνουν ακέραιες τιμές από (1) έως (5) σύμφωνα με τον πίνακα κατηγοριοποίησης κατά *Gornitz* και *White* (1992), και αντιστοιχούν στις εξής μεταβλητές:

- Γεωλογία και Παράκτιες Γεωμορφές (*a*)
- Παράκτια Κλίση (*b*)

- Σχετική Μεταβολή της Στάθμης της Θάλασσας (*c*)
- Ιστορική Μετατόπιση της Ακτογραμμής (*d*)
- Μέσο Σημαντικό Ύψος Κύματος (*e*)
- Μέσο Παλιρροιακό Εύρος (*f*)

Ο παραπάνω τύπος για τον Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας έχει χρησιμοποιηθεί κατά κόρον σε μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί στις αμερικανικές ακτές του Ειρηνικού και του Ατλαντικού Ωκεανού. Ωστόσο, πριν επικρατήσει ο εν λόγω τύπος έχουν υπάρξει άλλοι, οι οποίοι προτάθηκαν από τους *Gornitz* και *White* (1992) και στη συνέχεια δοκιμάστηκαν και χρησιμοποιήθηκαν σε ποικίλες μελέτες τους. Οι εναλλακτικές τυποποιήσεις καταγράφονται παρακάτω, ενώ με εξαίρεση τον τελευταίο μαθηματικό τύπο, οι υπόλοιποι τύποι ακολουθούν την εξής αντιστοίχιση των παραγόντων *a, b, c, d, e, f* με τις μεταβλητές (*Σιαφάκας, 2003*):

- Παράκτια Κλίση (*a*)
- Σχετική Μεταβολή της Στάθμης της Θάλασσας (*b*)
- Ιστορική Μετατόπιση της Ακτογραμμής (*c*)
- Γεωλογία και Παράκτιες Γεωμορφές (*d*)
- Μέσο Σημαντικό Ύψος Κύματος (*e*)
- Μέσο Παλιρροιακό Εύρος (*f*)

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΤΥΠΟΥ	ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ
ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΣ ΜΕΣΟΣ	$CVI = \frac{(a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot e \cdot f)}{6}$
ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΣ ΜΕΣΟΣ (1)	$CVI = \frac{a \cdot b \cdot c \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot d\right) \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot (e + f)\right)}{4}$
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΑΘΡΟΙΣΜΑΤΟΣ ΤΕΤΡΑΓΩΝΩΝ	$CVI = \frac{(a^2 + b^2 + c^2 + d^2 + e^2 + f^2)}{6}$
ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΣ ΜΕΣΟΣ (2)	$CVI = \frac{(a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot e \cdot f)}{5^2}$
ΑΘΡΟΙΣΜΑ ΓΙΝΟΜΕΝΩΝ	$CVI = 4 \cdot a + 4 \cdot b + 4 \cdot c + 2 \cdot d + 2 \cdot (e + f)$
ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΗ ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΥ ΜΕΣΟΥ	$CVI = \sqrt{\frac{(a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot e \cdot f)}{6}}$

Πίνακας 2.4: Οι τυποποιήσεις του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας.

(Πηγή: Σιαφάκας, 2003).

Οι μαθηματικοί τύποι που παρουσιάζονται στον παραπάνω πίνακα ως επί το πλείστον περιλαμβάνουν τις έξι (6) βασικές μεταβλητές με ισοβαρή συμμετοχή στον Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας. Το γεγονός αυτό αποτελεί πηγή σφάλματος για την τελική τιμή του δείκτη και άρα, τον τελικό χαρακτηρισμό μιας παράκτιας ζώνης σχετικά με την επικινδυνότητα που εκείνη φέρει σε μια ενδεχόμενη άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Ωστόσο, κάποιες από τις τυποποιήσεις για τον Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας αποδίδουν ιδιαίτερη βαρύτητα στη συμμετοχή ορισμένων μεταβλητών. Το πρόβλημα έγκειται στο γεγονός ότι η απόδοση βαρών είναι αυθαίρετη και δε στηρίζεται σε κάποιον μαθηματικό συλλογισμό, ο οποίος να είναι σε θέση να αποδώσει βάρη και στις πρόσθετες μεταβλητές που έχουν κατά καιρούς προταθεί για τη μελέτη της επικινδυνότητας παράκτιων ζωνών. Και για τις δυο παραπάνω περιπτώσεις είναι σαφές πως οι τυποποιήσεις που έχουν μέχρι στιγμής προταθεί δεν είναι σε θέση να δώσουν αποτελέσματα που θα οδηγήσουν σε προβλέψεις ικανοποιητικής αξιοπιστίας για την επικινδυνότητα παράκτιων ζωνών.

Όσον αφορά στον μαθηματικό τύπο που χρησιμοποιείται ευρέως στις μελέτες παράκτιας επικινδυνότητας, οι έξι (6) βασικές μεταβλητές συμμετέχουν ισοβαρώς στον υπολογισμό του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας. Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, το γεγονός αυτό καταδεικνύει την ανάγκη εύρεσης και περιγραφής ενός μαθηματικού συλλογισμού για την απόδοση των κατάλληλων τιμών βαρύτητας στις μεταβλητές. Απαραίτητο προπαρασκευαστικό στάδιο αποτελεί μια κατά το δυνατόν αντικειμενική ιεράρχηση των παραμέτρων, η οποία στη συνέχεια θα λειτουργήσει ως μέτρο σύγκρισης της ιεραρχίας που θα διαμορφωθεί από την εφαρμογή του μαθηματικού συλλογισμού. Έπειτα από εκτενή βιβλιογραφική έρευνα σε εργασίες που έχουν μέχρι στιγμής εκπονηθεί για τη μελέτη της παράκτιας επικινδυνότητας, διαπιστώθηκε πως τα κριτήρια ιεράρχησης των μεταβλητών στηρίζονται σε θεωρήσεις των συγγραφέων για τον βαθμό συμμετοχής της κάθε παραμέτρου στην επικινδυνότητα μιας συγκεκριμένης παράκτιας περιοχής, και ως εκ τούτου η επιλογή της σειράς κατάταξης είναι υποκειμενική. Προκειμένου να επιτευχθεί η αντικειμενικότητα της ιεράρχησης των μεταβλητών, η επιλογή της σειράς κατάταξης στην παρούσα Διπλωματική Εργασία γίνεται αρχικά μέσω της επιλογής του βέλτιστου σεναρίου ιεράρχησης από μια ομάδα τριών (3) πιθανών σεναρίων τα οποία δομούνται στη βάση βιβλιογραφικών πηγών. Στη συνέχεια διαμορφώνεται η τελική ιεραρχία των μεταβλητών ανάλογα με την τιμή βαρύτητας που η καθεμία λαμβάνει από την εφαρμογή του μαθηματικού συλλογισμού.

Ο υπολογισμός του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας συνήθως πραγματοποιείται ανά διατομές σε συγκεκριμένο μήκος ακτογραμμής, οι οποίες ορίζονται ειδικά για κάθε μελέτη, ώστε να είναι δυνατό να εντοπιστούν ενδεχομενες αλλαγές στην επικινδυνότητα της περιοχής. Έτσι, συγκεντρώνονται οι τιμές του δείκτη για όλο το μήκος της εν λόγω ακτογραμμής και εξάγεται ο μέσος όρος των τιμών αυτών. Στη συνέχεια, η τελική τιμή του

Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας θα πρέπει να αντιστοιχηθεί σε ένα συγκεκριμένο χαρακτηρισμό επικινδυνότητας. Προκειμένου να γίνει αυτό, απαιτείται η εκ των προτέρων καταμέριση του συνολικού εύρους τιμών του επιλεγμένου μαθηματικού τυπολογίου, σε τόσα επιμέρους εύρη τιμών όσα και οι χαρακτηρισμοί επικινδυνότητας που τελικά θα χρησιμοποιηθούν. Στη βιβλιογραφία συναντώνται δύο (2) τρόποι καταμέρισης του συνολικού εύρους τιμών του τυπολογίου σε επιμέρους εύρη. Καθένας συγκεντρώνει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά του, γεγονός που υπαγορεύει την επιλογή ενός εκ των δύο μεθόδων αντιστοίχισης ανάλογα με τις ανάγκες της εκάστοτε εργασίας.

Το βασικότερο κριτήριο για την επιλογή του τρόπου καταμέρισης είναι η εφαρμογή των αποτελεσμάτων του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας είτε σε μια συγκεκριμένη παράκτια περιοχή είτε η επιδίωξη μιας συγκριτικής μελέτης της επικινδυνότητας που παρουσιάζουν οι ακτογραμμές σε εθνικό επίπεδο. Σημειώνεται ότι και στις δύο μεθόδους οι τιμές του δείκτη δύναται να κατηγοριοποιηθούν σε τέσσερις (4) ή και πέντε (5) τάξεις επικινδυνότητας με αντίστοιχους χαρακτηρισμούς από χαμηλή και πολύ χαμηλή επικινδυνότητα έως πολύ υψηλή επικινδυνότητα. Προφανώς, ο κάθε χαρακτηρισμός επικινδυνότητας αντιστοιχεί και σε ένα εύρος τιμών του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας.

Στην περίπτωση μικρού πλήθους τιμών, όπως συμβαίνει σε περιπτώσεις μελέτης τοπικού επιπέδου, τα επιμέρους εύρη τιμών προκύπτουν από τον καταμερισμό του συνολικού εύρους τιμών σε ποσοστημόρια των 25% επί του συνόλου των τιμών που έχουν συλλεχθεί για τα διαφορετικά τμήματα μιας συγκεκριμένης ακτογραμμής. Αρχικά, όλες οι τιμές που προέκυψαν από εφαρμογή του μαθηματικού τύπου του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας διατάσσονται κατά αύξουσα σειρά. Το κάτω όριο για την πρώτη τάξη επικινδυνότητας είναι η πρώτη κατά σειρά τιμή. Το άνω όριο για την πρώτη τάξη επικινδυνότητας, και ταυτόχρονα το κάτω όριο για τη δεύτερη τάξη, είναι η τιμή εκείνη που αντιστοιχεί στη θέση $(N+1)/4$, όπου N το πλήθος των τιμών που προέκυψαν από εφαρμογή του μαθηματικού τύπου. Το άνω όριο για τη δεύτερη τάξη επικινδυνότητας είναι η τιμή εκείνη που αντιστοιχεί στη θέση $2(N+1)/4$, το άνω όριο για την τρίτη τάξη επικινδυνότητας είναι η τιμή εκείνη που αντιστοιχεί στη θέση $3(N+1)/4$ και τέλος, το άνω όριο για την τέταρτη τάξη επικινδυνότητας είναι η τελευταία κατά σειρά τιμή. Παραδείγματος χάριν, έστω ότι για τις ανάγκες μελέτης της επικινδυνότητας μιας παράκτιας περιοχής, η ακτογραμμή διαιρέθηκε σε δεκαεννέα (19) τμήματα, με αποτέλεσμα να προκύψουν δεκαεννέα (19) τιμές του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας. Οι τιμές αυτές διατάσσονται κατά αύξουσα σειρά.

Με βάση τα παραπάνω ισχύει ότι (Ξύζη, 2004):

- το εύρος τιμών της πρώτης τάξης επικινδυνότητας είναι από την πρώτη έως και την πέμπτη τιμή,

- το εύρος τιμών της δεύτερης τάξης επικινδυνότητας είναι από την πέμπτη έως και τη δέκατη τιμή,
- το εύρος τιμών της τρίτης τάξης επικινδυνότητας είναι από τη δέκατη έως και τη δέκατη πέμπτη τιμή, και τέλος,
- το εύρος τιμών της τελευταίας τάξης επικινδυνότητας είναι από τη δέκατη πέμπτη έως τη δέκατη ένατη τιμή.

Αντίθετα, σε μια ταξινόμηση σε *τέσσερις (4)* τάξεις παράκτιας επικινδυνότητας με γενική ισχύ, το εύρος τιμών για κάθε τάξη διαφορετικής επικινδυνότητας προκύπτει και πάλι από τον καταμερισμό του συνολικού εύρους τιμών σε *ποσοστημόρια των 25%*. Ωστόσο, εάν αντί για *τέσσερις (4)* επιλεγούν *πέντε (5)* τάξεις παράκτιας επικινδυνότητας, τότε ο καταμερισμός του συνολικού εύρους τιμών πραγματοποιείται σε *ποσοστημόρια των 20%*. Και στις δύο περιπτώσεις τα ποσοστημόρια αναφέρονται στο διάστημα από την ελάχιστη έως τη μέγιστη τιμή που δύναται να λάβει ο Δείκτης Παράκτιας Επικινδυνότητας, βάσει του μαθηματικού τύπου που χρησιμοποιείται. Η ελάχιστη τιμή για τον δείκτη προκύπτει αν όλες οι μεταβλητές λάβουν την τιμή (1). Αντίστοιχα, η μέγιστη τιμή για τον δείκτη προκύπτει αν όλες οι μεταβλητές λάβουν την τιμή (5).

Στην ουσία, το διάστημα τιμών από την ελάχιστη έως τη μέγιστη τιμή που λαμβάνει ο δείκτης για μια συγκεκριμένη ακτογραμμή, χωρίζεται σε *τέσσερα (4)* ή *πέντε (5)* ίσα υποδιαστήματα, καθένα από τα οποία αντιστοιχεί και σε έναν χαρακτηρισμό επικινδυνότητας. Με τον τρόπο αυτό παρέχεται μια κοινή βάση σύγκρισης για τις μελέτες παράκτιας επικινδυνότητας που διεξάγονται σε ποικίλες παράκτιες περιοχές, ανεξάρτητα του πλήθους των τιμών επικινδυνότητας που θα προκύψουν για την κάθε μια ακτογραμμή. Ειδικότερα, στην περίπτωση των *πέντε (5)* τάξεων παράκτιας επικινδυνότητας είναι πολύ πιο πιθανό να διαχωριστούν οι παράκτιες ζώνες πολύ χαμηλής επικινδυνότητας από αυτές που χαρακτηρίζονται ως χαμηλής επικινδυνότητας, και με αυτόν τον τρόπο να ληφθούν οι σωστές αποφάσεις από την πολιτική ηγεσία του τόπου σχετικά με την ανάγκη λήψης μέτρων παράκτιας προστασίας στις υπό εξέταση παράκτιες περιοχές.

Με βάση όλα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, σημειώνεται ότι στα πλαίσια της εν λόγω Διπλωματικής Εργασίας εφαρμόζεται η μέθοδος γενικής ισχύος, διότι εκ των πραγμάτων η έρευνα αφορά στην ευρύτερη περιοχή της Ελλάδας και δεν περιορίζεται σε μια μόνο παράκτια ζώνη. Ταυτόχρονα, επιλέγεται να γίνει καταμερισμός του συνολικού εύρους τιμών του μαθηματικού τυπολογίου που πρόκειται να προταθεί, σε *πέντε (5)* επιμέρους τάξεις επικινδυνότητας.

Τέλος, για λόγους πληρότητας της εργασίας, σημειώνονται τα εξής:

- Όπως διαπιστώθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, η ακρίβεια λήψης των διαφόρων δεδομένων στην καλύτερη περίπτωση είναι της τάξης του *cm*. Συνεπώς, στις τιμές που προκύπτουν από την εφαρμογή του μαθηματικού τύπου του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας διατηρούνται μόνο τα δύο πρώτα δεκαδικά, με στρογγυλοποίηση ανάλογα με το τρίτο δεκαδικό ψηφίο.
- Στην περίπτωση που οι υπολογισμοί των ποσοστημορίων για τον προσδιορισμό των άνω ορίων των τάξεων επικινδυνότητας αποδώσουν τιμές με δεκαδικό μέρος, τότε ακολουθούνται οι κανόνες στρογγυλοποίησης στον πλησιέστερο ακέραιο για να προκύψει η τελική τιμή που θα αποτελέσει το όριο.
- Αν μια ακέραια τιμή αποτελέσει το άνω όριο μιας τάξης επικινδυνότητας, τότε το κάτω όριο της επόμενης τάξης δεν αποτελεί ο ίδιος αριθμός, αλλά ο αριθμός επαυξημένος κατά 0,01.

Η σελίδα παραμένει σκόπιμα λευκή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΙΕΡΑΡΧΗΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό πραγματοποιείται η διαδικασία ιεράρχησης των μεταβλητών που λαμβάνονται υπόψη στον Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας (*Coastal Vulnerability Index – CVI*), με βάση τη συμβολή που η καθεμία έχει σε θέματα παράκτιας επικινδυνότητας. Για το λόγο αυτό, προτείνονται τρεις (3) εναλλακτικές λύσεις ιεράρχησης των μεταβλητών, ώστε μέσα από την αξιολόγησή τους με συγκεκριμένα κριτήρια διαφοροποιούμενης σχετικής σπουδαιότητας στο υπό μελέτη πρόβλημα, να προκύψει τελικά η βέλτιστη λύση ιεράρχησης των μεταβλητών. Η διαδικασία της ιεράρχησης πραγματοποιείται με τη μέθοδο της πολυκριτηριακής ανάλυσης, και συγκεκριμένα με μια από τις συχνότερα χρησιμοποιούμενες μεθόδους του είδους, τη μέθοδο *REGIME*.

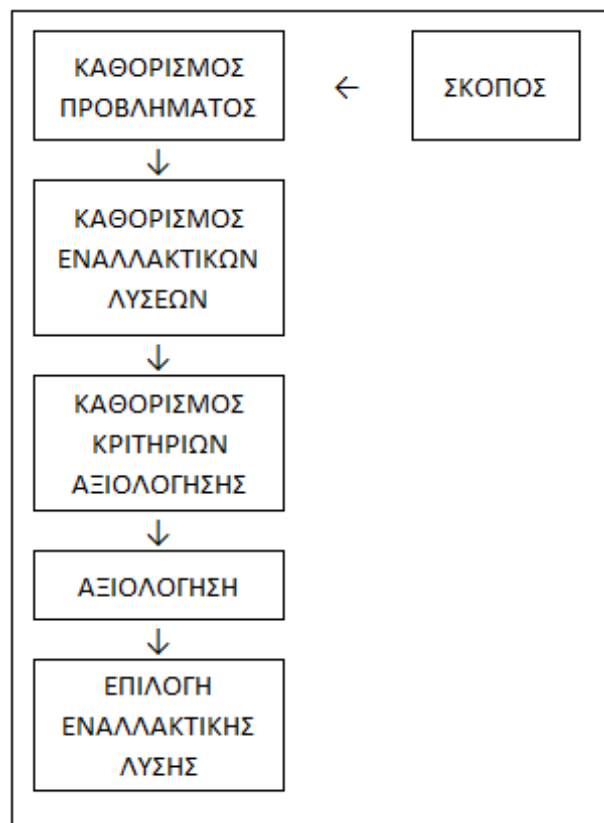
3.1 Εισαγωγή στην πολυκριτηριακή ανάλυση

Η έννοια της αξιολόγησης τα τελευταία χρόνια είναι συνώνυμη της προσπάθειας αντικειμενικοποίησης μιας συγκεκριμένης επιλογής, καθώς και της εκτίμησης των επιπτώσεων αυτής. Βασικό μέλημα είναι η επιλογή της βέλτιστης δυνατής εκ των διαθέσιμων λύσεων, στη βάση ορισμένων κριτηρίων. Οι μέθοδοι αξιολόγησης που κυριαρχούσαν στη διαδικασία λήψης αποφάσεων μέχρι και τη δεκαετία του '60, χαρακτηρίζονταν από την αδυναμία τους να αναλύσουν αποτελεσματικά και με συστηματικό τρόπο τις συγκρούσεις που ενυπάρχουν στις αποφάσεις που εμπλέκουν πολλαπλούς στόχους και λαμβάνονται από διαφορετικά κέντρα λήψης αποφάσεων. Το γεγονός αυτό οδήγησε στην αναζήτηση περισσότερο αποτελεσματικών εργαλείων για την ανάλυση των συγκρούσεων που ενυπάρχουν στη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Αποτέλεσμα της αναζήτησης αυτής αποτελεί η διαδικασία λήψης αποφάσεων που στηρίζεται στην *πολυκριτηριακή ανάλυση*.

Η πολυκριτηριακή ανάλυση αποτελεί τα τελευταία χρόνια ένα από τα σημαντικότερα εργαλεία στήριξης αποφάσεων, δεδομένου του ότι συμβάλλει στη βελτίωση της ποιότητας της διαδικασίας λήψης αποφάσεων, παρέχοντας μια έγκυρη μεθοδολογικά πλατφόρμα για την ανάλυση των αποφάσεων, καθώς επίσης και ένα επιχειρησιακό πλαίσιο για την τελική λήψη των αποφάσεων. Το μεγάλο πλεονέκτημα της πολυκριτηριακής ανάλυσης είναι ότι προσεγγίζει με επιχειρησιακό τρόπο προβλήματα αξιολόγησης και επιλογής που εμπεριέχουν «αλληλοσυγκρουόμενα συμφέροντα». Ο στόχος της είναι να προσφέρει κατά τρόπο συστηματικό, πληροφορίες για τη φύση αυτών των αντιθέσεων, έτσι ώστε σε μια σύνθετη κατάσταση επιλογής να γίνονται περισσότερο διαφανείς οι συμψηφισμοί στο κέντρο λήψης των αποφάσεων (*Γιαουτζή & Στρατηγέα, 2011*).

Η διαδικασία αξιολόγησης στο πλαίσιο της πολυκριτηριακής ανάλυσης έχει συνήθως την ακόλουθη δομή (Γιαουτζή & Στρατηγέα, 2011):

- Καθορισμός του προβλήματος αξιολόγησης.
- Καθορισμός των εναλλακτικών λύσεων.
- Καθορισμός των κριτηρίων αξιολόγησης.
- Ανάλυση των επιπτώσεων των εναλλακτικών ως προς τα επιλεγμένα κριτήρια.
- Καθορισμός της βαρύτητας που φέρει κάθε κριτήριο ως προς το αρχικό πρόβλημα.
- Σύγκριση των εναλλακτικών για κάθε κριτήριο.
- Συμπεράσματα και κατευθυντήριες συστάσεις.



Εικόνα 3.1: Στάδια της διαδικασίας αξιολόγησης στην πολυκριτηριακή ανάλυση.

(Πηγή: Γιαουτζή & Στρατηγέα, 2011)

Η μέθοδος της πολυκριτηριακής ανάλυσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διάφορους σκοπούς, όπως για παράδειγμα για την ταξινόμηση, ιεράρχηση και αξιολόγηση διαφορετικών εναλλακτικών λύσεων, ανάλογα πάντα με τον στόχο του προβλήματος που εξετάζεται κάθε φορά. Μια από τις συχνότερα χρησιμοποιούμενες μεθόδους πολυκριτηριακής ανάλυσης είναι η μέθοδος πολυκριτηριακής ανάλυσης REGIME.

3.2 Η μέθοδος πολυκριτηριακής ανάλυσης *REGIME*

Το βασικό σκεπτικό της μεθόδου πολυκριτηριακής ανάλυσης *REGIME* είναι να είναι απλή και εύληπτη, τόσο από τον χρήστη της όσο και από τα κέντρα λήψης αποφάσεων που συνεργάζονται στα θέματα αξιολόγησης διαφόρων προβλημάτων. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, τα κυριότερα συστατικά σε ένα πρόβλημα πολυκριτηριακής αξιολόγησης είναι (Γιαουτζή & Στρατηγέα, 2011):

- *Οι εναλλακτικές προτάσεις για το πρόβλημα.*

Οι εναλλακτικές προτάσεις αντιπροσωπεύουν τις διαφορετικές λύσεις του προβλήματος που εξετάζεται, ενώ η αξιολόγηση αυτών αποτελεί το αντικείμενο της μεθοδολογίας που υπαγορεύει η πολυκριτηριακή ανάλυση. Οι λύσεις που διατυπώνονται ως πιθανές αντανακλούν την εμπειρία του μελετητή, τη γνώση του επί του αντικειμένου και την προσωπική του άποψη πάνω στο θέμα. Ωστόσο, οι λύσεις αυτές θα πρέπει να είναι εφικτές, λογικές, πιθανές και να μπορούν να ενσωματωθούν με τον καλύτερο δυνατό τρόπο στην ήδη υπάρχουσα πραγματικότητα. Οι εναλλακτικές λύσεις πρέπει να περιγράφονται πλήρως τόσο ως προς το περιεχόμενό τους, όσο και ως προς τη σχέση τους με τον επιδιωκόμενο στόχο.

- *Τα κριτήρια με βάση τα οποία γίνεται η αξιολόγηση.*

Η έννοια του κριτηρίου αξιολόγησης στο πλαίσιο της πολυκριτηριακής ανάλυσης θα πρέπει να χρησιμοποιείται με ευέλικτο τρόπο. Το κριτήριο αποτελεί στην ουσία μια διάσταση του προβλήματος που εξετάζεται, εκφρασμένη με ποιοτικό ή ποσοτικό τρόπο. Μέσα από αυτή τη διάσταση είναι δυνατό να αξιολογηθεί ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό των προτεινόμενων εναλλακτικών λύσεων, το οποίο σχετίζεται με το κριτήριο αυτό. Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί στην επιλογή και διατύπωση των κριτηρίων αξιολόγησης. Τα κριτήρια πρέπει να είναι σαφώς διατυπωμένα και διαφορετικής φύσης το καθένα μέσα στο εκάστοτε πρόβλημα.

- *Η βαρύτητα ή προτεραιότητα που αποδίδεται σε κάθε κριτήριο.*

Με δεδομένο ότι στην αξιολόγηση μπορεί να χρησιμοποιούνται πολλά αντικρουόμενα κριτήρια, είναι αναγκαίο να δοθεί μια καλύτερη εικόνα της απόδοσης των εναλλακτικών λύσεων σε σχέση με τα κριτήρια που έχουν επιλεγεί στη βάση ενός συγκεκριμένου προβλήματος. Ο καθορισμός της σχετικής σπουδαιότητας των κριτηρίων που

υπεισέρχονται σε ένα πρόβλημα πολυκριτηριακής ανάλυσης αποτελεί απαραίτητο στοιχείο για τη διαδικασία αξιολόγησης. Αυτές οι προτεραιότητες μπορεί να εκφραστούν είτε με τη μορφή της ποσοτικής διαβάθμισης των κριτηρίων, όπου περιγράφονται ως *βάρη*, είτε με τη μορφή της ποιοτικής διαβάθμισης, όπου περιγράφονται ως *προτεραιότητες*.

Το πρώτο βήμα της διαδικασίας αξιολόγησης με βάση την πολυκριτηριακή ανάλυση είναι η δόμηση του πίνακα επιπτώσεων. Αυτός ο πίνακας δομείται στη βάση των εναλλακτικών λύσεων του προβλήματος που εξετάζεται και των κριτηρίων με τα οποία θα γίνει η αξιολόγηση. Τα στοιχεία του πίνακα επιπτώσεων εκφράζουν την επίπτωση κάθε εναλλακτικής ως προς κάθε κριτήριο αξιολόγησης και μπορούν με τη μέθοδο *REGIME* να έχουν ποσοτικό ή/ και ποιοτικό χαρακτήρα, δηλαδή μικτή πληροφορία. Ο πίνακας επιπτώσεων αποτελεί τη «φωτογραφία» του προς αξιολόγηση προβλήματος. Μερικές φορές η απλή επισκόπηση του πίνακα επιπτώσεων μπορεί να δώσει μια γενική εικόνα της διαφοροποίησης των εναλλακτικών ως προς τα συγκεκριμένα κριτήρια, διευκολύνοντας με αυτόν τον τρόπο τον εντοπισμό και τελικά την επιλογή της επικρατούσας εναλλακτικής λύσης για το συγκεκριμένο πρόβλημα (Γιαουτζή & Στρατηγέα, 2011).

Το επόμενο βήμα της διαδικασίας αξιολόγησης με βάση την πολυκριτηριακή ανάλυση είναι η δόμηση του πίνακα προτεραιοτήτων. Προκειμένου να αξιολογηθεί αποτελεσματικά ο πίνακας επιπτώσεων των εναλλακτικών λύσεων ως προς τα συγκεκριμένα κριτήρια, είναι απαραίτητη η επιπρόσθετη πληροφορία της *σχετικής σπουδαιότητας των κριτηρίων* μέσα στην αξιολόγηση. Διαφορετικές οπτικές μπορεί να ενσωματωθούν στη μέθοδο της πολυκριτηριακής ανάλυσης, σχετικά με τις προτεραιότητες που αποδίδονται στα διάφορα κριτήρια. Οι προτεραιότητες αυτές μπορούν να εκφραστούν είτε ποσοτικά, οπότε αναφέρονται συνήθως ως *βάρη*, είτε ποιοτικά, οπότε αναφέρονται ως *προτεραιότητες*. Η σύνδεση της πληροφορίας που περιέχεται στον πίνακα επιπτώσεων και στον πίνακα προτεραιοτήτων, έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός νέου πίνακα, του *πίνακα εκτιμήσεων*, ο οποίος αποτελεί και το εργαλείο για την τελική επιλογή μιας εκ των προτεινόμενων εναλλακτικών λύσεων (Γιαουτζή & Στρατηγέα, 2011).

3.3 Εφαρμογή της μεθόδου για το συγκεκριμένο πρόβλημα ιεράρχησης

Στη βάση των όσων αναφέρθηκαν παραπάνω, επιχειρείται η εφαρμογή των βασικών αρχών και κατευθύνσεων που υπαγορεύει η μέθοδος πολυκριτηριακής ανάλυσης *REGIME*, προκειμένου να επιλεγεί η τελική λύση ιεράρχησης των μεταβλητών του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας (*Coastal Vulnerability Index – CVI*). Αρχικά τίθεται σαφώς ο βασικός λόγος

για την πραγματοποίηση της παρούσας διαδικασίας αξιολόγησης. Στη συνέχεια διατυπώνονται οι εναλλακτικές λύσεις που αξιολογούνται και τα κριτήρια στα οποία θα στηριχθεί η όλη διαδικασία. Στο σημείο αυτό δομείται ο πίνακας επιπτώσεων. Κατόπιν, αποδίδεται με αυθαίρετο αλλά λογικό τρόπο η σχετική σπουδαιότητα των κριτηρίων αξιολόγησης ώστε να προκύψει ο πίνακας προτεραιοτήτων. Τέλος, η σύνθεση των δύο παραπάνω πινάκων αποδίδει τον πίνακα εκτιμήσεων, ο οποίος περιλαμβάνει συγκεντρωμένα όλα τα στοιχεία που πρέπει να ληφθούν υπόψη για την αξιολόγηση και μέσω του οποίου επιλέγεται η τελική λύση στο πρόβλημα που εξαρχής διατυπώθηκε.

3.3.1 Καθορισμός προβλήματος αξιολόγησης

Προτού τεθεί το πρόβλημα αξιολόγησης, είναι αναγκαίο να προσδιοριστεί το ευρύτερο πλαίσιο στο οποίο πραγματοποιείται η εν λόγω διαδικασία αξιολόγησης των εναλλακτικών λύσεων. Αντικείμενο μελέτης της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι ο Δείκτης Παράκτιας Επικινδυνότητας, όπως αυτός έχει εφαρμογή για τα ελληνικά δεδομένα. Η Ελλάδα είναι μια χώρα που βρίσκεται στη νοτιοανατολική Ευρώπη, στο νοτιότερο άκρο της Βαλκανικής χερσονήσου και ως εκ τούτου, βρέχεται κατά τα $\frac{3}{4}$ από τη Μεσόγειο θάλασσα. Οι Μεσογειακές ακτές, συγκρινόμενες με τις ακτές του Ατλαντικού ή του Ειρηνικού Ωκεανού, παρουσιάζουν δύο κύριες διαφορές που τις κάνουν να ξεχωρίζουν, γεγονός που υπογραμμίζει την ανάγκη να αντιμετωπιστούν και να μελετηθούν ως μια ιδιαίτερη περίπτωση, όσον αφορά στα έργα προστασίας και βελτίωσής τους. Οι δύο αυτές κύριες διαφορές είναι η ασήμαντη διακύμανση γύρω από τη Μέση Στάθμη της Θάλασσας και η έλλειψη σημαντικής παλίρροιας (Παναγιωτίδης & Χατζημπίρος, 2004).

Σύμφωνα με την ανάλυση που έχει μέχρι στιγμής διεξαχθεί, ο Δείκτης Παράκτιας Επικινδυνότητας είναι ένα εύχρηστο μαθηματικό εργαλείο για την απόδοση χαρακτηρισμών επικινδυνότητας σε παράκτιες ζώνες, το οποίο στηρίζεται σε ορισμένες βασικές μεταβλητές. Σκοπός του παρόντος πονήματος είναι να αναζητηθεί η *διαφορετική επιρροή ή βαρύτητα* κάθε μίας μεταβλητής στον τελικό μαθηματικό τύπο, με τρόπο που να ανταποκρίνεται και να αντανακλά τα ελληνικά δεδομένα. Το γεγονός αυτό θα βελτιστοποιήσει το ήδη υπάρχον μοντέλο και άρα θα αυξήσει το επίπεδο αξιοπιστίας του αποτελέσματος που θα προκύψει από τον μαθηματικό τύπο σε σχέση με την επικινδυνότητα που φέρει μια συγκεκριμένη παράκτια ζώνη λόγω ανόδου της στάθμης των υδάτων. Η σκοπιμότητα της εισαγωγής βαρών εκφράζει την ανάγκη ιεράρχησης των μεταβλητών ανάλογα με τη επιρροή της κάθε μεταβλητής στην παράκτια επικινδυνότητα συγκριτικά με τις υπόλοιπες. Η επιτυχής κατάταξη των μεταβλητών θα αποτελέσει το μέτρο σύγκρισης της ιεραρχίας που θα διαμορφωθεί από την εφαρμογή του μαθηματικού συλλογισμού.

Συνεπώς, το βασικό πρόβλημα που τίθεται στο συγκεκριμένο σημείο της Διπλωματικής Εργασίας είναι να καθοριστεί η σειρά κατάταξης των μεταβλητών του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας, σύμφωνα με την οποία η πρώτη κατά σειρά μεταβλητή είναι εκείνη που συνεισφέρει σε μεγαλύτερο βαθμό στην πιθανότητα κατακλυσμού μιας περιοχής ύστερα από ενδεχόμενη άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Αντίστοιχα, η τελευταία κατά σειρά μεταβλητή συνεισφέρει ελάχιστα στην εμβалότητα μιας παράκτιας περιοχής συγκριτικά με τις υπόλοιπες, ή πιθανότατα να μην συμβάλλει καθόλου σε αυτήν. Για την επιλογή της σειράς κατάταξης των μεταβλητών διατυπώνονται *τρεις (3) πιθανές εναλλακτικές λύσεις*, από τις οποίες θα πρέπει να αναζητηθεί η καταλληλότερη λύση από άποψη επικινδυνότητας.

3.3.2 Καθορισμός εναλλακτικών λύσεων

Ο Δείκτης Παράκτιας Επικινδυνότητας αποτελεί ένα μαθηματικό εργαλείο προσδιορισμού της επικινδυνότητας που φέρουν οι παράκτιες ζώνες μιας χώρας. Το μαθηματικό αυτό εργαλείο αποδίδει αποτελέσματα αναφορικά με κάποιες παραμέτρους ή μεταβλητές που συμβάλλουν και καθορίζουν την επικινδυνότητα της παράκτιας ζώνης. Συνεπώς, είναι λογικό σε μια μελέτη για την απόδοση βαρών στο ήδη υπάρχον μοντέλο, να αναζητηθεί εκείνη η σειρά κατάταξης που αντανακλά στον βέλτιστο δυνατό βαθμό τη συμβολή στην επικινδυνότητα που φέρει η κάθε παράμετρος ξεχωριστά, ανεξάρτητα από το μέγεθος της συμβολής. Για το σκοπό αυτό επιλέχθηκαν *τρεις (3) πιθανές εναλλακτικές λύσεις*, μέσα από τις οποίες είναι δυνατό να εξαχθεί το ζητούμενο συμπέρασμα. Οι εν λόγω προτεινόμενες εναλλακτικές λύσεις διατυπώνονται και αναλύονται παρακάτω.

- *Εναλλακτική Λύση 1: Ιεράρχηση ανάλογα με τη δυνατότητα αντίστασης σε συνθήκες κατακλυσμού.*

Η πρώτη εναλλακτική λύση προσεγγίζει το ζητούμενο της ιεράρχησης των μεταβλητών του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας με βάση την παρούσα δυνατότητα αντίστασης του κάθε παράγοντα στο ενδεχόμενο κατακλυσμού της παράκτιας περιοχής. Δεδομένου του ότι πρόκειται για μια μελέτη παράκτιας επικινδυνότητας, είναι σχεδόν απαραίτητο να εξεταστεί η συμβολή της κάθε μεταβλητής του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας στην εμβалότητα που φέρει η εκάστοτε ακτογραμμή. Στη συγκεκριμένη εναλλακτική επιλέχθηκε η προσέγγιση να γίνει με έμμεσο τρόπο, εξετάζοντας τη συμβολή στην αντίσταση και όχι στην επικινδυνότητα, διότι σε αυτή την περίπτωση είναι περισσότερο σαφής ο διαχωρισμός των μεταβλητών. Η ιεράρχηση με βάση την *Εναλλακτική Λύση 1* παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα.

ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΛΥΣΗ 1	
ΘΕΣΗ ΣΤΗΝ ΙΕΡΑΡΧΙΑ	ΟΝΟΜΑ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ
1	ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΚΛΙΣΗ
2	ΓΕΩΛΟΓΙΑ & ΠΑΡΑΚΤΙΕΣ ΓΕΩΜΟΡΦΕΣ
3	ΜΕΣΟ ΠΑΛΙΡΡΟΙΑΚΟ ΕΥΡΟΣ
4	ΜΕΣΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ ΥΨΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ
5	ΣΧΕΤΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ
6	ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΤΗΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ

Πίνακας 3.1: Η ιεράρχηση των μεταβλητών σύμφωνα με την Εναλλακτική Λύση 1.

Υπό το πρίσμα της δυνατότητας αντίστασης σε συνθήκες κατακλυσμού δομήθηκε η πρώτη εναλλακτική λύση για την ιεράρχηση των μεταβλητών του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας. Οι μεταβλητές που δύναται να αποτελέσουν μια ισχυρή φυσική προστασία έναντι του σεναρίου κατακλυσμού κατατάσσονται στις πρώτες θέσεις της ιεραρχίας. Αντίθετα, οι μεταβλητές που ενισχύουν με τη δράση τους το ενδεχόμενο κατακλυσμού κατατάσσονται σε επόμενες θέσεις. Τέλος, στην περίπτωση που εξετάζονται ζεύγη μεταβλητών εκ των οποίων η μια λειτουργεί ανασταλτικά της άλλης και άρα αντιτίθεται στο σενάριο κατακλυσμού, η μεταβλητή αυτή κατατάσσεται σε υψηλότερη θέση στην ιεραρχία. Σημειώνεται ότι η μεταβλητή της ιστορικής οπισθοχώρησης δεν ανήκει σε καμία από αυτές τις κατηγορίες, διότι απλά αντανακλά τις παρελθοντικές καταστάσεις της εκάστοτε ακτογραμμής χωρίς να μεταβάλλει την επικινδυνότητα που φέρει η ακτή. Για το λόγο αυτό, στη συγκεκριμένη εναλλακτική λύση η μεταβλητή αυτή τοποθετείται στην τελευταία θέση.

Οι μοναδικές δύο μεταβλητές που καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τη σχετική επικινδυνότητα μιας παράκτιας περιοχής σε μια ενδεχόμενη άνοδο της στάθμης της θάλασσας, είναι η γεωμορφολογία της περιοχής και η παράκτια κλίση. Και οι δύο μεταβλητές συνδέονται με την φυσική αντοχή της ακτής και την ταχύτητα με την οποία η ακτογραμμή θα υποχωρήσει έναντι κατάκλυσης. Όσο μεγαλύτερη η κλίση μιας παράκτιας περιοχής, τόσο πιο δύσκολο είναι η περιοχή αυτή να κινδυνεύσει από την άνοδο της στάθμης των υδάτων, λαμβάνοντας υπόψη πρωτίστως τη γεωμορφολογία της περιοχής και εν συνεχεία την ένταση του κυματισμού. Διακρίνονται οι εξής τρεις (3) περιπτώσεις:

- Εάν το παράκτιο περιβάλλον χαρακτηρίζεται ως βραχώδες τότε η περιοχή μπορεί ασφαλώς να καταταχθεί στις περιοχές χαμηλής επικινδυνότητας, ανεξαρτήτου κλίσης (Εικόνα 3.2α).
- Εάν το παράκτιο περιβάλλον συνίσταται από χονδρόκοκκα υλικά τότε δυσχεραίνονται οι διαδικασίες της διάβρωσης και απόθεσης, με αποτέλεσμα η παράκτια κλίση να μη μεταβάλλεται με εύκολο τρόπο και άρα η περιοχή να μπορεί να θεωρηθεί ως χαμηλής επικινδυνότητας. Ωστόσο, εάν εξαρχής η παράκτια κλίση είναι μικρή, τότε η περιοχή μπορεί εύκολα να κατακλυστεί από άνοδο της στάθμης των υδάτων, ανεξάρτητα της φύσης των παράκτιων γεωμορφών (Εικόνα 3.2β).
- Τέλος, εάν το παράκτιο περιβάλλον συνίσταται από λεπτόκοκκα υλικά τότε η εμβалότητα ποικίλλει από περιοχή σε περιοχή διότι ποικίλλει η κλίση που διαπιστώνεται κάθε φορά. Μικρή παράκτια κλίση οδηγεί σε σίγουρο κίνδυνο κατακλυσμού της περιοχής από άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Αντίθετα, μεγάλη παράκτια κλίση ίσως λειτουργήσει ως φυσικό εμπόδιο, καθυστερώντας έτσι την ολοκλήρωση της δράσης των διαδικασιών διάβρωσης και απόθεσης, αλλά είναι σίγουρο πως σε βάθος χρόνου ο κίνδυνος θα ενταθεί.

Από τα παραπάνω είναι σαφές πως η συσχέτιση των παραγόντων την γεωμορφολογίας και της παράκτιας κλίσης είναι ισχυρή, με τη δεύτερη να κάνει τη διαφορά σε θέματα κατάταξης μιας ακτογραμμής από άποψη επικινδυνότητας. Συνεπώς, η πρώτη θέση στην ιεραρχία αποδίδεται στη μεταβλητή «Παράκτια Κλίση» και η δεύτερη θέση στη μεταβλητή «Γεωλογία και Παράκτιες Γεωμορφές».

Οι επόμενες δύο θέσεις αποδίδονται σε μεταβλητές που συμμετέχουν μεν στην εμβалότητα μιας παράκτιας ζώνης, αλλά λιγότερο. Οι μεταβλητές που ικανοποιούν αυτόν τον όρο είναι το μέσο εύρος παλίρροιας και το μέσο σημαντικό ύψος κύματος. Στο κεφάλαιο της κατηγοριοποίησης των παραγόντων κατά Gornitz και White (1992) τονίστηκε ιδιαίτερα το γεγονός ότι οι ακτές που παρουσιάζουν μεγάλο εύρος παλίρροιας κατηγοριοποιούνται ως ακτές μικρής επικινδυνότητας, σε αντίθεση με τις ακτές μικρού εύρους παλίρροιας που κατηγοριοποιούνται ως ακτές μεγάλης επικινδυνότητας. Σε μια ακτή που γνωρίζει μικρό εύρος παλίρροιας, η κυματική δράση εστιάζεται σε συγκεκριμένα επίπεδα της παράκτιας ζώνης καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας και του έτους, κάνοντας έτσι την επίδραση από κυματισμό, και κατ' επέκταση τις διαδικασίες της διάβρωσης και απόθεσης υλικού, να είναι περισσότερο αποτελεσματικές στον κατακλυσμό της ακτής.



Εικόνα 3.2: (α) Βραχώδης ακτή μεγάλης κλίσης, (β) Βραχώδης ακτή μικρής κλίσης.

(Πηγή: Ιστότοπος Κέντρου Εκπαιδευτικής Έρευνας)

Συνεπώς, το σημαντικό ύψος κύματος είναι ένας παράγοντας που ενισχύει τον κίνδυνο κατακλυσμού μιας παράκτιας ζώνης, σε αντίθεση με το εύρος παλίρροιας που λειτουργεί ανασταλτικά της κυματικής δράσης. Ως εκ τούτου, στη μεταβλητή «Μέσο Παλίρροιακό Εύρος» αποδίδεται η τρίτη θέση της ιεραρχίας, ενώ η τέταρτη θέση αποδίδεται στη μεταβλητή «Μέσο Σημαντικό Ύψος Κύματος». Τέλος, δεδομένου του ότι η μεταβλητή «Ιστορική Μετατόπιση της Ακτογραμμής» τέθηκε εξ αρχής στην τελευταία θέση της ιεραρχίας, συνεπάγεται πως την πέμπτη θέση καταλαμβάνει η μεταβλητή «Σχετική Μεταβολή της Στάθμης της Θάλασσας».

- *Εναλλακτική Λύση 2: Ιεράρχηση ανάλογα με τη σπουδαιότητα για τα ελληνικά δεδομένα.*

Η δεύτερη εναλλακτική λύση προσεγγίζει το ζητούμενο της ιεράρχησης των μεταβλητών του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας με βάση τη σπουδαιότητα του κάθε παράγοντα για την ελληνική επικράτεια. Στα πλαίσια της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, με τον όρο «σπουδαιότητα» για μια μεταβλητή νοείται η σχετική επικινδυνότητα που αυτή φέρει, δηλαδή ο βαθμός στον οποίο εκτιμάται ότι θα συμβάλει η μεταβλητή ώστε να κατακλυστεί μια παράκτια περιοχή. Όσο μεγαλύτερη η σχετική επικινδυνότητα, και άρα η τιμή σχετικής επικινδυνότητας που δύναται να λάβει η μεταβλητή, τόσο υψηλότερη και η θέση αυτής στην ιεραρχία. Καθώς μειώνεται η τιμή της επικινδυνότητας, μειώνεται και η θέση στην ιεραρχία. Οι μεταβλητές που λαμβάνουν τις τελευταίες θέσεις στην ιεραρχία διαθέτουν μικρές ή τη

μικρότερη δυνατή τιμή επικινδυνότητας. Η ιεράρχηση με βάση την *Εναλλακτική Λύση 2* παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα.

ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΛΥΣΗ 2	
ΘΕΣΗ ΣΤΗΝ ΙΕΡΑΡΧΙΑ	ΟΝΟΜΑ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ
1	ΜΕΣΟ ΠΑΛΙΡΡΟΙΑΚΟ ΕΥΡΟΣ
2	ΓΕΩΛΟΓΙΑ & ΠΑΡΑΚΤΙΕΣ ΓΕΩΜΟΡΦΕΣ
3	ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΚΛΙΣΗ
4	ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΤΗΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ
5	ΜΕΣΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ ΥΨΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ
6	ΣΧΕΤΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ

Πίνακας 3.2: Η ιεράρχηση των μεταβλητών σύμφωνα με την *Εναλλακτική Λύση 2*.

Με βάση τα κριτήρια που τέθηκαν παραπάνω και τη γνώση του ευρύτερου πλαισίου για την παρούσα μελέτη, την πρώτη θέση στην ιεραρχία καταλαμβάνει η μεταβλητή «*Μέσο Παλιρροιακό Εύρος*». Η αστρονομική παλίρροια των ελληνικών υδάτων είναι γενικά χαμηλότερη από 10cm. Ωστόσο, η συνολική διακύμανση της στάθμης της θάλασσας λόγω μετεωρολογικής και αστρονομικής παλίρροιας κυμαίνεται εν γένει στο 0.5m, εξαιτίας των διαφοροποιούμενων μετεωρολογικών συνθηκών. Ως εκ τούτου, η παλιρροιακή διακύμανση των υδάτων, ή αλλιώς το εύρος παλίρροιας, για τα ελληνικά δεδομένα διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα, γεγονός που υποδεικνύει την υψηλή τιμή της σχετικής επικινδυνότητας που λαμβάνει η συγκεκριμένη μεταβλητή (Αλεξανδράκης et al, 2009).

Η δεύτερη και τρίτη θέση της ιεραρχίας αποδίδονται στις μεταβλητές «*Γεωλογία και Παράκτιες Γεωμορφές*» και «*Παράκτια Κλίση*» αντίστοιχα. Η μορφολογική ταξινόμηση που πραγματοποιήθηκε για τις ελληνικές παράκτιες περιοχές που βρέχονται από το Αιγαίο και ποικίλλες παράκτιες ζώνες της Πελοποννήσου που βρέχονται από το Ιόνιο Πέλαγος, αναγνωρίζει τέσσερεις βασικούς τύπους ακτών (Αλεξανδράκης et al 2009, Doukakis 2005):

- Βραχώδεις ακτές ή/ και κρημνοί από σκληρό υλικό,
- Κρημνοί από κροκαλοπαγή ή/ και μαλακούς βραχώδεις σχηματισμούς που συχνά εμπεριέχουν μικρές παραλίες κλειστής κυκλοφορίας,

- Παράλιες ζώνες μικρού μήκους (έως 1km) που διαχωρίζονται από βραχώδη ακρωτήρια, εκτεταμένες παραλίες (>1km) ποικίλης κοκκομετρικής σύστασης και ακτογραμμές παράκτιων σχηματισμών θαλάσσιας απόθεσης, συμπεριλαμβανομένων και των τεχνητά εμπλουτισμένων παραλιών.
- Δελταϊκές παραλίες.

Ως εκ τούτου, από τα παραπάνω δεδομένα και κάνοντας μια ασφαλή γενίκευση για όλες τις ελληνικές ακτογραμμές, είναι θεωρητικά σωστό να εξαχθεί ως συμπέρασμα πως η σχετική τιμή επικινδυνότητας για τη γεωμορφολογία της Ελλάδας κυμαίνεται σε ένα μέσο έως και υψηλό επίπεδο. Σε όμοια επίπεδα επικινδυνότητας θεωρείται ότι κυμαίνεται και η τιμή σχετικής επικινδυνότητας για την παράκτια κλίση που διαπιστώνεται στις ελληνικές παράκτιες ζώνες. Το συμπέρασμα εξάγεται σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τις διάφορες περιοχές των ακτών του Αιγαίου (Πίνακας 3.3) και ύστερα από ασφαλή γενίκευση για όλες τις ελληνικές ακτογραμμές. Από τα παραπάνω είναι σαφές πως είναι δύσκολο να προσδιοριστεί με βεβαιότητα σε ποια από τις δύο μεταβλητές πρέπει να αποδοθεί η δεύτερη θέση στην ιεραρχία, συνεπώς επιλέχθηκε η μεταβλητή εκείνη για την οποία υπάρχουν οι περισσότερες αναφορές και δεδομένα.

Περιοχή	Παράκτιες κλίσεις				
	Πολύ γαμηλή (<3%)	Χαμηλή (3-6%)	Μέτρια (6-9%)	Μεγάλη (9-12%)	Πολύ μεγάλη (>12%)
Θράκη - Αν.Μακεδονία	72%		13%	10%	4%
Κεντρ. Μακεδονία	45%		2%		53%
Θεσσαλία	9%	39%	18%	17%	17%
Πελοπόννησος	31%		25%		44%
Εύβοια	15%		45%		31%
Β. Αιγαίο	64%				36%
Κυκλάδες - Δωδεκάνησα	46%	51%	3%		
Β. Κρήτη	50%				50%

Πίνακας 3.3: Εκτίμηση των ποσοστών παράκτιας κλίσης σε περιοχές των ακτών του Αιγαίου.

(Πηγή: Αλεξανδράκης et al, 2009)

Η τέταρτη θέση στην ιεραρχία αποδίδεται στη μεταβλητή «Ιστορική Μετατόπιση της Ακτογραμμής». Η σταθερότητα ή πιθανή αστάθεια της θέσης της ακτογραμμής οφείλεται κατά κύριο λόγο στους ρυθμούς διάβρωσης και πρόσχωσης που παρατηρούνται για κάθε παράκτια περιοχή. Σε πολλές περιπτώσεις όμως τα σχετικά δεδομένα δεν είναι συνεχή, ικανοποιητικά και ακριβή, ενώ συχνά υπάρχει περιορισμένη διαθεσιμότητα. Με βάση όλα τα παραπάνω, οι τιμές σχετικής επικινδυνότητας για τη συγκεκριμένη μεταβλητή του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας κυμαίνονται σε ένα μέσο επίπεδο από (2) έως και (4), λαμβάνοντας ως δεδομένο ότι δεν έχει αναφερθεί σε καμία περίπτωση ραγδαία μεταβολή ακτογραμμής. Επιπρόσθετα, η πέμπτη θέση της ιεραρχίας αποδίδεται στη μεταβλητή «Μέσο

Σημαντικό Ύψος Κύματος». Το κυματικό καθεστώς για τις ελληνικές ακτογραμμές είναι σχετικά ήπιο, γεγονός που υπαγορεύει την απόδοση πολύ χαμηλών έως και μέσων τιμών σχετικής επικινδυνότητας στη συγκεκριμένη μεταβλητή. Έτσι, πλήρως αντιπροσωπευτικές είναι οι τιμές (1) έως και (3) για την απόδοση της σχετικής επικινδυνότητας της μεταβλητής (Αλεξανδράκης *et al*, 2009).

Τέλος, την έκτη και τελευταία θέση της ιεραρχίας καταλαμβάνει η μεταβλητή «Σχετική Μεταβολή της Στάθμης της Θάλασσας». Η παρούσα Διπλωματική Εργασία λαμβάνει ως περιοχή ενδιαφέροντος μόνο την ελληνική επικράτεια, συνεπώς ενδιαφέρει άμεσα το θαλάσσιο καθεστώς που επικρατεί στη Μεσόγειο θάλασσα. Για τα δεδομένα της Μεσογείου, η στάθμη της θάλασσας πριν από 18.000 – 21.000 χρόνια περίπου, κατά την τελευταία παγετική περίοδο, κυμαίνεται μεταξύ 120 και 105 μέτρων χαμηλότερα από τη σημερινή μέση στάθμη των υδάτων. Κατά την διάρκεια του Ολοκαίνου ο ρυθμός αύξησης της στάθμης της θάλασσας στη διάρκεια μεταξύ του ψυχρού γεγονότος (8.000 χρόνια πριν) και της θερμής περιόδου (6.000 χρόνια πριν) εκτιμάται ότι ήταν της τάξης των 8.5 mm/έτος στην περιοχή της Εύβοιας (Παπανικολάου *et al*, 2011).

Επιπρόσθετα, στοιχεία από την περιοχή της Θεσσαλονίκης αποδίδουν αύξηση της τάξης των 4 mm/έτος (περίπου 10.000 με 5.000 χρόνια πριν), ενώ τα τελευταία 4.000 χρόνια ο ρυθμός αύξησης της στάθμης των υδάτων κυμαίνεται σταθερά στο 1 mm/έτος. Σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση των μεταβλητών κατά Gornitz και White (1992), μια αντιπροσωπευτική τιμή για τη συγκεκριμένη μεταβλητή του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας είναι η τιμή (3). Συνεπώς, η συγκεκριμένη μεταβλητή κατατάσσεται στην τελευταία θέση της ιεραρχίας, δεδομένου ότι λαμβάνει πάντα μια μόνο σχετική τιμή επικινδυνότητας, σε αντίθεση με τις προηγούμενες που αντιπροσωπεύονται ικανοποιητικά από συγκεκριμένο εύρος τιμών.

- *Εναλλακτική Λύση 3: Ιεράρχηση ανάλογα με τις τάσεις εξέλιξης για τα ελληνικά δεδομένα.*

Η τρίτη και τελευταία εναλλακτική λύση προσεγγίζει το ζητούμενο της ιεράρχησης των μεταβλητών του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας με βάση τις τάσεις εξέλιξης που διαπιστώνονται για τα ελληνικά δεδομένα και την προβολή των σημερινών επιπέδων σχετικής επικινδυνότητας στο άμεσο μέλλον. Έτσι, μια μεταβλητή που εκτιμάται πως μελλοντικά θα καταταχθεί σε υψηλότερη κατηγορία επικινδυνότητας από αυτή που βρίσκεται σήμερα λόγω της ανόδου της στάθμης των υδάτων, συναντάται σε μια από τις υψηλότερες θέσεις της ιεραρχίας. Αντίστοιχα, μια μεταβλητή που εκτιμάται πως μελλοντικά θα παραμείνει στην ίδια κατηγορία επικινδυνότητας σε σχέση με αυτή που βρίσκεται σήμερα, συναντάται

σε μια μέση θέση της ιεραρχίας. Τέλος, εάν διαπιστωθεί πως υπάρχει μια μεταβλητή που εκτιμάται πως μελλοντικά θα καταταχθεί σε χαμηλότερη κατηγορία επικινδυνότητας από αυτή που βρίσκεται σήμερα, αυτή συναντάται σε μια από τις χαμηλότερες θέσεις της ιεραρχίας. Εάν όχι, τότε η τελευταία μεταβλητή στην ιεραρχία ανήκει στην προηγούμενη κατηγορία. Η ιεράρχηση με βάση την *Εναλλακτική Λύση 3* παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα.

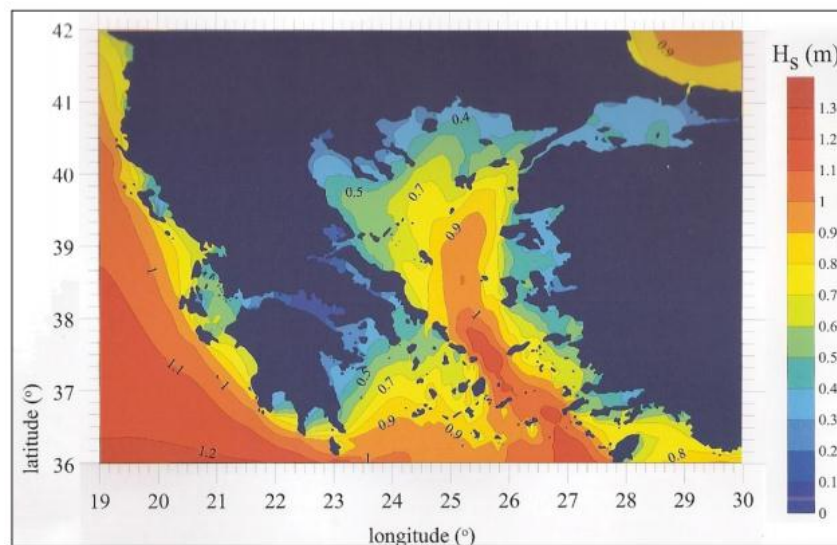
ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΛΥΣΗ 3	
ΘΕΣΗ ΣΤΗΝ ΙΕΡΑΡΧΙΑ	ΟΝΟΜΑ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ
1	ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΤΗΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ
2	ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΚΛΙΣΗ
3	ΓΕΩΛΟΓΙΑ & ΠΑΡΑΚΤΙΕΣ ΓΕΩΜΟΡΦΕΣ
4	ΜΕΣΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ ΥΨΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ
5	ΣΧΕΤΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ
6	ΜΕΣΟ ΠΑΛΙΡΡΟΙΑΚΟ ΕΥΡΟΣ

Πίνακας 3.4: Η ιεράρχηση των μεταβλητών σύμφωνα με την Εναλλακτική Λύση 3.

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης εναλλακτικής λύσης, η μεταβλητή «*Ιστορική Μεταβολή της Ακτογραμμής*» κατατάσσεται στην πρώτη θέση της ιεραρχίας, δεδομένου του ότι ο υπολογισμός της ιστορικής οπισθοχώρησης για μια παράκτια περιοχή αποτελεί βασικό εργαλείο κατανόησης και περιγραφής της τάσης μεταβολής και της συμπεριφοράς της κάθε ακτής. Επιπρόσθετα, σύμφωνα με τα αποτελέσματα μιας παράκτιας μελέτης που έγινε για έναν μεγάλο αριθμό παράκτιων περιοχών της Ελλάδας, προέκυψαν μια σειρά χρήσιμων συμπερασμάτων για τις διαβρωτικές/ προσχωτικές τάσεις που αναπτύσσονται στις ελληνικές ακτές. Ειδικότερα, υπολογίστηκε ένας μέσος ετήσιος ρυθμός μεταβολής της ακτογραμμής λίγο μεγαλύτερος από το $-1,0 \text{ m/yr}$, κάτι που σημαίνει ότι σε γενικές γραμμές οι συγκεκριμένες ακτές της μελέτης παρουσιάζουν τάσεις έντονης διάβρωσης που θα έχει σαν αποτέλεσμα την απώλεια εδαφών, εγκαταστάσεων και περιουσιών που βρίσκονται κοντά στην ακτογραμμή, για ένα χρονικό ορίζοντα πρόβλεψης των 50 ή των 100 χρόνων (Δουκάκης, 2007).

Με δεδομένο το επικείμενο σενάριο έντονης διάβρωσης των ελληνικών ακτογραμμών, είναι λογικό η δεύτερη θέση της ιεραρχίας να αποδοθεί στη μεταβλητή «*Παράκτια Κλίση*», διότι οι

μελλοντικές μεταβολές αυτής διαμορφώνονται άμεσα από το καθεστώς διάβρωσης και πρόσχωσης που επικρατεί στις ελληνικές ακτογραμμές. Στην τρίτη θέση της ιεραρχίας συναντάται η μεταβλητή «Γεωλογία και Παράκτιες Γεωμορφές», η οποία επίσης συνδέεται με τους ρυθμούς διάβρωσης/ πρόσχωσης αλλά σε μικρότερο βαθμό συγκριτικά με την παράκτια κλίση. Η τέταρτη θέση της ιεραρχίας αποδίδεται στη μεταβλητή «Μέσο Σημαντικό Ύψος Κύματος», λόγω της καταγεγραμμένης ήπιας φύσης του κυματικού καθεστώτος για τα ελληνικά δεδομένα.



Εικόνα 3.3: Το κυματικό καθεστώς για τα ελληνικά δεδομένα.

(Πηγή: Χαλκιάς, 2012)

Στις δύο τελευταίες θέσεις της ιεραρχίας κατατάσσονται η «Σχετική Μεταβολή της Στάθμης της Θάλασσας» και το «Μέσο Παλιρροιακό Εύρος», τα οποία σε βάθος χρόνου έχουν μεταβληθεί ελάχιστα και άρα είναι ασφαλές να υποθεθεί πως οι τάσεις μελλοντικής εξέλιξης των εν λόγω μεταβλητών θα ακολουθήσουν το ίδιο μοτίβο. Ειδικότερα, τα τελευταία 4.000 χρόνια ο ρυθμός αύξησης της στάθμης των υδάτων κυμαίνεται σταθερά στο $1 \text{ mm}/\text{έτος}$, ενώ το παλιρροιακό εύρος κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα με τις τιμές που έχουν καταγραφεί κατά το παρελθόν. Λόγω της δυσκολίας σαφούς κατάταξης των δύο αυτών μεταβλητών, η απόδοση των αντίστοιχων θέσεων στην ιεραρχία έγινε με αυθαίρετο τρόπο, δεδομένου ότι πρόκειται για τις τελευταίες θέσεις κατάταξης και άρα οι μεταβλητές που λαμβάνουν τις θέσεις αυτές εκ των πραγμάτων συμβάλλουν σε μικρό βαθμό στο ενδεχόμενο κατάκλυσης μιας παράκτιας ζώνης λόγω ανόδου της στάθμης της θάλασσας.

3.3.3 Κριτήρια αξιολόγησης και σχετική σπουδαιότητα κριτηρίων

Η σύγκριση των *τριών (3)* εναλλακτικών λύσεων που προτάθηκαν παραπάνω, πραγματοποιείται σύμφωνα με ορισμένα κριτήρια αξιολόγησης. Τα κριτήρια αυτά επιλέχθηκαν στη βάση του γενικότερου στόχου και του προβλήματος αξιολόγησης τις παρούσας διαδικασίας, και επιδιώκουν να συμβάλλουν καταλυτικά στο θέμα της επιλογής της βέλτιστης λύσης ιεράρχησης. Τα συγκεκριμένα κριτήρια αξιολόγησης καλύπτουν τις σκοπιές εκείνες από τις οποίες οφείλει να εξεταστεί κάθε εναλλακτική λύση, προκειμένου να ξεκαθαρίσει το τοπίο και να καταστεί σαφές ποια είναι η καταλληλότερη επιλογή. Στη βάση των εναλλακτικών λύσεων που δομήθηκαν και των κριτηρίων αξιολόγησης που τέθηκαν, διαμορφώνεται ο *πίνακας επιπτώσεων* της διαδικασίας αξιολόγησης. Διαμέσου του πίνακα αυτού, παρέχεται μια ξεκάθαρη εικόνα των διαθέσιμων επιλογών και της απόδοσής τους σε σχέση με τα κριτήρια αξιολόγησης και τελικά, σε σχέση με τον σκοπό της εν λόγω διαδικασίας.

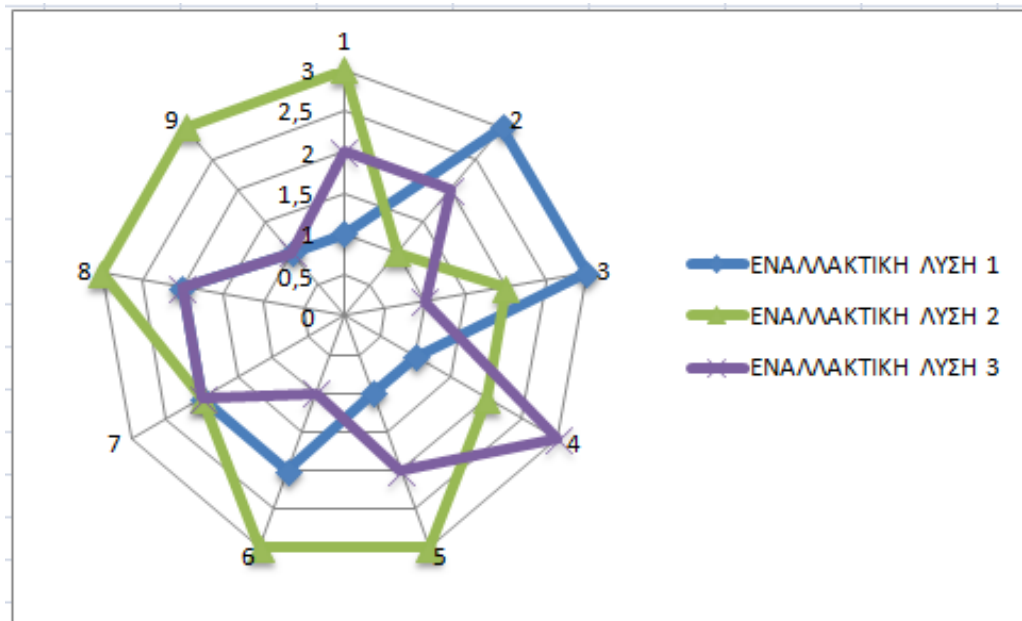
ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ	ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ		
	ΕΛ1	ΕΛ2	ΕΛ3
ΣΤΗΡΙΖΕΤΑΙ ΣΕ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	1	3	2
ΣΤΗΡΙΖΕΤΑΙ ΣΕ ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΗ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗ	3	1	2
ΑΠΟΔΙΔΕΙ ΤΟ ΠΑΡΟΝ	3	2	1
ΑΠΟΔΙΔΕΙ ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ	1	2	3
ΑΠΟΔΙΔΕΙ ΑΜΕΣΑ ΤΟΝ ΒΑΘΜΟ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΜΙΑΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	1	3	2
ΑΠΟΔΙΔΕΙ ΑΜΕΣΑ ΤΗΝ ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	2	3	1
ΕΦΙΚΤΗ Η ΣΑΦΗΣ ΙΕΡΑΡΧΗΣΗ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	2	2	2
ΕΦΙΚΤΗ Η ΣΑΦΗΣ ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΙΕΡΑΡΧΗΣΗΣ	2	3	2
ΛΑΜΒΑΝΕΙ ΥΠΟΨΗ ΤΟΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑ ΤΗΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ	1	3	1

ΚΑΘΟΛΟΥ	ΛΙΓΟ	ΠΟΛΥ
1	2	3

Πίνακας 3.5: Πίνακας επιπτώσεων για εφαρμογή της μεθόδου πολυκριτηριακής ανάλυσης *REGIME*.

Επιπρόσθετα, παρατίθεται το αραχνοειδές διάγραμμα για την *οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων* σε αυτό το βήμα της αξιολόγησης. Οι ακτίνες του διαγράμματος αντιστοιχούν στα κριτήρια που επιλέχθηκαν για την αξιολόγηση των εναλλακτικών λύσεων, με τη σειρά

που αυτά αναγράφονται στον πίνακα επιπτώσεων. Τα ομόκεντρα πολύγωνα αντιστοιχούν στη διαβάθμιση από (0) έως (3) του πίνακα επιπτώσεων. Ωστόσο, δεδομένου του ότι κανένα κριτήριο δεν έλαβε βαθμολογία (0) ή (0,5), οι εν λόγω βαθμολογίες αγνοούνται και η πραγματική διαβάθμιση ξεκινάει από την τιμή (1). Συνεπώς, ανάλογα με το κριτήριο και τη βαθμολογία που έλαβε η εκάστοτε εναλλακτική λύση, επιλέγονται τα αντίστοιχα σημεία. Τα σημεία αυτά ενώνονται για να προκύψει η τελική μορφή του αραχνοειδούς διαγράμματος.



Εικόνα 3.4: Διάγραμμα οπτικοποίησης των αποτελεσμάτων του πίνακα επιπτώσεων.

Η προσεκτικότερη ανάλυση του πίνακα επιπτώσεων και του αραχνοειδούς διαγράμματος, στη βάση του αρχικού προβλήματος αξιολόγησης που έχει τεθεί στα πλαίσια της παρούσας μελέτης, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η εναλλακτική λύση που πιθανότατα ταιριάζει στο προφίλ της βέλτιστης δυνατής επιλογής είναι η *Εναλλακτική Λύση 2*. Ωστόσο, η επιλογή αυτή δεν είναι η τελική. Προκειμένου να ληφθεί η απόφαση σχετικά με την τελική μορφή ιεράρχησης των μεταβλητών του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας, είναι απαραίτητο να προσδιοριστούν τα βάρη ή οι προτεραιότητες για το κάθε κριτήριο αξιολόγησης, και εν συνεχεία να δομηθεί ο αντίστοιχος πίνακας προτεραιοτήτων της διαδικασίας αξιολόγησης.

ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ	ΣΧΕΤΙΚΗ ΣΠΟΥΔΑΙΟΤΗΤΑ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ
ΣΤΗΡΙΖΕΤΑΙ ΣΕ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	3
ΣΤΗΡΙΖΕΤΑΙ ΣΕ ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΗ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗ	3
ΑΠΟΔΙΔΕΙ ΤΟ ΠΑΡΟΝ	1
ΑΠΟΔΙΔΕΙ ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ	4
ΑΠΟΔΙΔΕΙ ΑΜΕΣΑ ΤΟΝ ΒΑΘΜΟ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΜΙΑΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	3
ΑΠΟΔΙΔΕΙ ΑΜΕΣΑ ΤΗΝ ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	2
ΕΦΙΚΤΗ Η ΣΑΦΗΣ ΙΕΡΑΡΧΗΣΗ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	5
ΕΦΙΚΤΗ Η ΣΑΦΗΣ ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΙΕΡΑΡΧΗΣΗΣ	2
ΛΑΜΒΑΝΕΙ ΥΠΟΨΗ ΤΟΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑ ΤΗΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ	5

ΠΟΛΥ ΜΙΚΡΗ	ΜΙΚΡΗ	ΜΕΣΑΙΑ	ΥΨΗΛΗ	ΠΟΛΥ ΥΨΗΛΗ
1	2	3	4	5

Πίνακας 3.6: Πίνακας προτεραιοτήτων για εφαρμογή της μεθόδου πολυκριτηριακής ανάλυσης REGIME.

Σημειώνεται ότι η σχετική σπουδαιότητα των κριτηρίων αξιολόγησης αποδίδεται με αυθαίρετο αλλά λογικό τρόπο, πάντα σε συμφωνία με το αρχικό πρόβλημα αξιολόγησης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η σχετική σπουδαιότητα των κριτηρίων αποδίδεται με αριθμητικά δεδομένα σε μια κλίμακα από το (1) έως το (5), με αυξανόμενη διαβάθμιση.

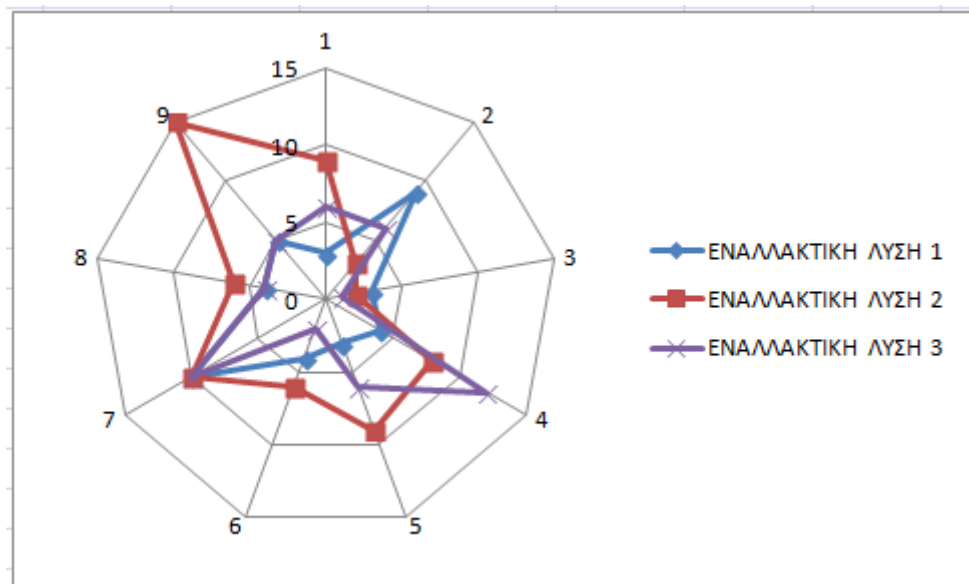
3.4 Τελική επιλογή Ιεράρχησης της Επικινδυνότητας των μεταβλητών

Η σύνθεση του πίνακα επιπτώσεων και του πίνακα προτεραιοτήτων αποδίδει έναν νέο πίνακα που ονομάζεται *πίνακας εκτιμήσεων* και ο οποίος αποτελεί το εργαλείο εκείνο στο οποίο θα βασιστεί η διαδικασία για την τελική επιλογή μίας εκ των προτεινόμενων εναλλακτικών λύσεων. Στην ουσία, για καθένα κριτήριο αξιολόγησης πολλαπλασιάζεται η τιμή απόδοσης της εκάστοτε εναλλακτικής λύσης με τη βαρύτητα του αντίστοιχου κριτηρίου. Τα αποτελέσματα για κάθε εναλλακτική λύση αθροίζονται, ώστε να προκύψει τελικά η συνολική τιμή της απόδοσης της κάθε λύσης στη βάση των κριτηρίων αξιολόγησης που τέθηκαν και του αρχικού προβλήματος αξιολόγησης.

ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ	ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ			ΣΧΕΤΙΚΗ ΣΠΟΥΔΑΙΟΤΗΤΑ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ	ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΗ ΕΠΙΡΡΟΗ		
	ΕΛ1	ΕΛ2	ΕΛ3		ΕΛ1	ΕΛ2	ΕΛ3
ΣΤΗΡΙΖΕΤΑΙ ΣΕ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	1	3	2	3	3	9	6
ΣΤΗΡΙΖΕΤΑΙ ΣΕ ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΗ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗ	3	1	2	3	9	3	6
ΑΠΟΔΙΔΕΙ ΤΟ ΠΑΡΟΝ	3	2	1	1	3	2	1
ΑΠΟΔΙΔΕΙ ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ	1	2	3	4	4	8	12
ΑΠΟΔΙΔΕΙ ΑΜΕΣΑ ΤΟΝ ΒΑΘΜΟ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΜΙΑΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	1	3	2	3	3	9	6
ΑΠΟΔΙΔΕΙ ΑΜΕΣΑ ΤΗΝ ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	2	3	1	2	4	6	2
ΕΦΙΚΤΗ Η ΣΑΦΗΣ ΙΕΡΑΡΧΗΣΗ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	2	2	2	5	10	10	10
ΕΦΙΚΤΗ Η ΣΑΦΗΣ ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΙΕΡΑΡΧΗΣΗΣ	2	3	2	2	4	6	4
ΛΑΜΒΑΝΕΙ ΥΠΟΨΗ ΤΟΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑ ΤΗΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ	1	3	1	5	5	15	5
ΤΕΛΙΚΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΗΣ ΕΠΙΡΡΟΗΣ					45	68	52

Πίνακας 3.7: Πίνακας εκτιμήσεων για εφαρμογή της μεθόδου πολυκριτηριακής ανάλυσης REGIME.

Επιπρόσθετα, παρατίθεται το αραχνοειδές διάγραμμα για την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων του τελικού βήματος της αξιολόγησης.



Εικόνα 3.5: Διάγραμμα οπτικοποίησης των αποτελεσμάτων του πίνακα εκτιμήσεων.

Οι ακτίνες του διαγράμματος αντιστοιχούν στα κριτήρια που επιλέχθηκαν για την αξιολόγηση των εναλλακτικών λύσεων, με τη σειρά που αυτά αναγράφονται στον πίνακα

επιπτώσεων. Τα ομόκεντρα πολύγωνα αντιστοιχούν στις τιμές από (0) έως (15), και πρακτικά ξεκινώντας από την τιμή (1), που λαμβάνει η κάθε εναλλακτική λύση από το συνδυασμό της αρχικής βαθμολογίας ανά κριτήριο αξιολόγησης και της βαρύτητας του αντίστοιχου κριτηρίου, συνεπώς, ανάλογα με το κριτήριο και τη νέα βαθμολογία που έλαβε η εκάστοτε εναλλακτική λύση, επιλέγονται τα αντίστοιχα σημεία. Τα σημεία αυτά ενώνονται για να προκύψει η τελική μορφή του αραχνοειδούς διαγράμματος.

Σύμφωνα με τον πίνακα εκτιμήσεων και το αντίστοιχο αραχνοειδές διάγραμμα, είναι σαφές πως η επικρατέστερη εναλλακτική λύση για την ιεράρχηση των μεταβλητών του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας είναι η Εναλλακτική Λύση 2. Συνεπώς, η τελική μορφή της ιεραρχίας έχει ως εξής:

- I. Μέσο Παλιρροιακό Εύρος.
- II. Γεωλογία & Παράκτιες Γεωμορφές.
- III. Παράκτια Κλίση.
- IV. Ιστορική Μετατόπιση της Ακτογραμμής.
- V. Μέσο Σημαντικό Ύψος Κύματος.
- VI. Σχετική Μεταβολή της Στάθμης της Θάλασσας.

Η σελίδα παραμένει σκόπιμα λευκή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΩΝ

Στα πλαίσια της παρούσας μελέτης για τον Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας γίνεται μια προσπάθεια βελτίωσης του ήδη υπάρχοντος μαθηματικού μοντέλου μέσω των βασικών κατευθύνσεων της επιστήμης της Στατιστικής. Για το σκοπό αυτό, απαιτείται να συλλεχθούν τα απαραίτητα στοιχεία από τις διαθέσιμες πηγές διάθεσης δεδομένων, ώστε να αποδοθούν οι κατάλληλες τιμές σχετικής επικινδυνότητας στις μεταβλητές του δείκτη. Προκειμένου να διασφαλιστεί η απόλυτα πραγματική υπόσταση των αποτελεσμάτων που θα αποδώσει η μέθοδος της μη – γραμμικής παλινδρόμησης, θα πρέπει τα δεδομένα που συλλέγονται να είναι αληθινά. Ωστόσο, δύναται για τις ανάγκες μιας μελέτης παράκτιας επικινδυνότητας σε επίπεδο Διπλωματικής Εργασίας να χρησιμοποιηθούν *συνθετικά δεδομένα*. Υπό την προϋπόθεση ότι τα πλασματικά δεδομένα στηρίζονται σε ρεαλιστικές και πλήρως επιχειρηματολογημένες υποθέσεις, η χρήση πλασματικής δειγματοληψίας και η εξαγωγή τιμών βαρύτητας για τις μεταβλητές του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας είναι αποδεκτή.

Στη βάση του συλλογισμού συλλογής συνθετικών δεδομένων δειγματοληψίας πραγματοποιείται η σύνθεση ενός αριθμού αντιπροσωπευτικών δειγμάτων ακτογραμμών, για τα οποία έχουν γίνει ρεαλιστικές υποθέσεις όσον αφορά στα γεωλογικά χαρακτηριστικά και στο καθεστώς του εγγύτερου θαλάσσιου περιβάλλοντος. Από τα δείγματα αυτά, μόνο ένα περιγράφει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο την πραγματική κατάσταση, και η επιλογή του πραγματοποιείται σε επόμενο κεφάλαιο μέσα από συγκριτική ανάλυση στη βάση ενός στατιστικού κριτηρίου. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η ποικιλία και πολυμορφία των δεδομένων για την εξαγωγή των τιμών βαρύτητας, καθώς επίσης και η ευκολότερη σύνθεση εναλλακτικών προτάσεων όσον αφορά στον μαθηματικό τύπο που θα προταθεί για τον Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας.

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται ειδική παράθεση και περιγραφή των θεωρητικών εκείνων στοιχείων που θα πρέπει να είναι γνωστά σε όποιον επιθυμεί να προβεί σε ανάλυση και επεξεργασία των στοιχείων ενός δείγματος, προκειμένου να λάβει πληροφορίες για τον ευρύτερο πληθυσμό που το δείγμα αυτό αντανακλά. Στη συνέχεια, δομούνται και περιγράφονται αναλυτικά τα προτεινόμενα σενάρια δειγματοληψίας. Το θεωρητικό υπόβαθρο που αναλύεται στο παρόν κεφάλαιο στηρίχθηκε αποκλειστικά σε στοιχεία από τα πρώτα κεφάλαια στατιστικής ανάλυσης του βιβλίου «*Μεθοδολογία Αξιοποίησης των Αποτελεσμάτων της Δειγματοληψίας*» (Μπένος, 1991).

4.1 Το διττό πρόβλημα της δειγματοληψίας

Ένα δείγμα περιέχει μια μικρή συλλογή από κάποιο μεγαλύτερο σύνολο, για το οποίο είναι αναγκαίο να ληφθούν ορισμένες πληροφορίες. Το ευρύτερο αυτό σύνολο καλείται *γεννήτορας* ή *δειγματοληπτούμενος πληθυσμός*. Το δείγμα εξετάζεται προκειμένου να γίνουν γνωστά τα αποτελέσματα του πληθυσμού επί των πληροφοριών που ενδιαφέρουν. Συνεπώς, το πρόβλημα είναι να καταλήξει ο ερευνητής σε σωστά επαγωγικά συμπεράσματα για τον γεννήτορα ή δειγματοληπτούμενο πληθυσμό, έχοντας πάντα υπόψη ότι το δείγμα είναι αυτό που παρατηρείται, αλλά ο πληθυσμός είναι αυτός που στην ουσία ερευνάται προκειμένου να αποκτηθεί συγκεκριμένη γνώση για αυτόν. Ακριβώς αυτό είναι το λεγόμενο *διττό πρόβλημα της δειγματοληψίας*. Ο ερευνητής θα πρέπει να σχεδιάσει σωστά την δειγματοληψία του ώστε το δείγμα να είναι αντιπροσωπευτικό του γεννήτορα πληθυσμού και άρα τα επαγωγικά συμπεράσματα για τον πληθυσμό αυτό να είναι σωστά (Μπένος, 1991).

Ευκολονόητο είναι ότι δεν θα υπήρχε πρόβλημα αν δεν ήταν πάντοτε παρούσα η διαφορετικότητα των επιμέρους μονάδων του πληθυσμού. Εάν όλες οι μονάδες ήταν όμοιες, τότε ένα δείγμα αποτελούμενο από μια μόνο μονάδα θα έδινε «τέλειες» και απόλυτες πληροφορίες για τον δειγματοληπτούμενο πληθυσμό. Στην πραγματικότητα όμως υπάρχει απεριόριστη μεταβλητικότητα ανάμεσα στις επιμέρους μονάδες καθώς και στο περιβάλλον τους. Μια συνέπεια αυτού είναι ότι διαδοχικά δείγματα συνήθως διαφέρουν μεταξύ τους, ορισμένες φορές μάλιστα διαφέρουν κατά πολύ. Επομένως, είναι προφανές ότι τα αποτελέσματα των παρατηρήσεων ενός δείγματος δεν μπορούν να θεωρηθούν αποτελέσματα που αφορούν στον γεννήτορα πληθυσμό. Σκοπός του ερευνητή είναι να καταλήξει σε κατάλληλα συμπεράσματα για τον υπό μελέτη πληθυσμό, παρά για τη μεταβλητικότητα του δείγματος (Μπένος, 1991).

Κατά τη διαδικασία αυτή δεν θα πρέπει να παραλείπεται το γεγονός ότι δεν περιέχει κάθε δείγμα τις πληροφορίες που αναζητώνται για τον δειγματοληπτούμενο πληθυσμό. Το παραπάνω πρόκειται να γίνει περισσότερο κατανοητό με τη χρήση ενός σχετικού παραδείγματος. Έστω ότι ένας συνεντευκτής ερευνά τις απόψεις της κοινής γνώμης σε σχέση με τις επερχόμενες εκλογές, και για το σκοπό αυτό επιλέγει να ερωτήσει μόνο οικογένειες μεταξύ των φίλων του, για λόγους ευκολίας. Το δείγμα αυτό, όπως είναι ευνόητο, δεν είναι δυνατόν να αντιπροσωπεύει τη γνώμη του ερευνώμενου πληθυσμού. Το γεγονός αυτό συνθέτει το πρόβλημα της κατάλληλης εκλογής του δείγματος ώστε οι πληροφορίες που συλλέγονται να καλύπτουν πλήρως τις ανάγκες της εκάστοτε έρευνας ή μελέτης.

4.2 Εισαγωγή στην Κανονική κατανομή

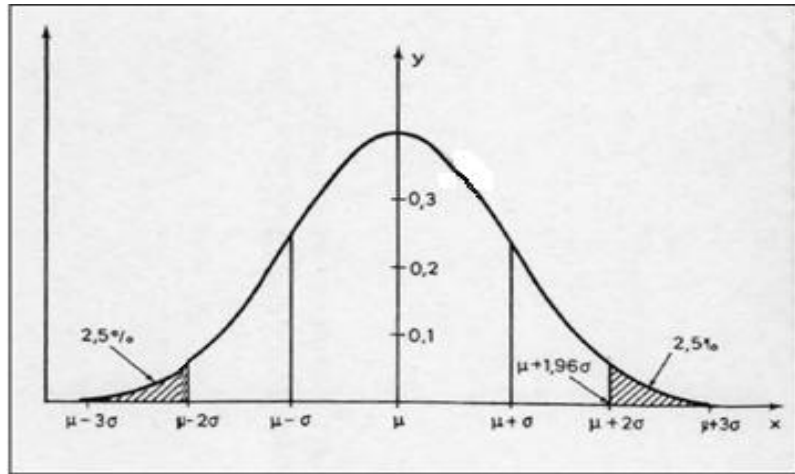
Ένα τυχαίο δείγμα μεγέθους « n » που έχει ληφθεί από ένα συγκεκριμένο πληθυσμό δύναται να αποτελείται από διακριτά στοιχεία, τα οποία αποτελούν τις τιμές της ανεξάρτητης μεταβλητής του μοντέλου. Τα τυχαία δείγματα αυτού του είδους συγκροτούν μια *Διωνυμική κατανομή*, ενώ η μεταβλητή θεωρείται ασυνεχής. Στην αντίθετη περίπτωση, ένα τυχαίο δείγμα αποτελείται από μετρήσεις που αφορούν σε χαρακτηριστικές ιδιότητες του πληθυσμού ο οποίος εξετάζεται. Οι ιδιότητες αυτές περιγράφονται από μεταβλητές που θεωρούνται συνεχείς και όπως είναι γνωστό κατανέμονται με πολλούς τρόπους, ένας εκ των οποίων είναι η *Κανονική κατανομή*. Παρακάτω περιγράφονται οι βασικές αρχές της κανονικής κατανομής, καθώς και όλα εκείνα τα στοιχεία που θα πρέπει να είναι γνωστά εκ προοιμίου για τη σωστή διαχείριση των δεδομένων ενός δείγματος με συνεχείς τιμές μεταβλητών.

4.2.1 Στοιχεία της Κανονικής κατανομής

Η κανονική κατανομή προσδιορίζεται πλήρως με δύο μόνο παραμέτρους. Πρόκειται για τον μέσο μ , που καθορίζει το κέντρο της κατανομής, καθώς επίσης και την *τυπική απόκλιση* σ , που μετρά τη μεταβολή των επιμέρους μετρήσεων. Ένα τυχαίο δείγμα μεγέθους « n » τα στοιχεία του οποίου κατανέμονται ικανοποιητικά με την καμπύλη της κανονικής κατανομής, είναι δυνατό να έχει οποιοδήποτε μέσο μ και *τυπική απόκλιση* σ , τα οποία όμως διαφέρουν από τον μέσο μ και την *τυπική απόκλιση* σ του γεννήτορα πληθυσμού, τα οποία στην πλειοψηφία των περιπτώσεων δεν είναι γνωστά. Στα πλαίσια της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, στο εξής ο μέσος του δείγματος θα συμβολίζεται \bar{X} , η τυπική απόκλιση του δείγματος s , όπου $s = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$, ο μέσος του αντίστοιχου πληθυσμού θα συμβολίζεται μ και τέλος, η τυπική απόκλιση του πληθυσμού σ . Στην περίπτωση που για ένα δείγμα ή πληθυσμό που εξετάζεται, ισχύει ότι ο μέσος είναι ίσος με μηδέν και η τυπική απόκλιση ίση με τη μονάδα, τότε γίνεται λόγος για *τυποποιημένη μεταβλητή* Z . Ο τύπος που αποδίδει την τεταγμένη της κανονικής καμπύλης είναι ο ακόλουθος:

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(x-\mu)/2\sigma^2}$$

όπου η ποσότητα $e = 2,7183$ είναι η βάση των νεπερείων λογαρίθμων και φυσικά $\pi = 3,1416$. Η μορφή που λαμβάνει το διάγραμμα της κανονικής κατανομής παρουσιάζεται στο ακόλουθο σχήμα (Σχήμα 4.1).

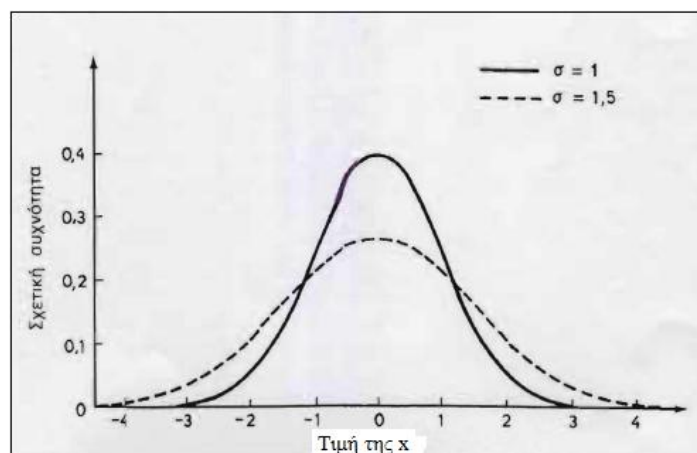


Εικόνα 4.1: Κανονική κατανομή με μέσο μ και τυπική απόκλιση σ .

Το γραμμο σκιασμένο τμήμα περιέχει το 5% του συνόλου.

(Πηγή: Μπένος, 1991)

Από το σχήμα είναι εμφανές ότι μέσα σε μια τυπική απόκλιση εκατέρωθεν του μέσου η συχνότητα μειώνεται συνεχώς με περισσότερη ταχύτητα, αλλά πέραν αυτού του σημείου πλέον η συχνότητα μειώνεται με ένα συνεχώς μικρότερο ρυθμό. Ειδικότερα, στα σημεία $\mu \pm 3 \cdot \sigma$ οι ποσοστιαίες συχνότητες γίνονται αμελητέες ποσότητες. Θεωρητικά, η συχνότητα ουδέποτε εξαφανίζεται ολοκληρωτικά, αντιθέτως προσεγγίζει το μηδέν καθώς η τιμή της μεταβλητής X αυξάνει και τείνει στο άπειρο. Η συγκέντρωση των μετρήσεων κοντά στον μέσο μ διαπιστώνεται από το γεγονός ότι πάνω από τα 2/3 των παρατηρήσεων βρίσκονται στο διάστημα $\mu \pm \sigma$, ενώ περίπου το 95% από αυτές βρίσκονται στο $\mu \pm 2 \cdot \sigma$. Εκτός του διαστήματος $\mu \pm 3 \cdot \sigma$ βρίσκεται μόνο το 0.26% της συνολικής συχνότητας.



Εικόνα 4.2: Η συνεχόμενη καμπύλη παρουσιάζει την κανονική κατανομή με $\mu=0$ και $\sigma=1$.

Η διακεκομμένη καμπύλη παρουσιάζει την κανονική κατανομή με $\mu=0$ και $\sigma=1,5$.

(Πηγή: Μπένος, 1991)

Η επεξήγηση του ρόλου της τυπικής αποκλίσεως σ στον καθορισμό του σχήματος της καμπύλης της κανονικής κατανομής, επιτυγχάνεται με τις δύο καμπύλες του Σχήματος 4.2. Η συνεχόμενη καμπύλη έχει $\mu = 0$ και $\sigma = 1$, ενώ η διακεκομμένη καμπύλη έχει $\mu = 0$ και $\sigma = 1,5$. Η καμπύλη με τη μεγαλύτερη τυπική απόκλιση είναι χαμηλότερη στον μέσο και περισσότερο ανοικτή προς τα έξω. Οι τιμές της X που βρίσκονται μακριά από τον μέσο παρουσιάζουν μεγαλύτερη συχνότητα με $\sigma = 1,5$ παρά με $\sigma = 1$. Με άλλα λόγια, ο πληθυσμός είναι περισσότερο μεταβλητός με $\sigma = 1,5$. Μια καμπύλη με $\sigma = 0,5$ θα έχει στον μέσο ένα ύψος περίπου 0,80 και πέραν της τιμής $X = 1,5$ μόλις και μετά βίας κάποια συχνότητα. Αντίθετα, το αποτέλεσμα της αλλαγής του μέσου μ είναι η μετατόπιση της καμπύλης χωρίς μεταβολή του σχήματός της. Μια καμπύλη κανονικής κατανομής με $\mu = 2$ και $\sigma = 1$, λαμβάνεται με μετακίνηση της καμπύλης σε νέα θέση με κέντρο την τιμή $X = 2$, χωρίς βέβαια οποιαδήποτε άλλη αλλαγή στο σχήμα της. Το γεγονός αυτό εξηγεί γιατί ο μέσος ονομάζεται παράμετρος θέσεως.

4.2.2 Κεντρικό Οριακό Θεώρημα

Ένα σημαντικό αποτέλεσμα της στατιστικής θεωρίας είναι ότι, οποιοδήποτε και αν είναι το σχήμα της κατανομής συχνοτήτων του γεννήτορα πληθυσμού, η κατανομή συχνοτήτων του δειγματικού μέσου \bar{X} σε επαναλαμβανόμενα τυχαία δείγματα μεγέθους « n » τείνει να γίνει κανονική καθώς το « n » αυξάνει. Συγκεκριμένα, προκειμένου να μετατραπεί μια τυχαία μεταβλητή X σε τυποποιημένη μεταβλητή Z , ώστε ο μέσος της να είναι ίσος με μηδέν και η τυπική της απόκλιση ίση με τη μονάδα, χρησιμοποιείται η ισότητα $Z = \frac{(X - \mu)}{\sigma}$. Στην περίπτωση του δείγματος ενός πληθυσμού, η αντίστοιχη έκφραση σε τυποποιημένη μεταβλητή είναι:

$$K = \frac{(X - \bar{X})}{s} = \frac{(X - \bar{X})}{\sigma / \sqrt{n}}$$

Καθώς η τιμή του « n » αυξάνει, η πιθανότητα ότι η K βρίσκεται μεταξύ δύο οποιωνδήποτε ορίων L_1 και L_2 γίνεται ολοένα και περισσότερο ίση με την πιθανότητα που η τυποποιημένη κανονική μεταβλητή Z βρίσκεται μεταξύ των ορίων L_1 και L_2 . Αυτό το αποτέλεσμα, γνωστό σαν «Κεντρικό Οριακό Θεώρημα» ερμηνεύει γιατί η κανονική κατανομή κατά κανόνα χρησιμοποιείται στην περίπτωση του δειγματικού μέσου, ακόμη και όταν ο γεννήτορας πληθυσμός δεν είναι κανονικός. Εκτός από την προϋπόθεση της τυχαίας δειγματοληψίας, το

θεώρημα απαιτεί να πληρούνται πολύ λίγες υποθέσεις. Συγκεκριμένα, είναι επαρκές ότι η πληθυσμιακή τυπική απόκλιση σ είναι πεπερασμένος αριθμός και ότι το δείγμα είναι τυχαίο.

4.2.3 Εκτιμητές παραμέτρων και Διαστήματα εμπιστοσύνης

Ο όρος «Διαστημική Εκτίμηση» αναφέρεται στην εκτίμηση μιας παραμέτρου με ένα τυχαίο διάστημα, που ονομάζεται διάστημα εμπιστοσύνης, του οποίου τα ακραία σημεία L_1 και L_2 , με $L_1 < L_2$, είναι συναρτήσεις των τυχαίων μεταβλητών του δείγματος, τέτοιες ώστε με πιθανότητα $(1-\alpha)$ να ισχύει:

$$P[L_1 < \Theta < L_2] = 1 - \alpha$$

Δεδομένου του ότι γίνεται αναφορά σε ένα συγκεκριμένο δείγμα, η παραπάνω σχέση μπορεί να διατυπωθεί ως εξής:

$$P[|X - \bar{X}| < \kappa \cdot s] = 1 - \alpha$$

Όπου s είναι η τυπική απόκλιση του δείγματος ή αλλιώς το τυπικό σφάλμα της εκτιμήσεως \bar{X} , η ποσότητα $(1-\alpha)$ είναι ο συντελεστής εμπιστοσύνης και τέλος, ο παράγοντας κ είναι ο πολλαπλασιαστής εμπιστοσύνης που αντιστοιχεί στην πιθανότητα $(1-\alpha)$. Η ανισότητα στην ανωτέρω έκφρασή της μπορεί να γραφεί ως εξής:

$$\begin{aligned} |X - \bar{X}| < \kappa \cdot s &\Leftrightarrow -\kappa \cdot s < X - \bar{X} < +\kappa \cdot s \\ &\Rightarrow \bar{X} - \kappa \cdot s < X < \bar{X} + \kappa \cdot s \end{aligned}$$

Το αποτέλεσμα αυτό εκφράζει τη γενική μορφή ενός διαστήματος εμπιστοσύνης για την εκτίμηση της παραμέτρου X , όπου:

$$\bar{X} - \kappa \cdot s = L_1, \text{ το κατώτατο όριο εμπιστοσύνης, και}$$

$$\bar{X} + \kappa \cdot s = L_2, \text{ το ανώτατο όριο εμπιστοσύνης.}$$

Όταν ο γεννήτορας πληθυσμός είναι κανονικός και άρα έχει εφαρμογή το *Κεντρικό Οριακό Θεώρημα*, η κατανομή δειγματοληψίας του εκτιμητή \bar{X} είναι κανονική. Οι περισσότερο χρησιμοποιούμενοι συντελεστές εμπιστοσύνης $(1-\alpha)$ και οι αντίστοιχοι πολλαπλασιαστές εμπιστοσύνης κ για την κανονική κατανομή δίνονται κατωτέρω:

$1-\alpha$	κ
0,9000	1,64
0,9500	1,96
0,9545	2,00
0,9800	2,33
0,9900	2,58

Πίνακας 4.1: Οι συντελεστές εμπιστοσύνης ($1-\alpha$) και οι αντίστοιχοι πολλαπλασιαστές εμπιστοσύνης κ .

Στην περίπτωση κατά την οποία, για τα δεδομένα του προβλήματος που εξετάζεται αποφασισθεί ότι η ποσότητα ($1-\alpha$), ή αλλιώς το διάστημα εμπιστοσύνης είναι ίσο με 0,95, τότε:

$$P[\bar{X} - \kappa \cdot s < X < \bar{X} + \kappa \cdot s] = 0,95$$

Με άλλα λόγια, η πιθανότητα για την τιμή της παραμέτρου X να βρίσκεται εντός των ορίων εμπιστοσύνης είναι 95%. Το διάστημα εμπιστοσύνης παρέχει μια πιθανότητα ($1-\alpha$) με την οποία η άγνωστη παράμετρος που εκτιμάται θα βρίσκεται μέσα στο διάστημα με όρια L_1 και L_2 . Στην πράξη, εάν καθοριστεί ένα διάστημα εμπιστοσύνης για να εκτιμηθεί η τιμή της άγνωστης παραμέτρου, μπορεί η υπό εκτίμηση παράμετρος να περιέχεται ή όχι μέσα στο διάστημα αυτό. Ωστόσο, η πιθανότητα η τιμή της παραμέτρου να μην περιλαμβάνεται εντός των προκαθορισμένων ορίων είναι ίση με (α). Είναι σαφές πως, όσο μεγαλύτερο το διάστημα εμπιστοσύνης, τόσο μικρότερη η πιθανότητα η τιμή της άγνωστης παραμέτρου να μην περιλαμβάνεται στο διάστημα αυτό.

Στην εκτίμηση δια διαστήματος εμπιστοσύνης φυσικό είναι να επιδιώκεται να υπάρχει ένα μικρότερο παρά ένα μεγαλύτερο τυχαίο διάστημα διότι ο περιορισμός του πλάτους του διαστήματος εμπιστοσύνης αυξάνει την ακρίβεια της εκτίμησης της τιμής της μεταβλητής. Πάντως, πρέπει να σημειωθεί ότι το πραγματικό πλάτος του διαστήματος εμπιστοσύνης καθορίζεται από τον συντελεστή εμπιστοσύνης και το μέγεθος του δείγματος. Δεδομένου του μεγέθους του δείγματος « n », συνεπώς και της τυπικής του απόκλισης s , ο περιορισμός του πλάτους του διαστήματος εμπιστοσύνης επιτυγχάνεται με μείωση του συντελεστή εμπιστοσύνης ($1-\alpha$). Εάν επιθυμούμε ένα δεδομένο πλάτος του διαστήματος εμπιστοσύνης και ένα δεδομένο συντελεστή εμπιστοσύνης, το μέγεθος του δείγματος « n » πρέπει να αυξηθεί ώστε το τυπικό σφάλμα s να μειωθεί.

4.2.4 Λόγοι για την επιλογή της κανονικής κατανομής

Η κανονική κατανομή έχει επικρατήσει στην στατιστική πρακτική καθώς και στην θεωρία, παρά το γεγονός ότι δεν μπορεί να περιγράψει έναν οποιοδήποτε πραγματικό πληθυσμό. Οι κυριότεροι λόγοι που συμβαίνει αυτό, είναι οι εξής:

- Η ευκολία στη χρήση της κανονικής κατανομής. Η κανονική κατανομή έχει εκτεταμένα και με ακρίβεια πινακοποιηθεί.
- Οι κατανομές μερικών μεταβλητών είναι προσεγγιστικά κανονικές.
- Σε μετρήσεις των οποίων οι κατανομές δεν είναι κανονικές, ένας απλός μετασχηματισμός της κλίμακας των μετρήσεων μπορεί να επιφέρει, προσεγγιστικά, κανονικότητα. Η τετραγωνική ρίζα \sqrt{X} και ο λογάριθμος $\log X$, είναι μετασχηματισμοί που συνήθως χρησιμοποιούνται.
- Ακόμη και αν η κατανομή του γεννήτορα πληθυσμού απέχει πολύ από την κανονική, η κατανομή των δειγματικών μέσων τείνει να γίνει κανονική, κάτω από μια ευρεία ποικιλία προϋποθέσεων, καθώς το μέγεθος του δείγματος αυξάνει. Αυτός είναι ίσως και ο σπουδαιότερος λόγος για την χρησιμοποίηση της κανονικής κατανομής.

4.3 Επιλογή μεγέθους του δείγματος

Η ερώτηση: «Ποιο θα πρέπει να είναι το μέγεθος του δείγματος ώστε να αντανακλώνται με ικανοποιητικό τρόπο σε αυτό τα χαρακτηριστικά του πληθυσμού;» διατυπώνεται συνήθως από τους ερευνητές στα πλαίσια ενός προβλήματος που απαιτεί δειγματοληψία. Η παραπάνω ερώτηση δεν είναι εύκολο να απαντηθεί. Ωστόσο, εάν ο σκοπός του ερευνητή είναι να εκτιμήσει τον μέσο ενός πληθυσμού από τα αποτελέσματα του δείγματος, τότε υπάρχει μια συγκεκριμένη συλλογιστική πορεία που ο ερευνητής μπορεί να ακολουθήσει.

Αρχικά, ο ερευνητής πρέπει να καθορίσει πόσο ακριβής επιθυμεί να είναι η δειγματική εκτίμηση. Στην προσπάθειά του να απαντήσει αυτή την ερώτηση, πρέπει να λάβει υπόψη τους σκοπούς για τους οποίους η εκτίμηση θα χρησιμοποιηθεί, καθώς επίσης και την ενδεχόμενη σοβαρότητα των συνεπειών που θα έχουν τα σφάλματα στην εκτίμηση. Συνεπώς, ο ερευνητής καθορίζει ότι θα ήθελε η εκτίμησή του να είναι σωστή μέσα σε κάποια όρια, για παράδειγμα $\pm L$. Επειδή η κανονική καμπύλη εκτείνεται από το $-\infty$ έως το $+\infty$, δεν υπάρχουν εγγυήσεις ότι ο δειγματικός μέσος \bar{X} μετά βεβαιότητας θα βρίσκεται μεταξύ των ορίων $\bar{X} - L$ και $\bar{X} + L$. Δύναται, ωστόσο, να καθοριστεί η πιθανότητα με την οποία ο

δειγματικός μέσος \bar{X} θα βρίσκεται μεταξύ αυτών των ορίων, όσο μεγάλη και αν είναι επιθυμητό να είναι αυτή.

Στην πράξη, η πιθανότητα συνήθως είναι 95% ή 99%. Για πιθανότητα 95%, είναι γνωστό ότι υπάρχει μια πιθανότητα 95% ο δειγματικός μέσος \bar{X} να βρίσκεται μεταξύ των ορίων $\mu - 1,96 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ και $\mu + 1,96 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$. Συνεπώς:

$$P\left[|\bar{X} - \mu| < L\right] = 0,95 \Rightarrow P\left[|\bar{X} - \mu| < 1,96 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right] = 0,95$$

οπότε, προκύπτει η εξίσωση:

$$1,96 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = L$$

η οποία λύνεται ως προς το μέγεθος του δείγματος « n ». Η εξίσωση απαιτεί να είναι γνωστή η πληθυσμιακή διακύμανση σ^2 , και το δείγμα δεν έχει ακόμη ληφθεί. Από προηγούμενη έρευνα επί του εξεταζόμενου πληθυσμού ή επί ομοιογενών πληθυσμών, ο ερευνητής μπορεί να αποκτήσει ενδείξεις για το ύψος της διακυμάνσεως σ^2 . Επειδή η εκτίμηση που στηρίζεται σε τέτοιες ενδείξεις είναι πιθανόν να περιέχει κάποιο σφάλμα, συνήθως αντικαθίσταται η τιμή 1,96 με την τιμή 2, οπότε για πιθανότητα 95% προκύπτει ο τύπος:

$$n = \frac{4\sigma^2}{L^2}$$

Αντίστοιχα, ο τύπος για πιθανότητα 99% είναι:

$$n = \frac{6,6 \cdot \sigma^2}{L^2}$$

Συνοπτικά, ο ερευνητής πρέπει να προκαθορίσει:

- i. ένα ανώτερο όριο L της ποσότητας του σφάλματος που μπορεί να ανεχθεί στην εκτίμηση.
- ii. την επιθυμητή πιθανότητα με την οποία η εκτίμηση θα βρίσκεται μέσα σε αυτό το όριο του σφάλματος, και
- iii. μια εκ των προτέρων εκτίμηση της πληθυσμιακής διακυμάνσεως σ^2 .

Στη συγκεκριμένη περίπτωση μελέτης για την παράκτια επικινδυνότητα, οι έξι (6) βασικές μεταβλητές που λαμβάνονται υπόψη στον υπολογισμό του δείκτη αποδίδουν μια συγκεκριμένη τιμή για τον Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας. Ο γεννήτορας πληθυσμός είναι όλες οι ακτογραμμές της ελληνικής επικράτειας και το δείγμα είναι ένα μικρό σύνολο αντιπροσωπευτικών ακτογραμμών. Η δειγματοληψία ακτογραμμών πραγματοποιείται με το σκεπτικό ότι ενδιαφέρουν άμεσα οι τιμές που αποδίδονται στον δείκτη κατόπιν χρήσης του παλιού και του νέου τυπολογίου, συνεπώς ενδιαφέρει άμεσα και η κατανομή που οι τιμές αυτές ακολουθούν. Με άλλα λόγια, θα πρέπει να γίνει σαφές το γεγονός πως η δειγματοληψία για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης αφορά στη συγκέντρωση των τιμών που λαμβάνει ο Δείκτης Παράκτιας Επικινδυνότητας για τις επιλεγμένες ακτογραμμές και όχι στις τιμές σχετικής επικινδυνότητας που λαμβάνουν οι οι έξι (6) βασικές μεταβλητές που χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό των τιμών του δείκτη.

Με βάση τα παραπάνω, προσδιορίζονται οι προϋποθέσεις και τελικά ο αριθμός των ακτογραμμών που πρέπει να περιλαμβάνει ένα δείγμα για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης για την παράκτια επικινδυνότητα. Δεδομένων των σκοπών για τους οποίους θα χρησιμοποιηθεί η εκτίμηση που πρόκειται να γίνει για το φαινόμενο της κατάκλισης παράκτιων ζωνών από ενδεχόμενη άνοδο της στάθμης των υδάτων, το ανώτερο όριο της ποσότητας του σφάλματος που επιλέγεται να είναι ανεκτό στην εκτίμηση της μεταβλητής που περιγράφει τις τιμές του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας, είναι ίσο με 0,6000 για διάστημα εμπιστοσύνης ίσο με 95%. Τελικά, με χρήση του αντίστοιχου τύπου προκύπτει ότι το μέγεθος του δείγματος για το συγκεκριμένο πρόβλημα δειγματοληψίας θα είναι ίσο με έντεκα (11) ακτογραμμές.

4.4 Εναλλακτικά σενάρια δειγματοληψίας

Η μελέτη για την απόδοση τιμών βαρύτητας στις μεταβλητές του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας διατρέχει ορισμένα στάδια έως ότου να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα. Το στάδιο της επιλογής κατάλληλου δείγματος για την αποτελεσματική περιγραφή του γεννήτορα πληθυσμού και την αξιόπιστη εξαγωγή αποτελεσμάτων με τη μέθοδο της μη – γραμμικής παλινδρόμησης, αποτελεί ίσως το σημαντικότερο στάδιο της όλης διαδικασίας. Το παράγωγο της δειγματοληψίας για τη συγκεκριμένη μελέτη, αλλά και γενικά για μια μελέτη που ευελπιστεί να περιγράψει ικανοποιητικά ένα φυσικό φαινόμενο, είναι η βάση στην οποία στηρίζεται όλη η έρευνα που πραγματοποιείται για το εξεταζόμενο ζήτημα. Συνεπώς, αστοχία στον αξιόπιστο και έγκυρο προσδιορισμό του δείγματος ενός γεννήτορα πληθυσμού συνεπάγεται άμεση αστοχία του παράγωγου νέου μαθηματικού μοντέλου.

Όπως τονίστηκε σε αρκετά σημεία νωρίτερα, τα δεδομένα που αξιοποιούνται στα πλαίσια της παρούσας μελέτης για τον προσδιορισμό των ζητούμενων τιμών βαρύτητας είναι *συνθετικά*, δηλαδή πλασματικά δεδομένα ακτογραμμών που όμως στηρίζονται σε ρεαλιστικές υποθέσεις. Το γεγονός αυτό δίνει την ευχέρεια της κατάλληλης σύνθεσης του δείγματος, ώστε να περιέχονται όλες οι πιθανές περιπτώσεις ακτογραμμών που ενδεχομένως συναντούνται στην ελληνική επικράτεια. Ωστόσο, στην περίπτωση των συνθετικών δεδομένων πάντα ελοχεύει ο κίνδυνος της λανθασμένης εκτίμησης εκ μέρους του ερευνητή. Για το σκοπό αυτό, είναι επιθυμητή η σύνθεση περισσότερων του ενός εναλλακτικών δειγμάτων, προκειμένου να διενεργηθεί συγκριτική επεξεργασία των αποτελεσμάτων της ανάλυσης παλινδρόμησης και τελική επιλογή της καταλληλότερης εκ των προτεινόμενων εναλλακτικών.

Στα πλαίσια του παρόντος πονήματος έχει ληφθεί ως δεδομένο ότι ο όρος «*ακτογραμμή*» περιγράφει το ίχνος της Μέσης Στάθμης της Θάλασσας (ΜΣΘ) σε μια παραλία, ενώ ο όρος «*ακτή*» αναφέρεται στη γενικότερη παράλια ζώνη που εξετάζεται κάθε φορά. Δεδομένου του ότι η ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος που πρόκειται να μελετηθεί εκτείνεται σε όλη την παράκτια ελληνική επικράτεια, και άρα το νέο μαθηματικό τυπολόγιο που επιχειρείται να εξαχθεί από την μελέτη αυτή θα πρέπει να έχει εφαρμογή σε όλη τη χώρα, θεωρήθηκε εσφαλμένη μια ενδεχόμενη δειγματοληψία ακτών που ανήκουν σε μια μόνο παράκτια περιοχή της Ελλάδας. Στην περίπτωση αυτή, η εφαρμογή του νέου μαθηματικού τύπου μπορεί να δικαιολογηθεί *μόνο για τη συγκεκριμένη παράκτια περιοχή* και όχι για το σύνολο των παράκτιων περιοχών της χώρας.

Με βάση τα παραπάνω, στα πλαίσια της παρούσας εργασίας έχει θεωρηθεί πως τα συνθετικά στοιχεία του κάθε δείγματος έχουν «*συλλεχθεί*» από διαφορετικές παράκτιες περιοχές της χώρας. Ειδικότερα, καθεμία υποθετική ελληνική ακτή έχει διαμεριστεί σε επιμέρους διατομές κάθετες στην ακτογραμμή σε διαστήματα 20 ή 50 μέτρων συνήθως, ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες που παρουσιάζει η κάθε ακτογραμμή. Από τις διατομές αυτές έχει επιλεγεί για κάθε δείγμα ένα κομμάτι συγκεκριμένου μήκους της εκάστοτε υποθετικής περιοχής, κατά μήκος της ακτογραμμής, που είναι αντιπροσωπευτικό των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών όλης της παρακτιας περιοχής. Για παράδειγμα, σε μια παράκτια περιοχή που αποτελείται κατά 80% από βραχώδες έδαφος και κατά 20% από λεπτόκοκκα υλικά, είναι προφανές πως περισσότερο επιθυμητές για δειγματοληψία είναι οι διατομές εκείνες που αποδίδουν με τρόπο προσεγγιστικό τη σχετική αναλογία βραχώδους και αμμώδους εδάφους της εν λόγω παράκτιας περιοχής.

Η κάθε διατομή που κρίνεται κατάλληλη για δειγματοληψία αντανακλά μια μόνο ελληνική παράκτια ζώνη και αποτελεί τη μια από τις έντεκα (11) ακτές που διαθέτει καθένα από τα δείγματα. Καμία υποθετική ακτή δεν συναντάται δεύτερη φορά σε διαφορετικό δείγμα, για λόγους μελέτης της επικινδυνότητας σε κάθε πιθανή περίπτωση ελληνικών ακτογραμμών. Ταυτόχρονα, καμία από τις υποθετικές ακτογραμμές δεν είναι προσδιορισμένη ονομαστικά, αν και αποδίδουν τα χαρακτηριστικά υπαρκτών ελληνικών ακτογραμμών, διότι στην περίπτωση αυτή θα έπρεπε να είχαν χρησιμοποιηθεί πραγματικά και όχι υποθετικά δεδομένα. Ωστόσο, το χαρακτηριστικό της ανωνυμίας των υποθετικών ακτογραμμών σε καμία περίπτωση δεν αναιρεί τη ρεαλιστικότητα των υποθέσεων για τα χαρακτηριστικά των παράκτιων περιοχών, ούτε κλονίζει τη συμφωνία των υποθέσεων αυτών με τα σύγχρονα ελληνικά δεδομένα.

Όπως περιγράφηκε νωρίτερα, το κάθε δείγμα αποτελείται από ένα σύνολο έντεκα (11) ακτογραμμών με διαφοροποιούμενα χαρακτηριστικά. Η σύνθεση των δειγμάτων για τις ελληνικές ακτογραμμές πραγματοποιείται στη βάση συγκεκριμένου συλλογισμού, προκειμένου να περιγραφεί η πραγματική κατάσταση με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη συνέπεια. Ειδικότερα, το πρώτο σενάριο δειγματοληψίας στηρίζεται στην *ιεράρχηση των μεταβλητών* του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας, όπως αυτή παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Το δεύτερο σενάριο δειγματοληψίας παρουσιάζει μια ευρύτερη εκδοχή της παραπάνω ιεράρχησης, όσον αφορά στην απόδοση σχετικών τιμών επικινδυνότητας στις εν λόγω μεταβλητές. Τέλος, το τρίτο και τελευταίο σενάριο δειγματοληψίας επικεντρώνεται στην πιθανότητα να αυξηθεί η τιμή σχετικής επικινδυνότητας της παραμέτρου «*Σχετική Μεταβολή της Στάθμης της Θάλασσας*», πάντα σε σχέση με την τιμή που λαμβάνει επί του παρόντος. Τα εν λόγω προτεινόμενα εναλλακτικά σενάρια δειγματοληψίας διατυπώνονται και αναλύονται παρακάτω.

➤ *Δείγμα Ακτογραμμών 1: Σύνθεση με βάση την ιεράρχηση των μεταβλητών.*

Σε προηγούμενο κεφάλαιο, οι μεταβλητές του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας κατατάχθηκαν σε συγκεκριμένες θέσεις ιεραρχίας, με βάση τη σπουδαιότητα του κάθε παράγοντα για τα ελληνικά δεδομένα, από άποψη συμμετοχής στο ενδεχόμενο κατακλυσμού μιας παράκτιας ζώνης λόγω ανόδου της στάθμης των υδάτων. Ειδικότερα, στην πρώτη θέση της ιεραρχίας συναντάται το «*Μέσο Παλιρροιακό Εύρος*» και ακολουθούν η «*Γεωλογία & Παράκτιες Γεωμορφές*» και η «*Παράκτια Κλίση*». Η τέταρτη θέση της ιεραρχίας αποδίδεται στη μεταβλητή «*Ιστορική Μετατόπιση της Ακτογραμμής*», την επόμενη θέση καταλαμβάνει το «*Μέσο Σημαντικό Ύψος Κύματος*» και τέλος, από άποψη σχετικής επικινδυνότητας λιγότερο σημαντικός για τα ελληνικά δεδομένα θεωρείται ο παράγοντας «*Σχετική Μεταβολή της*

Στάθμης της Θάλασσας». Η διαδικασία της ιεράρχησης στηρίχθηκε σε δεδομένα που συλλέχθηκαν από έγκυρες βιβλιογραφικές πηγές, ενώ η συγκεκριμένη εναλλακτική πρόταση για την τελική ιεραρχία των μεταβλητών του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας αξιολογήθηκε και κρίθηκε περισσότερο συμβατή με την πραγματικότητα.

Σύμφωνα με τις βιβλιογραφικές αναφορές, η παλιρροιακή διακύμανση των υδάτων για τα ελληνικά δεδομένα διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα, γεγονός που υποδεικνύει την υψηλή τιμή της σχετικής επικινδυνότητας που λαμβάνει η συγκεκριμένη μεταβλητή. Έτσι, η μεταβλητή «Μέσο Παλιρροιακό Εύρος» λαμβάνει πάντα την τιμή (5) για όλες τις ακτογραμμές της Μεσογείου θάλασσας. Αντίθετα, η μεταβλητή «Γεωλογία & Παράκτιες Γεωμορφές» και η «Παράκτια Κλίση» αποτελούν δύο παράγοντες του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας που για τα ελληνικά δεδομένα δύναται να λάβουν οποιαδήποτε τιμή από το εύρος τιμών σχετικής επικινδυνότητας, λόγω της πολυμορφίας των ελληνικών ακτών. Συνεπώς, οι δύο αυτές μεταβλητές λαμβάνουν τιμές σχετικής επικινδυνότητας από (1) έως και (5).

Η μεταβλητή «Ιστορική Μετατόπιση της Ακτογραμμής» οφείλει τη μεταβλητικότητά της στις φυσικές διεργασίες της διάβρωσης και πρόσχωσης που επιδρούν σε όλες τις παράκτιες ζώνες. Δεδομένου του ότι δεν έχει αναφερθεί σε καμία περίπτωση ραγδαία μεταβολή ακτογραμμής οφειλόμενη στις παραπάνω διαδικασίες, είναι ασφαλές να θεωρηθεί ότι οι σχετικές τιμές επικινδυνότητας για τη συγκεκριμένη μεταβλητή του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας κυμαίνονται σε ένα μέσο επίπεδο από (2) έως και (4). Αντίστοιχα, το κυματικό καθεστώς για τις ελληνικές ακτογραμμές είναι σχετικά ήπιο, γεγονός που αντανακλάται πλήρως στις σχετικές τιμές επικινδυνότητας από (1) έως και (3) για τη μεταβλητή «Μέσο Σημαντικό Ύψος Κύματος». Τέλος, η μεταβλητή «Σχετική Μεταβολή της Στάθμης της Θάλασσας» λαμβάνει πάντα την τιμή σχετικής επικινδυνότητας (3), η οποία εφαρμόζεται ικανοποιητικά στην ελληνική πραγματικότητα.

Με βάση όλα τα παραπάνω πραγματοποιείται η σύνθεση του Δείγματος Ακτογραμμών Ι. Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει τον κωδικό της κάθε ακτογραμμής, τις μεταβλητές του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας και τις αντίστοιχες τιμές σχετικής επικινδυνότητας. Το δείγμα αποτελείται από ένα σύνολο έντεκα (11) υποθετικών ακτογραμμών, τα χαρακτηριστικά των οποίων ποικίλλουν προκειμένου να υπάρχει ολοκληρωμένη κάλυψη της πραγματικής κατάστασης και άρα μεγαλύτερη αξιοπιστία στα αποτελέσματα της ανάλυσης παλινδρόμησης.

ΔΕΙΓΜΑ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΩΝ 1							
ΚΩΔΙΚΟΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ/ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ ΔΕΙΚΤΗ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ	ΜΕΣΟ ΠΑΛΙΡΡΟΙΑΚΟ ΕΥΡΟΣ	ΓΕΩΛΟΓΙΑ & ΠΑΡΑΚΤΙΕΣ ΓΕΩΜΟΡΦΕΣ	ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΚΛΙΣΗ	ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΤΗΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ	ΜΕΣΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ ΥΨΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ	ΣΧΕΤΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ	OLD.CVI
ΑΚΤΗ 1.1	5	1	5	2	1	3	5,00
ΑΚΤΗ 1.2	5	1	1	2	1	3	2,24
ΑΚΤΗ 1.3	5	5	4	3	1	3	12,25
ΑΚΤΗ 1.4	5	2	4	3	2	3	10,95
ΑΚΤΗ 1.5	5	3	4	4	2	3	15,49
ΑΚΤΗ 1.6	5	3	3	4	3	3	16,43
ΑΚΤΗ 1.7	5	4	3	4	3	3	18,97
ΑΚΤΗ 1.8	5	3	2	3	2	3	9,49
ΑΚΤΗ 1.9	5	5	2	3	2	3	12,25
ΑΚΤΗ 1.10	5	5	2	2	1	3	7,07
ΑΚΤΗ 1.11	5	5	1	2	1	3	5,00

Πίνακας 4.2: Οι τιμές σχετικής επικινδυνότητας που λαμβάνει το Δείγμα Ακτογραμμών 1.

Όπως περιγράφηκε παραπάνω, οι τιμές σχετικής επικινδυνότητας για το «Μέσο Παλιρροιακό Εύρος» και τη «Σχετική Μεταβολή της Στάθμης της Θάλασσας» είναι σταθερές και ίσες με (5) και (3) αντίστοιχα, με εφαρμογή σε όλες τις υποθετικές ακτογραμμές. Οι τιμές των υπόλοιπων μεταβλητών του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας ποικίλλουν, πάντα μέσα στο εκάστοτε εύρος τιμών.

➤ *Δείγμα Ακτογραμμών 2: Ευρύτερη εκδοχή του σεναρίου ιεράρχησης.*

Σύμφωνα με την πρώτη απόπειρα δειγματοληψίας, η υπόθεση που έγινε στην ουσία στηρίχθηκε αποκλειστικά στις βιβλιογραφικές αναφορές που είχαν συλλεχθεί προκειμένου να δομηθεί η σειρά ιεραρχίας που τελικά επιλέχθηκε. Με βάση τις αναφορές αυτές, τα σχετικά δεδομένα για τον προσδιορισμό της τιμής σχετικής επικινδυνότητας της μεταβλητής «Ιστορική Μετατόπιση της Ακτογραμμής» δεν είναι συνεχή, ικανοποιητικά και ακριβή, ενώ συχνά υπάρχει περιορισμένη διαθεσιμότητα. Συνεπώς, στα πλαίσια μιας θεωρητικής δειγματοληψίας είναι ασφαλές να υποθεθεί ότι υπάρχει έστω και ένα σενάριο που να υπαγορεύει ότι το εύρος τιμών σχετικής επικινδυνότητας για τη συγκεκριμένη μεταβλητή του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας μπορεί να διευρυνθεί από (1) έως και (5), συγκριτικά με το αρχικό εύρος τιμών που κυμαινόταν από (2) έως και (4).

Αντίστοιχη είναι διεύρυνση του εύρους τιμών για τις τιμές σχετικής επικινδυνότητας που δύναται να λάβει η μεταβλητή «Μέσο Σημαντικό Ύψος Κύματος». Το κυματικό καθεστώς για τις ελληνικές ακτογραμμές είναι σχετικά ήπιο, ωστόσο δεν θα πρέπει να αποκλειστεί η πιθανότητα μιας τοπικής κυματικής έξαρσης με πηγή δημιουργίας μια ηφαιστειακή έκρηξη ή ένα ωστικό κύμα λόγω ισχυρής έκρηξης στη στεριά. Οι πιθανότητες να συμβεί ένα τέτοιο γεγονός εντός της Μεσογείου θάλασσας είναι λίγες, ωστόσο πρόκειται για απρόβλεπτες

καταστάσεις που κρίνεται αναγκαίο να ληφθούν σοβαρά υπόψη. Συνεπώς, επιλέγεται στο συγκεκριμένο δείγμα ακτογραμμών και στη συγκεκριμένη μεταβλητή να αποδοθούν τιμές σχετικής επικινδυνότητας που κυμαίνονται από (1) έως και (5), συγκριτικά με το αρχικό εύρος τιμών που κυμαινόταν από (1) έως και (3).

Με βάση όλα τα παραπάνω πραγματοποιείται η σύνθεση του *Δείγματος Ακτογραμμών 2*. Το εύρος τιμών μεταβλήθηκε μόνο για τις μεταβλητές που αναλύθηκαν παραπάνω, ενώ σε ότι αφορά στις υπόλοιπες μεταβλητές του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας οι τιμές σχετικής επικινδυνότητας που επιλέχθηκαν είναι διαφορετικές σε σύγκριση με τις αντίστοιχες τιμές του πρώτου δείγματος. Το γεγονός ότι η δεύτερη δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε από την αρχή εξασφαλίζει ότι το δεύτερο δείγμα δεν αποτελεί ένα πιστό αντίγραφο του πρώτου, αντίθετα αποτελεί ένα νέο δείγμα με μοναδικά χαρακτηριστικά. Ο ακόλουθος πίνακας παρουσιάζει τον κωδικό της κάθε ακτογραμμής, τις μεταβλητές του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας και τις αντίστοιχες τιμές σχετικής επικινδυνότητας.

ΔΕΙΓΜΑ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΩΝ 2							
ΚΩΔΙΚΟΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ/ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΔΕΙΚΤΗ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ	ΜΕΣΟ ΠΑΛΙΡΡΟΙΑΚΟ ΕΥΡΟΣ	ΓΕΩΛΟΓΙΑ & ΠΑΡΑΚΤΙΕΣ ΓΕΩΜΟΡΦΕΣ	ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΚΛΙΣΗ	ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΤΗΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ	ΜΕΣΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ ΥΨΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ	ΣΧΕΤΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ	OLD.CVI
ΑΚΤΗ 2.1	5	1	2	4	3	3	7,75
ΑΚΤΗ 2.2	5	2	3	1	3	3	6,71
ΑΚΤΗ 2.3	5	3	1	3	2	3	6,71
ΑΚΤΗ 2.4	5	5	1	5	5	3	17,68
ΑΚΤΗ 2.5	5	5	5	5	5	3	39,53
ΑΚΤΗ 2.6	5	1	1	1	1	3	1,58
ΑΚΤΗ 2.7	5	2	3	1	3	3	6,71
ΑΚΤΗ 2.8	5	4	1	3	2	3	7,75
ΑΚΤΗ 2.9	5	5	1	4	5	3	15,81
ΑΚΤΗ 2.10	5	3	5	2	4	3	17,32
ΑΚΤΗ 2.11	5	2	1	4	1	3	4,47

Πίνακας 4.3: Οι τιμές σχετικής επικινδυνότητας που λαμβάνει το Δείγμα Ακτογραμμών 2.

Το δείγμα αποτελείται από ένα σύνολο έντεκα (11) υποθετικών ακτογραμμών, ακριβώς όπως και το πρώτο δείγμα ακτογραμμών. Η λεπτομέρεια αυτή είναι σημαντική, καθώς προκειμένου να συγκριθούν τα αποτελέσματα που θα αποδώσει η μέθοδος της παλινδρόμησης, τα διαφορετικά δείγματα θα πρέπει να είναι ισάριθμα. Κατά τη σύνθεση του δεύτερου δείγματος ακτογραμμών δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στο να μη συμπεριληφθούν δύο ακτογραμμές με ακριβώς τα ίδια χαρακτηριστικά, έτσι ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή μεταβλητικότητα του εν λόγω δείγματος.

➤ *Δείγμα Ακτογραμμών 3: Πιθανό σενάριο αύξησης της σχετικής μεταβολής της ΜΣΘ.*

Η πρώτη, καθώς και η δεύτερη προσπάθεια δειγματοληψίας διατηρήσαν ως δεδομένο το γεγονός ότι οι μεταβλητές του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας «*Μέσο Παλιρροιακό Εύρος*» και «*Σχετική Μεταβολή της Στάθμης της Θάλασσας*» λαμβάνουν σε κάθε περίπτωση τις σταθερές τιμές σχετικής επικινδυνότητας (5) και (3) αντίστοιχα για τις παράλιες ζώνες που συνορεύουν με τη Μεσόγειο θάλασσα. Από τις μεταβλητές αυτές, το εύρος παλίρροιας για τα ελληνικά πραγματικά δεδομένα είναι άμεσα προβλέψιμο και έτσι η τιμή σχετικής επικινδυνότητας που λαμβάνει θεωρείται πάντα σταθερή και αμετάβλητη σε κάθε υπόθεση που γίνεται για τη σύνθεση δειγμάτων ακτογραμμών. Εν τούτοις, δεν ισχύει το ίδιο για τον τρόπο που μεταβάλλεται η στάθμη των υδάτων.

Σύμφωνα με τους Παπανικολάου *et al* (2011), από το τέλος του 19^{ου} / αρχές του 20^{ου} αιώνα μέχρι και σήμερα, ενόργανες μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί με τις σύγχρονες τεχνολογίες της από κοινού λήψης δεδομένων από παλιρροιογράφους και μεθόδους δορυφορικής αλτιμετρίας, καταδεικνύουν σαφή αύξηση της παγκόσμιας στάθμης των υδάτων με ένα ρυθμό της τάξης των 1.8 mm/έτος. Αντίστοιχα, δορυφορικές μετρήσεις των τελευταίων 15 χρόνων καταδεικνύουν αύξηση του παγκόσμιου ρυθμού στα 3 mm/έτος, ενώ σήμερα, ο ίδιος ρυθμός αύξησης της θαλάσσιας στάθμης εκτιμάται πως κυμαίνεται σταθερά στο 1 mm/έτος.

Δεδομένου του ότι η Μεσόγειος αποτελεί μια μεγάλη κλειστή θάλασσα της οποίας η μοναδική σύνδεση με τον ανοικτό ωκεανό είναι ο πορθμός του Γιβραλτάρ, η ανακατανομή των θαλασσίων μαζών σε όλη την έκτασή της γίνεται με πολύ αργούς ρυθμούς και έτσι, αύξηση της παγκόσμιας στάθμης των υδάτων σε καμία περίπτωση δε συνεπάγεται άμεση αύξηση της στάθμης της Μεσογείου θάλασσας. Αν και στην πραγματικότητα οι πιθανότητες να μεταβληθεί αισθητά η τιμή της μεταβλητής «*Σχετική Μεταβολή της Στάθμης της Θάλασσας*» για τη Μεσόγειο σε βραχυχρόνιο, ακόμα και μακροχρόνιο ορίζοντα είναι ελάχιστες, ωστόσο είναι δυνατόν να υπάρξει έστω και ένα σενάριο δειγματοληψίας στο οποίο η εν λόγω μεταβλητή να λαμβάνει τιμές σχετικής επικινδυνότητας στο εύρος τιμών ξεκινώντας από (3) έως και (4).

Έτσι, η τρίτη προσπάθεια δειγματοληψίας βασίζεται σε ακριβώς σε αυτή την υπόθεση. Για τις ανάγκες της σύνθεσης μιας ολοκληρωμένης εικόνας της πραγματικής κατάστασης του ελληνικού θαλάσσιου περιβάλλοντος νοείται ένα σενάριο δειγματοληψίας στο οποίο δύναται να μεταβληθεί η τιμή σχετικής επικινδυνότητας της μεταβλητής της στάθμης των υδάτων. Αντίθετα, η τιμή που λαμβάνει η μεταβλητή της παλιρροιακής διακύμανσης παραμένει

σταθερή. Όσον αφορά στις υπόλοιπες μεταβλητές, το τρίτο δείγμα αποτελεί μια σύνθεση των άλλων δύο προσπαθειών δειγματοληψίας. Ειδικότερα, οι μεταβλητές της γεωλογίας και της παράκτιας κλίσης λαμβάνουν τις ίδιες τιμές όπως και στο δεύτερο δείγμα, με εύρος τιμών από (1) έως και (5). Αντίστοιχα, οι μεταβλητές τη ιστορικής μετατόπισης της ακτογραμμής και του σημαντικού ύψους κύματος λαμβάνουν τις ίδιες τιμές όπως και στο πρώτο δείγμα, με εύρος τιμών από (2) έως και (4) και από (1) έως και (3) αντίστοιχα.

Με βάση όλα τα παραπάνω πραγματοποιείται η σύνθεση του Δείγματος Ακτογραμμών 3. Ο ακόλουθος πίνακας παρουσιάζει τον κωδικό της κάθε ακτογραμμής, τις μεταβλητές του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας και τις αντίστοιχες τιμές σχετικής επικινδυνότητας.

ΔΕΙΓΜΑ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΩΝ 3							
ΚΩΔΙΚΟΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ/ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΔΕΙΚΤΗ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ	ΜΕΣΟ ΠΑΛΙΡΡΟΙΑΚΟ ΕΥΡΟΣ	ΓΕΩΛΟΓΙΑ & ΠΑΡΑΚΤΙΕΣ ΓΕΩΜΟΡΦΕΣ	ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΚΛΙΣΗ	ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΤΗΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ	ΜΕΣΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ ΥΨΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ	ΣΧΕΤΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ	OLD.CVI
ΑΚΤΗ 3.1	5	1	2	2	1	4	3,65
ΑΚΤΗ 3.2	5	2	3	2	1	3	5,48
ΑΚΤΗ 3.3	5	3	1	3	1	4	5,48
ΑΚΤΗ 3.4	5	5	1	3	2	3	8,66
ΑΚΤΗ 3.5	5	5	5	4	2	4	25,82
ΑΚΤΗ 3.6	5	1	1	4	3	3	5,48
ΑΚΤΗ 3.7	5	2	3	4	3	3	13,42
ΑΚΤΗ 3.8	5	4	1	3	2	4	8,94
ΑΚΤΗ 3.9	5	5	1	3	2	4	10,00
ΑΚΤΗ 3.10	5	3	5	2	1	3	8,66
ΑΚΤΗ 3.11	5	2	1	2	1	4	3,65

Πίνακας 4.4: Οι τιμές σχετικής επικινδυνότητας που λαμβάνει το Δείγμα Ακτογραμμών 3.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση δειγματοληψίας το δείγμα ομοίως αποτελείται από ένα σύνολο έντεκα (11) υποθετικών ακτογραμμών, σε αντιστοιχία με τα υπόλοιπα δύο δείγματα. Τέλος, ένας προσεκτικός έλεγχος των χαρακτηριστικών των υποθετικών ακτογραμμών επιβεβαιώνει το γεγονός ότι δεν έχουν συμπεριληφθεί στο ίδιο δείγμα δύο ακτογραμμές με τα ίδια χαρακτηριστικά.

Η σελίδα παραμένει σκόπιμα λευκή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΥ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΕΡΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ

Στο προηγούμενο κεφάλαιο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας πραγματοποιήθηκε η αναλυτική περιγραφή των εναλλακτικών σεναρίων δειγματοληψίας ακτογραμμών για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης για τη βελτίωση του μοντέλου του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας. Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο πραγματοποιείται η επιλογή του καταλληλότερου από τα εν λόγω σενάρια, και ταυτόχρονα η χρήση του επιλεγμένου σεναρίου δειγματοληψίας για την εξαγωγή του νέου, βελτιωμένου μαθηματικού τυπολογίου του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας. Οι ειδικές τιμές βαρύτητας των μεταβλητών που συμπεριλαμβάνονται στον προσδιορισμό της επικινδυνότητας των ακτογραμμών για τα ελληνικά δεδομένα αποδίδονται με χρήση της μεθόδου της *παλινδρόμησης*, και ειδικότερα της *πολλαπλής, μη – γραμμικής παλινδρόμησης*. Η εφαρμογή της μεθόδου υπαγορεύει την τροποποίηση του αρχικού μαθηματικού τυπολογίου του *Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας*, προκειμένου να είναι δυνατό να εφαρμοστεί η έννοια του διαφορετικού βάρους στις μεταβλητές του δείκτη. Η απόδοση των τιμών βαρύτητας έγινε με χρήση μιας συγκεκριμένης εντολής που περιλαμβάνεται στο πακέτο εντολών του προγραμματιστικού περιβάλλοντος *Excel*.

5.1 Η έννοια της παλινδρόμησης

Προκειμένου να μελετηθεί ο μηχανισμός ενός φαινομένου, φυσικού ή μη, θα πρέπει αρχικά να προσδιοριστούν οι μεταβλητές εκείνες ποσότητες που το επηρεάζουν και επιδρούν με ορισμένο τρόπο στην έκβαση αυτού. Στη συνέχεια, χρειάζεται να αναζητηθεί εκείνη η μαθηματική σχέση, η οποία συνδέει τους εν λόγω παράγοντες με την ποσότητα ή τις ποσότητες που χαρακτηρίζουν την έκβαση του φαινομένου και ταυτόχρονα περιγράφει ικανοποιητικά το υπό μελέτη φαινόμενο. Για το σκοπό αυτό, συνήθως γίνεται η υπόθεση ότι υπάρχει ένα είδος μαθηματικής σχέσης που ισχύει μεταξύ των θεωρούμενων μεταβλητών κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις. Η μαθηματική αυτή σχέση μαζί με τις προϋποθέσεις αποτελούν το μαθηματικό υπόδειγμα ή το μαθηματικό μοντέλο που θεωρείται ότι περιγράφει το μηχανισμό του φαινομένου που εξετάζεται (*Καφφές, 1991*).

Εν συνεχεία, εφαρμόζονται μαθηματικές μεθόδους προκειμένου να προσδιοριστούν οι παράμετροι του υποδείγματος, αλλά και να ελεγχθεί εάν το μαθηματικό υπόδειγμα περιγράφει ικανοποιητικά το φαινόμενο που εξετάζεται. Αν το μαθηματικό υπόδειγμα κριθεί ότι περιγράφει ικανοποιητικά το φαινόμενο, τότε δύναται να χρησιμοποιηθεί για προβλέψεις σχετικές με το φαινόμενο αυτό. Η απλούστερη περίπτωση πειράματος είναι εκείνη, στην

οποία υπάρχει μια ποσότητα Y επηρεαζόμενη από μια δεύτερη ποσότητα X , της οποίας οι τιμές μπορούν κατά παραδοχή να καθορίζονται χωρίς αισθητό σφάλμα, πράγμα που δεν συμβαίνει για την Y , η οποία είναι τυχαία μεταβλητή. Ο κλάδος της επιστήμης της Στατιστικής που εξετάζει τη σχέση μεταξύ δύο ή περισσότερων μεταβλητών με απώτερο σκοπό την πρόβλεψη μιας από αυτές μέσω των άλλων, χαρακτηρίζεται με την ονομασία *ανάλυση παλινδρόμησης*. Υπό αυτό το πρίσμα, η μεταβλητή Y καλείται εξαρτημένη ενώ η μεταβλητή X καλείται ανεξάρτητη (Μάτης, 2004).

Συνεπώς, είναι δυνατόν να θεωρηθεί με ασφάλεια ότι:

$$Y = f(X) + \varepsilon \quad (4.1)$$

όπου ε είναι τυχαία μεταβλητή που επιδρά στη διαμόρφωση των τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής Y , έχει μέση τιμή μηδέν και εκφράζει κυρίως την επίδραση τυχαίων, μη ελεγχόμενων παραγόντων στην εξαρτημένη μεταβλητή. Γενικά, η $f(X)$ είναι μια οποιαδήποτε πραγματική συνάρτηση της μεταβλητής X , στον τύπο της οποίας εμφανίζονται κάποιες παράμετροι, δηλαδή ποσότητες σταθερές αλλά άγνωστες. Η $f(X)$ μπορεί να έχει τις εξής μορφές:

- I. $f(X) = \alpha + \beta \cdot X$
- II. $f(X) = \beta_0 + \beta_1 \cdot X + \beta_2 \cdot X^2 + \dots + \beta_k \cdot X^k$
- III. $f(X) = a \cdot e^{-\beta \cdot X}$

Η εξίσωση (4.1) κάτω από την υπόθεση ότι η μέση τιμή της μεταβλητής είναι μηδέν, γράφεται ισοδύναμα:

$$E(Y/X) = f(X)$$

όπου $E(Y/X)$ συμβολίζει τη δεσμευμένη μέση τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής, όταν δίνεται η τιμή της ανεξάρτητης μεταβλητής. Η εξίσωση $E(Y/X) = f(X)$ ονομάζεται *εξίσωση παλινδρομήσεως* της Y πάνω στη X και στο επίπεδο παριστάνει μια γραμμή, την οποία ονομάζουμε *γραμμή παλινδρομήσεως* της Y πάνω στη X . Εάν η $f(X)$ είναι γραμμική συνάρτηση, τότε η γραμμή παλινδρομήσεως είναι μια ευθεία, η οποία καλείται *ευθεία παλινδρομήσεως* της Y πάνω στη X . Αντίθετα, αν η $f(X)$ είναι μη γραμμική συνάρτηση,

τότε η γραμμή παλινδρομήσεως είναι μια παραβολή, που καλείται *παραβολή παλινδρομήσεως* της Y πάνω στη X (Καφφές, 1991).

5.2 Η μέθοδος της πολλαπλής, μη – γραμμικής παλινδρόμησης

Μια γενικότερη μορφή περάματος είναι εκείνη στην οποία οι τιμές της πραγματικής τυχαίας μεταβλητής Y εξαρτώνται από τις τιμές των k πραγματικών μεταβλητών X_1, X_2, \dots, X_i , των οποίων οι τιμές μπορούν να καθορίζονται χωρίς αισθητό σφάλμα. Πιο συγκεκριμένα, σε κάθε σύνολο τιμών i των X_1, X_2, \dots, X_i υπάρχει αντιστοίχιση με μια μόνο τιμή της τυχαίας μεταβλητής Y .

Στην περίπτωση αυτή, θεωρείται ότι ισχύει:

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_i) + \varepsilon \quad (4.2)$$

όπου ε είναι τυχαία μεταβλητή με μέση τιμή μηδέν και η οποία εκφράζει κυρίως την επίδραση τυχαίων παραγόντων στη διαμόρφωση των τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής. Η $f(X)$ είναι μια οποιαδήποτε πραγματική συνάρτηση των μεταβλητών X_1, X_2, \dots, X_i , στον τύπο της οποίας δύνανται να εμφανίζονται ορισμένες παράμετροι.

Η εξίσωση (4.2) κάτω από την υπόθεση ότι η μέση τιμή της μεταβλητής ε είναι μηδέν, γράφεται ισοδύναμα:

$$\begin{aligned} Y &= f(X_1, X_2, \dots, X_i) = \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2 + \dots + \beta_i \cdot X_i \Rightarrow \\ &\Rightarrow E(Y / X_1, X_2, \dots, X_i) = f(X_1, X_2, \dots, X_i) \end{aligned}$$

όπου το $E(Y / X_1, X_2, \dots, X_i)$ συμβολίζει τη δεσμευμένη μέση τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής Y , όταν δίνονται οι τιμές των ανεξάρτητων μεταβλητών X_1, X_2, \dots, X_i . Η εξίσωση αυτή ονομάζεται *εξίσωση παλινδρομήσεως* της Y πάνω στις μεταβλητές X_1, X_2, \dots, X_i . Για $i = 2$ παριστά μια επιφάνεια ενώ για $i > 2$, i φυσικό αριθμό, παριστά μια υπερεπιφάνεια (Καφφές, 1991).

5.3 Προγραμματιστικό περιβάλλον *Excel*

Στα πλαίσια της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, είναι γνωστό πως ο μαθηματικός τύπος που πρόκειται να προταθεί για τον εκ νέου υπολογισμό του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας θα έχει τη μορφή:

$$Y = f(X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6)$$

όπου Y η εξαρτημένη μεταβλητή και $X_i (i=1-6)$ οι ανεξάρτητες μεταβλητές. Με άλλα λόγια, η εξαρτημένη μεταβλητή Y αποδίδεται στον Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας, ενώ οι ανεξάρτητες μεταβλητές $X_i (i=1-6)$ αποδίδονται στις παραμέτρους υπολογισμού του δείκτη, δηλαδή στις γεωλογικές μεταβλητές και τις μεταβλητές των φυσικών διεργασιών. Ο εν λόγω τύπος προκύπτει από ανάλυση παλινδρόμησης, και συγκεκριμένα μη – γραμμικής παλινδρόμησης, καθότι η αρχικώς δοσμένη σχέση που συνδέει τον Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας με τις επιμέρους έξι (6) βασικές μεταβλητές δεν είναι γραμμική:

$$CVI = \sqrt{\frac{a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot e \cdot f}{6}}$$

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ
<i>CVI</i>	ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ
<i>a</i>	ΓΕΩΛΟΓΙΑ & ΠΑΡΑΚΤΙΕΣ ΓΕΩΜΟΡΦΕΣ
<i>b</i>	ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΚΛΙΣΗ
<i>c</i>	ΣΧΕΤΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ
<i>d</i>	ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ
<i>e</i>	ΜΕΣΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ ΥΨΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ
<i>f</i>	ΜΕΣΟ ΠΑΛΙΡΡΟΙΑΚΟ ΕΥΡΟΣ

Πίνακας 5.1: Η αντιστοιχία συμβολισμού και ονομασίας μεταβλητής για το μοντέλο του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας.

Ο προσδιορισμός των παραμέτρων της εξίσωσης μη – γραμμικής παλινδρόμησης που θα αποτελέσει τη μορφή του τελικά προτεινόμενου μαθηματικού τύπου του μοντέλου παράκτιας επικινδυνότητας, γίνεται με χρήση υπολογιστικού πακέτου *Excel*. Ειδικότερα, χρησιμοποιείται η συνάρτηση *LOGEST*, που αποτελεί μέρος της λίστας των διαθέσιμων εντολών του υπολογιστικού πακέτου.

5.3.1 Η συνάρτηση LOGEST

Στην ανάλυση παλινδρόμησης, η συνάρτηση *LOGEST* υπολογίζει τα απαραίτητα στοιχεία που συνθέτουν μια εκθετική καμπύλη. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται ένα κριτήριο ελαχίστων τετραγώνων και η συγκεκριμένη συνάρτηση εντοπίζει την καλύτερη προσαρμογή των δεδομένων του προβλήματος υπό το πρίσμα αυτού του κριτηρίου. Η εντολή που υποβάλλεται στο πρόγραμμα έχει την ακόλουθη μορφή:

$$\text{LOGEST}(\text{known_y's}, \text{known_x's}, \text{TRUE}, \text{TRUE})$$

όπου *known_y's* είναι η στήλη που περιέχει τις τιμές της εξαρτημένης μεταβλητής Y , *known_x's* είναι η στήλη που περιέχει τις τιμές των ανεξάρτητων μεταβλητών X_i και τα ορίσματα *TRUE* αποδίδουν αληθή τιμή στην ερώτηση της εντολής σχετικά με την εμφάνιση ή απόκρυψη της τιμής του σταθερού όρου και των στατιστικών στοιχείων της ανάλυσης παλινδρόμησης αντίστοιχα. Η εξίσωση της εκθετικής καμπύλης που προκύπτει έχει τη μορφή:

$$Y = b \cdot (m_1^{x_1}) \cdot (m_2^{x_2}) \cdot (m_3^{x_3}) \cdot (m_4^{x_4}) \cdot (m_5^{x_5}) \cdot (m_6^{x_6}) \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \ln Y = X_1 \cdot \ln m_1 + X_2 \cdot \ln m_2 + X_3 \cdot \ln m_3 + X_4 \cdot \ln m_4 + X_5 \cdot \ln m_5 + X_6 \cdot \ln m_6 + \ln b$$

όπου οι συντελεστές $m_i (i = 1 - 6)$ αποτελούν τις βάσεις των δυνάμεων των παραγόντων που λαμβάνονται υπόψη στον υπολογισμό του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας, ενώ ο συντελεστής b αποτελεί τον σταθερό όρο της εξίσωσης. Η εφαρμογή της συνάρτησης *LOGEST* σε υπολογιστικό φύλλο *Excel* αποδίδει έναν πίνακα τιμών με συγκεκριμένα στοιχεία που περιγράφουν την καμπύλη. Η ακόλουθη απεικόνιση παρουσιάζει τη σειρά με την οποία αποδίδονται τα στατιστικά στοιχεία της παλινδρόμησης, ενώ η επεξήγησή τους παρατίθεται ακολούθως.

	A	B	C	D	E	F
1	m_n	m_{n-1}	...	m_2	m_1	b
2	se_n	se_{n-1}	...	se_2	se_1	se_b
3	r^2	se_y				
4	F	d_f				
5	ss_{reg}	ss_{resid}				

Πίνακας 5.2: Πίνακας τιμών με τα στοιχεία παλινδρόμησης.

(Πηγή: Ιστότοπος Microsoft)

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΤΙΜΗ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
se_i	Οι τυπικές τιμές σφάλματος για τους συντελεστές των παραγόντων του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας και τον σταθερό όρο.
r_2	Ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 .
se_Y	Το τυπικό σφάλμα εκτίμησης της τιμής του Y.
F	Η στατιστική τιμή F.
d_F	Οι βαθμοί ελευθερίας του μοντέλου.
SS_{reg}	Το παλινδρομικό άθροισμα των τετραγώνων.
SS_{resid}	Το υπολειπόμενο άθροισμα των τετραγώνων.

Πίνακας 5.3: Επεξήγηση των στοιχείων παλινδρόμησης.

(Πηγή: Ιστότοπος Microsoft)

Ιδιαίτερος είναι ο ρόλος της τιμής που θα λάβει σε κάθε περίπτωση ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 . Όσο πιο κοντά βρίσκεται η τιμή του συντελεστή στη μονάδα, τόσο μικρότερη η διαφορά ανάμεσα στην υπολογισμένη τιμή για την εξαρτημένη μεταβλητή Y και την πραγματική τιμή Y. Με άλλα λόγια, εάν η τιμή του συντελεστή προσδιορισμού πλησιάζει τη μονάδα τότε το παραγόμενο μαθηματικό μοντέλο προσαρμόζεται με τον βέλτιστο δυνατό τρόπο στα δεδομένα της διαδικασίας. Η τιμή του συντελεστή προσδιορισμού R^2 θα αποτελέσει ένα από τα βασικά κριτήρια για την τελική επιλογή μεταξύ των τριών διαθέσιμων επιλογών, όσον αφορά στον τελικό μαθηματικό τύπο για τον υπολογισμό του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας που θα προταθεί από την παρούσα Διπλωματική Εργασία.

Στο σημείο αυτό αξίζει να τονιστεί πως η συνάρτηση *LOGEST* αποδίδει διαφορετικά αποτελέσματα εάν μεταβληθεί το αρχικό δείγμα τιμών που εισάγονται ως δεδομένα εισόδου, χωρίς όμως να παρέχει κανέναν έλεγχο στα δεδομένα που εισάγονται. Έτσι, ο μαθηματικός τύπος που προκύπτει διατηρεί σε κάθε περίπτωση τη λειτουργικότητά του διότι παρέχοντας τιμές στις ανεξάρτητες μεταβλητές πάντα θα αποδίδεται μια τιμή στην εξαρτημένη, ωστόσο το γεγονός αυτό δε συνεπάγεται αυτόματα πως ο μαθηματικός τύπος διατηρεί και την εγκυρότητά του. Στη παρούσα μελέτη για την απόδοση τιμών βαρύτητας, εκ προοιμίου τα δεδομένα εισόδου που παρέχονται στο πρόγραμμα είναι συνθετικά. Συνεπώς, όσο πιο ρεαλιστικές οι υποθέσεις που έχουν γίνει για κάθε δείγμα, τόσο μεγαλύτερη και η εγκυρότητα του μαθηματικού τύπου.

5.3.2 Ο συντελεστής προσδιορισμού R^2

Ένα πολύ βασικό στοιχείο σε μια προσπάθεια δειγματοληψίας αποτελεί η διερεύνηση του ενδεχομένου να γίνει αποδεκτή ή τουλάχιστον να μην απορριφθεί η υπόθεση ότι το δείγμα που επιλέχθηκε από τον γεννήτορα πληθυσμό είναι σε θέση να περιγράψει ικανοποιητικά το υπό μελέτη φαινόμενο. Στην περίπτωση που η διερεύνηση αποδίδει θετικά αποτελέσματα, μόνο τότε η εργασία για την εκτίμηση των παραμέτρων, για την εύρεση των διαστημάτων εμπιστοσύνης κ.α., θα έχει αξία για να γίνουν προβλέψεις σχετικές με το φαινόμενο που εξετάζεται. Για το σκοπό αυτό, ας θεωρηθεί το άθροισμα των τετραγώνων των αποκλίσεων των τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής Y από το μέσο αυτών των τιμών, δηλαδή το

άθροισμα $\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2$ το οποίο, όπως είναι γνωστό, είναι ένα μέτρο εκτιμήσεως της ολικής

διακυμάνσεως των τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής. Στην περίπτωση αυτή, το άθροισμα

$\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2$ είναι το άθροισμα των τετραγώνων των αποκλίσεων των $\hat{Y}_1, \hat{Y}_2, \dots, \hat{Y}_n$ από τον

μέσο \bar{Y} των τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής, αν ληφθεί υπόψη ότι ισχύει $\bar{\hat{Y}} = \bar{Y}$. Το άθροισμα αυτό χαρακτηρίζεται ως άθροισμα τετραγώνων που οφείλεται στην παλινδρόμηση ή ως άθροισμα τετραγώνων που εξηγείται από την παλινδρόμηση.

Με βάση τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω ορίζεται ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 . Πρόκειται για την ποσότητα εκείνη, η οποία δίνεται από τον τύπο:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}$$

Αν ο συντελεστής R^2 λάβει τιμή πλησίον της μονάδας, συνεπάγεται ότι η εκτίμηση της ευθείας παλινδρομήσεως θα περνάει πολύ κοντά στα σημεία $(X_i, Y_i), (i = 1, 2, \dots, n)$ που δόθηκαν ως αρχικά δεδομένα για την ανάλυση παλινδρομησης, και επομένως ο μαθηματικός τύπος που διαμορφώνεται από τα στοιχεία παλινδρόμησης θα περιγράφει ικανοποιητικά το υπό μελέτη φαινόμενο, σύμφωνα πάντα με τα στοιχεία δειγματοληψίας που τροφοδοτούν τη διαδικασία. Το παραπάνω γεγονός αποτελεί ένα από τα ισχυρότερα κριτήρια που θα αναδείξουν τον καταλληλότερο μαθηματικό τύπο για το νέο, βελτιωμένο μοντέλο υπολογισμού του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας.

5.4 Τελική επιλογή σεναρίου δειγματοληψίας

Η εφαρμογή της μεθόδου πολλαπλής, μη – γραμμικής παλινδρόμησης πραγματοποιείται σε υπολογιστικό φύλλο *Excel*, σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω. Καθένα από τα δείγματα υποθετικών ακτογραμμών υπόκειται σε επεξεργασία προκειμένου να εξαχθούν οι τιμές του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας σύμφωνα με τον παλιό μαθηματικό τύπο (*OLD.CVI*) και στη συνέχεια εκτιμώνται οι παράμετροι της νέας μαθηματικής εξίσωσης, καθώς επίσης και όλα τα απαραίτητα στοιχεία παλινδρόμησης. Στην ανάλυση παλινδρόμησης που πραγματοποιείται για την εκάστοτε υποθετική ακτογραμμή, η σειρά με την οποία παραθέτονται οι γεωλογικές μεταβλητές και τις μεταβλητές των φυσικών διεργασιών του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας ακολουθεί κατά γράμμα τη σειρά ιεράρχησης, όπως αυτή προέκυψε από ανάλυση προγενέστερου κεφαλαίου στην παρούσα Διπλωματική Εργασία.

Οι παρακάτω πίνακες παρουσιάζουν αναλυτικά την ανάλυση παλινδρόμησης για κάθε ένα δείγμα υποθετικών ακτογραμμών. Με σαφή τρόπο αναγράφεται ο αριθμός του Δείγματος Ακτογραμμών, ο κωδικός των ακτογραμμών, οι μεταβλητές του Δείκτη και φυσικά οι τιμές που λαμβάνει η κάθε μεταβλητή του δείκτη ανά ακτογραμμή. Εν συνεχεία, υπολογίζεται η τιμή του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας ανά ακτογραμμή με βάση τον παλιό μαθηματικό τύπο. Τέλος, εξάγονται τα στοιχεία από την επεξεργασία των δειγμάτων με τη μέθοδο της πολλαπλής, μη – γραμμικής παλινδρόμησης. Στην παρούσα φάση της μελέτης, ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στα αποτελέσματα του προγράμματος για την τιμή του *συντελεστή προσδιορισμού R^2* . Η τιμή του συντελεστή αποτελεί το μοναδικό κριτήριο επιλογής του καταλληλότερου σεναρίου δειγματοληψίας, από το οποίο θα εξαχθεί ο μαθηματικός τύπος που θα προταθεί στα πλαίσια της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.

ΔΕΙΓΜΑ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΩΝ 1							
ΚΩΔΙΚΟΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ/ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΔΕΙΚΤΗ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ	ΜΕΣΟ ΠΑΛΙΡΡΟΙΑΚΟ ΕΥΡΟΣ	ΓΕΩΛΟΓΙΑ & ΠΑΡΑΚΤΙΕΣ ΓΕΩΜΟΡΦΕΣ	ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΚΛΙΣΗ	ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΤΗΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ	ΜΕΣΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ ΥΨΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ	ΣΧΕΤΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ	OLD.CVI
ΑΚΤΗ 1.1	5	1	5	2	1	3	5,00
ΑΚΤΗ 1.2	5	1	1	2	1	3	2,24
ΑΚΤΗ 1.3	5	5	4	3	1	3	12,25
ΑΚΤΗ 1.4	5	2	4	3	2	3	10,95
ΑΚΤΗ 1.5	5	3	4	4	2	3	15,49
ΑΚΤΗ 1.6	5	3	3	4	3	3	16,43
ΑΚΤΗ 1.7	5	4	3	4	3	3	18,97
ΑΚΤΗ 1.8	5	3	2	3	2	3	9,49
ΑΚΤΗ 1.9	5	5	2	3	2	3	12,25
ΑΚΤΗ 1.10	5	5	2	2	1	3	7,07
ΑΚΤΗ 1.11	5	5	1	2	1	3	5,00
ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ	1,00000	1,41810	1,26851	1,22433	1,22678	1,00000	0,69716
	0,00000	0,09607	0,09851	0,03083	0,02335	0,00000	0,14191
	0,99026	0,10030	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
	67,80567	4,00000	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
	4,09259	0,04024	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A

Πίνακας 5.4: Ανάλυση Παλινδρόμησης για το Δείγμα Ακτογραμμών 1.

ΔΕΙΓΜΑ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΩΝ 2							
ΚΩΔΙΚΟΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ/ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΔΕΙΚΤΗ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ	ΜΕΣΟ ΠΑΛΙΡΡΟΙΑΚΟ ΕΥΡΟΣ	ΓΕΩΛΟΓΙΑ & ΠΑΡΑΚΤΙΕΣ ΓΕΩΜΟΡΦΕΣ	ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΚΛΙΣΗ	ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΤΗΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ	ΜΕΣΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ ΥΨΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ	ΣΧΕΤΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ	OLD.CVI
ΑΚΤΗ 2.1	5	1	2	4	3	3	7,75
ΑΚΤΗ 2.2	5	2	3	1	3	3	6,71
ΑΚΤΗ 2.3	5	3	1	3	2	3	6,71
ΑΚΤΗ 2.4	5	5	1	5	5	3	17,68
ΑΚΤΗ 2.5	5	5	5	5	5	3	39,53
ΑΚΤΗ 2.6	5	1	1	1	1	3	1,58
ΑΚΤΗ 2.7	5	2	3	1	3	3	6,71
ΑΚΤΗ 2.8	5	4	1	3	2	3	7,75
ΑΚΤΗ 2.9	5	5	1	4	5	3	15,81
ΑΚΤΗ 2.10	5	3	5	2	4	3	17,32
ΑΚΤΗ 2.11	5	2	1	4	1	3	4,47
ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ	1,00000	1,19655	1,18077	1,24889	1,19944	1,00000	1,09540
	0,00000	0,04829	0,03521	0,03232	0,04462	0,00000	0,11262
	0,99077	0,12890	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
	71,59372	4,00000	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
	7,13729	0,06646	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A

Πίνακας 5.5: Ανάλυση Παλινδρόμησης για το Δείγμα Ακτογραμμών 2.

ΔΕΙΓΜΑ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΩΝ 3							
ΚΩΔΙΚΟΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ/ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ ΔΕΙΚΤΗ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ	ΜΕΣΟ ΠΑΛΙΡΡΟΙΑΚΟ ΕΥΡΟΣ	ΓΕΩΛΟΓΙΑ & ΠΑΡΑΚΤΙΕΣ ΓΕΩΜΟΡΦΕΣ	ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΚΛΙΣΗ	ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΤΗΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ	ΜΕΣΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ ΥΨΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ	ΣΧΕΤΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ	OLD.CVI
ΑΚΤΗ 3.1	5	1	2	2	1	4	3,65
ΑΚΤΗ 3.2	5	2	3	2	1	3	5,48
ΑΚΤΗ 3.3	5	3	1	3	1	4	5,48
ΑΚΤΗ 3.4	5	5	1	3	2	3	8,66
ΑΚΤΗ 3.5	5	5	5	4	2	4	25,82
ΑΚΤΗ 3.6	5	1	1	4	3	3	5,48
ΑΚΤΗ 3.7	5	2	3	4	3	3	13,42
ΑΚΤΗ 3.8	5	4	1	3	2	4	8,94
ΑΚΤΗ 3.9	5	5	1	3	2	4	10,00
ΑΚΤΗ 3.10	5	3	5	2	1	3	8,66
ΑΚΤΗ 3.11	5	2	1	2	1	4	3,65
ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ	1,12818	1,31283	1,15663	1,23192	1,21456	1,00000	0,72079
	0,08450	0,11416	0,10139	0,02419	0,02319	0,00000	0,31800
	0,98701	0,10431	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
	50,65915	4,00000	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
	3,30748	0,04353	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A

Πίνακας 5.6: Ανάλυση Παλινδρόμησης για το Δείγμα Ακτογραμμών 3.

Μετά το πέρας της διαδικασίας της ανάλυσης παλινδρόμησης πραγματοποιήθηκε στρογγυλοποίηση στο δεύτερο δεκαδικό ψηφίο των τιμών του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας που προέκυψαν με το παλιό τυπολόγιο, ενώ με παρόμοιο τρόπο πραγματοποιήθηκε στρογγυλοποίηση στο πέμπτο δεκαδικό ψηφίο για τις τιμές των συντελεστών $m_i (i = 1 - 6)$. Στο σημείο αυτό τονίζεται ότι για τους περαιτέρω υπολογισμούς που διενεργήθηκαν σε επόμενο στάδιο της μελέτης χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα στην πλήρη μορφή τους, χωρίς στρογγυλοποίηση. Ο επόμενος πίνακας παραθέτει συνοπτικά τις τιμές του συντελεστή προσδιορισμού R^2 , όπως αυτές προέκυψαν από την ανάλυση παλινδρόμησης.

ΣΕΝΑΡΙΑ	ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ
ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ R^2
<u>ΔΕΙΓΜΑ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΩΝ 1</u>	$R^2 = 0,99026$
<u>ΔΕΙΓΜΑ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΩΝ 2</u>	$R^2 = 0,99077$
<u>ΔΕΙΓΜΑ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΩΝ 3</u>	$R^2 = 0,98701$

Πίνακας 5.7: Η τελική μορφή των νέων μαθηματικών τύπων του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας.

Από τα παραπάνω είναι σαφές πως την καταλληλότερη επιλογή αποτελεί το *δεύτερο σενάριο δειγματοληψίας* και ειδικότερα το *Δείγμα Ακτογραμμών 2*. Καθώς η τιμή του συντελεστή προσδιορισμού R^2 αποτέλεσε το μοναδικό κριτήριο επιλογής, το σενάριο δειγματοληψίας που έφερε την τιμή εκείνη που βρίσκεται πλησιέστερα στη μονάδα αποτελεί και την τελική επιλογή της διαδικασίας. Με άλλα λόγια, πρόκειται για το δείγμα που είναι σε θέση να παράγει ένα νέο μαθηματικό τύπο εκθετικής μορφής, η καμπύλη του οποίου προσαρμόζεται με τον καλύτερο δυνατό τρόπο στα αρχικά δεδομένα.

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί πως, σύμφωνα με την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο για την εύρεση του μεγέθους του δείγματος, το ανώτερο όριο της ποσότητας του σφάλματος που επιλέγεται να είναι ανεκτό στην εκτίμηση της μεταβλητής που περιγράφει τις τιμές του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας, είναι ίσο με 0,6000 για διάστημα εμπιστοσύνης ίσο με 95%. Για το Δείγμα Ακτογραμμών που επιλέχθηκε, το σφάλμα στην εκτίμηση της εξαρτημένης μεταβλητής Y , με άλλα λόγια το τυπικό σφάλμα στην εκτίμηση της τιμής του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας, είναι μόλις 0,1289. Το στοιχείο αυτό αποτελεί ακόμα μια απόδειξη για την καλύτερη προσαρμογή του μαθηματικού τύπου στο δείγμα, γεγονός που συνεπάγεται την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων του μοντέλου.

5.5 Παρουσίαση του νέου τυπολογίου και σχολιασμός

Εν συνεχεία, το δείγμα αυτό χρησιμοποιείται για την παραγωγή του τυπολογίου του νέου, βελτιωμένου μοντέλου παράκτιας επικινδυνότητας. Η εξίσωση της εκθετικής καμπύλης που προκύπτει από την εντολή του υπολογιστικού φύλλου *Excel* έχει τη μορφή:

$$Y = b \cdot (m_1^{x_1}) \cdot (m_2^{x_2}) \cdot (m_3^{x_3}) \cdot (m_4^{x_4}) \cdot (m_5^{x_5}) \cdot (m_6^{x_6}) \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \ln Y = X_1 \cdot \ln m_1 + X_2 \cdot \ln m_2 + X_3 \cdot \ln m_3 + X_4 \cdot \ln m_4 + X_5 \cdot \ln m_5 + X_6 \cdot \ln m_6 + \ln b$$

Στον παραπάνω τύπο, οι τιμές που λαμβάνει καθεμία από τις γεωλογικές μεταβλητές και τις μεταβλητές των φυσικών διεργασιών του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας αποτελούν τις ανεξάρτητες μεταβλητές $X_i (i=1-6)$. Αντίθετα, η τιμή του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας που προκύπτει από το ήδη υπάρχον τυπολόγιο αποτελεί την *εξαρτημένη μεταβλητή* Y . Συνεπώς, ο νέος μαθηματικός τύπος μορφώνεται από την ανάλυση παλινδρόμησης που πραγματοποιήθηκε νωρίτερα στο επιλεγμένο δείγμα και είναι ο ακόλουθος:

$$NEW.CVI = (1.09540) \cdot (1^{x_1}) \cdot (1.19944^{x_2}) \cdot (1.24889^{x_3}) \cdot (1.18077^{x_4}) \cdot (1.19655^{x_5}) \cdot (1^{x_6}) \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \ln(NEW.CVI) = X_1 \cdot (\ln_1) + X_2 \cdot (\ln_1.19944) + X_3 \cdot (\ln_1.24889) +$$

$$+ X_4 \cdot (\ln_1.18077) + X_5 \cdot (\ln_1.19655) + X_6 \cdot (\ln_1) + (\ln_1.09540)$$

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ
<i>NEW.CVI / Y</i>	ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ
X_1	ΜΕΣΟ ΠΑΛΙΡΡΟΙΑΚΟ ΕΥΡΟΣ
X_2	ΓΕΩΛΟΓΙΑ & ΠΑΡΑΚΤΙΕΣ ΓΕΩΜΟΡΦΕΣ
X_3	ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΚΛΙΣΗ
X_4	ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ
X_5	ΜΕΣΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ ΥΨΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ
X_6	ΣΧΕΤΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ

Πίνακας 5.8: Επεξήγηση της αντιστοιχίας μεταξύ συμβολισμού και ονομασίας των μεταβλητών.

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ	ΤΙΜΗ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ
ΜΕΣΟ ΠΑΛΙΡΡΟΙΑΚΟ ΕΥΡΟΣ	1
ΓΕΩΛΟΓΙΑ & ΠΑΡΑΚΤΙΕΣ ΓΕΩΜΟΡΦΕΣ	1.19944
ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΚΛΙΣΗ	1.24889
ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ	1.18077
ΜΕΣΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ ΥΨΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ	1.19655
ΣΧΕΤΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ	1

Πίνακας 5.9: Αντιστοιχία μεταξύ ονομασίας των μεταβλητών και τιμών βαρύτητας.

Ο Δείκτης Παράκτιας Επικινδυνότητας, όπως και κάθε άλλος δείκτης, δεν έχει μονάδες μέτρησης, αντιθέτως είναι καθαρός αριθμός. Η μελέτη του τύπου του δείκτη καθιστά σαφές πως οι μεταβλητές των οποίων οι τιμές σχετικής επικινδυνότητας θεωρήθηκαν σταθερές σε όλες τις υποθετικές ακτογραμμές του δείγματος δεν λαμβάνονται υπόψη στο νέο μαθηματικό τύπο για τον υπολογισμό του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας, καθότι ο νεπέριος λογάριθμος του ενός ισούται με το μηδέν ($\ln 1 = 0$). Ως εκ τούτου, η μεταβλητή «Μέσο

Παλιρροιακό Εύρος» αναγκαστικά εξαιρείται εξ' ολοκλήρου από τον υπολογισμό του δείκτη, καθότι η τιμή της παραμένει αμετάβλητη για όλες τις ακτογραμμές του δείγματος και δεν υπάρχει πιθανότητα μεταβολής της τιμής σχετικής επικινδυνότητας, τουλάχιστον για τα ελληνικά δεδομένα. Το ίδιο ισχύει και για τη μεταβλητή «Σχετική Μεταβολή της Στάθμης της Θάλασσας» στο παρόν δείγμα.

Εάν θα μπορούσε να γίνει μια παρατήρηση επί των εναλλακτικών σεναρίων δειγματοληψίας του προηγούμενου κεφαλαίου, εξαίρεση στην αναγκαστική παράλειψη της μεταβλητής «Σχετική Μεταβολή της Στάθμης της Θάλασσας» αποτελεί μόνο το τρίτο σενάριο δειγματοληψίας, στο οποίο θεωρήθηκε ότι οι τιμές σχετικές επικινδυνότητας της μεταβλητής κυμαίνονται από (3) έως (4). Ωστόσο, η χαμηλότερη συγκριτικά τιμή που λαμβάνει ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 για το δείγμα αυτό υποδεικνύει τη λανθασμένη φύση του συλλογισμού. Έτσι, η εν λόγω μεταβλητή επίσης εξαιρείται από το νέο μοντέλο του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας καθότι με στατιστικές μεθόδους αποδείχτηκε ότι δε συμβάλλει στο ενδεχόμενο κατακλυσμού μιας παράκτιας περιοχής από ενδεχόμενη άνοδο της στάθμης των υδάτων.

Εξίσου άμεσο είναι το συμπέρασμα που εξάγεται σχετικά με την ιεράρχηση των μεταβλητών που πραγματοποιήθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Ο σκοπός της ιεράρχησης των μεταβλητών ήταν εξ αρχής να αποτελέσει το εφαλτήριο της διαδικασίας απόδοσης τιμών βαρύτητας στις μεταβλητές, και το γεγονός ότι δεν υπήρχε απαίτηση ακριβούς κατάταξης οδήγησε στο να στηριχθεί στη βάση βιβλιογραφικών αναφορών και υποθέσεων για την πραγματική κατάσταση, χωρίς όμως να έχουν γίνει επιτόπιες παρατηρήσεις και μετρήσεις. Έπειτα από την ολοκλήρωση της ανάλυσης παλινδρόμησης, ωστόσο, αποδεικνύεται έμπρακτα ότι η πραγματικότητα για τη συμβολή που ενδέχεται να έχει η κάθε μεταβλητή στον υπολογισμό του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας διαφέρει αισθητά από την αρχική υπόθεση. Το γεγονός αυτό δεν καταδεικνύει την ασυνέπεια των βιβλιογραφικών πηγών παρά μόνο το γεγονός ότι δεν είναι δυνατόν να εξαχθεί με απόλυτο τρόπο μια τελική σειρά ιεράρχησης για το σύνολο των μεταβλητών του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας.

Ειδικότερα, η μεταβλητή «Μέσο Παλιρροιακό Εύρος» που είχε καταταχθεί στην πρώτη θέση της ιεραρχίας ως ο παράγοντας εκείνος που δύναται να συμβάλλει σε μεγαλύτερο βαθμό στον κατακλυσμό μιας παράκτιας περιοχής, πλέον αποδεικνύεται ότι δεν μπορεί να συμπεριληφθεί στο νέο μαθηματικό τύπο του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας διότι πρόκειται για μια μεταβλητή της οποίας η τιμή σχετικής επικινδυνότητας παραμένει αμετάβλητη. Με όμοιο τρόπο εξαιρείται από το νέο τυπολόγιο και η μεταβλητή «Σχετική Μεταβολή της Στάθμης της

Θάλασσας», η οποία αντιθέτως με το παλιρροιακό εύρος είχε καταταχθεί στη θέση με τη μικρότερη πιθανή επίδραση στο ενδεχόμενο κατακλυσμού μιας παράκτιας ζώνης. Όσον αφορά στις υπόλοιπες μεταβλητές του δείκτη, η νέα σειρά ιεραρχίας διαμορφώνεται με βάση τις τιμές βαρύτητας που αποδίδονται από την ανάλυση παλινδρόμησης, ως ακολούθως:

ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ	
ΘΕΣΗ ΣΤΗΝ ΙΕΡΑΡΧΙΑ	ΟΝΟΜΑ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ
1	ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΚΛΙΣΗ
2	ΓΕΩΛΟΓΙΑ & ΠΑΡΑΚΤΙΕΣ ΓΕΩΜΟΡΦΕΣ
3	ΜΕΣΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ ΥΨΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ
4	ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΤΗΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ
ΕΞΑΙΡΕΙΤΑΙ	ΜΕΣΟ ΠΑΛΙΡΡΟΙΑΚΟ ΕΥΡΟΣ
ΕΞΑΙΡΕΙΤΑΙ	ΣΧΕΤΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ

Πίνακας 5.10: Η ιεράρχηση των μεταβλητών σύμφωνα με την Ανάλυση Παλινδρόμησης.

Στην ουσία, η σειρά ιεράρχησης που αποδίδει η ανάλυση παλινδρόμησης βρίσκεται σε συμφωνία με τις βιβλιογραφικές αναφορές, σύμφωνα με τις οποίες οι δύο βασικότερες μεταβλητές μιας μελέτης παράκτιας επικινδυνότητας και τελικά εκείνες που θα καθορίσουν εάν μια παράκτια ζώνη θα κατακλυστεί ή όχι από μια ενδεχόμενη άνοδο της στάθμης της θάλασσας, είναι οι μεταβλητές «Γεωλογία & Παράκτιες Γεωμορφές» και «Παράκτια Κλίση». Επιπρόσθετα, το κυματικό καθεστώς μιας παράκτιας ζώνης αποτελεί έναν παράγοντα βαρύνουσας σημασίας από άποψη παράκτιας επικινδυνότητας, ο οποίος σε συνδυασμό με την παλιρροιακή δράση δύναται να προκαλέσει σοβαρές υλικές ζημιές και ποικίλλες απώλειες. Τέλος, η μεταβλητή «Ιστορική Μετατόπιση της Ακτογραμμής» δεν συμβάλλει με άμεσο τρόπο στον ενδεχόμενο κατακλυσμό, ωστόσο η γνώση της παρελθοντικής κατάστασης οδηγεί στον ακριβή προσδιορισμό των τάσεων εξέλιξης του φαινομένου της κατάκλυσης και τελικά στην επιτυχημένη λήψη μέτρων προστασίας και πρόληψης για τις παράκτιες περιοχές.

Την εξαγωγή του μαθηματικού τύπου που προτείνεται στα πλαίσια της εν λόγω Διπλωματικής Εργασίας για το νέο μοντέλο υπολογισμού του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας, θα πρέπει να ακολουθήσει ο έλεγχος της εγκυρότητας του τύπου αυτού. Στο επόμενο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας πραγματοποιείται ο πρώτος απαιτούμενος έλεγχος της εγκυρότητας του νέου μαθηματικού τύπου, διαμέσου της άμεσης σύγκρισης των

αποτελεσμάτων που αποδίδει το νέο μοντέλο και των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από το παλιό μοντέλο του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας. Ο πρώτος αυτός έλεγχος της ορθής λειτουργίας του τυπολογίου στην πράξη είναι απαραίτητος, ώστε να διαπιστωθεί η συμφωνία ή απόκλιση του νέου μοντέλου με το ήδη υπάρχον μοντέλο παράκτιας επικινδυνότητας. Η διαπίστωση ότι τα αποτελέσματα του νέου τυπολογίου βρίσκονται σε συμφωνία με το παλιό τυπολόγιο αποτελεί ίσως την ισχυρότερη απόδειξη της *ρεαλιστικότητας* των αποτελεσμάτων του νέου μοντέλου παράκτιας επικινδυνότητας, καθότι η ευρεία χρήση του ήδη υπάρχοντος μοντέλου του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας συνεπάγεται την αποδοχή των τελικών χαρακτηρισμών επικινδυνότητας που αυτό αποδίδει.

Η σελίδα παραμένει σκόπιμα λευκή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΟΥ ΝΕΟΥ ΤΥΠΟΛΟΓΙΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ

Στο προηγούμενο κεφάλαιο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας πραγματοποιήθηκε η περιγραφή *τριών* (3) εναλλακτικών προτάσεων δειγματοληψίας, η καθεμία βασισμένη σε διαφορετικά κριτήρια και πιθανές εκφάνσεις της πραγματικότητας. Στη συνέχεια, διερευνήθηκε η απόκριση που παρουσιάζουν οι εναλλακτικές αυτές προτάσεις στο ζητούμενο της αξιόπιστης περιγραφής του φαινομένου κατακλυσμού μιας παράκτιας ζώνης από μια ενδεχόμενη άνοδο της στάθμης των υδάτων. Το σενάριο δειγματοληψίας που κρίθηκε ότι ικανοποιεί το κριτήριο της αποδεκτής τιμής του συντελεστή προσαρμογής R^2 είναι το *Δείγμα Ακτογραμμών 2*. Σύμφωνα με το επιλεγμένο δείγμα, το επόμενο στάδιο της παρούσας μελέτης περιελάμβανε την εξαγωγή του νέου μαθηματικού τύπου ώστε να μορφωθεί το νέο, βελτιωμένο μοντέλο για τον υπολογισμό του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας. Ωστόσο, προκειμένου να αποδεικτεί η ισχύς του νέου τυπολογίου θα πρέπει να διαπιστωθεί εάν αποκλίνει σημαντικά ή όχι από το ήδη υπάρχον μοντέλο παράκτιας επικινδυνότητας.

Το παρόν κεφάλαιο της Διπλωματικής Εργασίας αποτελεί το επόμενο βήμα της μελέτης, σύμφωνα με το οποίο πραγματοποιείται ο βασικός έλεγχος για την εγκυρότητα του νέου μαθηματικού τύπου. Ειδικότερα, με χρήση των βασικών κατευθύνσεων της μεθοδολογίας τυποποίησης μιας μεταβλητής που ακολουθεί την *Κανονική κατανομή*, πραγματοποιείται σύγκριση των αποτελεσμάτων ώστε να διαπιστωθεί το μέγεθος της απόκλισης που παρουσιάζουν τα δύο μοντέλα παράκτιας επικινδυνότητας στα αποτελέσματα που αποδίδουν. Η εν λόγω σύγκριση δεν είναι μια απλή διαδικασία, καθότι τα δύο μοντέλα αναφέρονται σε διαφορετικές κλίμακες, παρά το γεγονός ότι στην ουσία αποτελούν μέσον έκφρασης των επιπτώσεων του ίδιου φυσικού φαινομένου. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιείται η τυποποίηση της εξαρτημένης μεταβλητής Y σε καθεμία από τις περιπτώσεις αυτές.

Η διαδικασία της τυποποίησης των μεταβλητών ακολουθεί μια συγκεκριμένη πορεία ανάλυσης, η οποία αναλύεται εκτενώς παρακάτω. Επικουρικά της αναλυτικής περιγραφής του παρόντος σταδίου της μελέτης, παραθέτονται και οι αντίστοιχοι πίνακες που συνοδεύουν την παράθεση των αποτελεσμάτων. Η παρούσα μελέτη για την παράκτια επικινδυνότητα ολοκληρώνεται με την απαιτούμενη διαμόρφωση του νέου τυπολογίου, σύμφωνα με την οποία θα πρέπει να προσδιοριστεί το εύρος τιμών των αποτελεσμάτων του τυπολογίου του νέου μοντέλου και να πραγματοποιηθεί η κατηγοριοποίηση του εύρους τιμών σε κλάσεις.

6.1 Μεθοδολογία τυποποίησης των μεταβλητών

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, η κανονική κατανομή προσδιορίζεται πλήρως με δύο μόνο παραμέτρους. Πρόκειται για τον μέσο \bar{X} ή μ του εκάστοτε δείγματος ή πληθυσμού, που καθορίζει το κέντρο της κατανομής, καθώς επίσης και την τυπική απόκλιση s ή σ , που μετρά τη μεταβολή των επιμέρους μετρήσεων. Επειδή η κανονική καμπύλη εξαρτάται από τις δύο παραμέτρους μ και σ , υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός διαφορετικών κανονικών καμπυλών. Στην περίπτωση που για ένα δείγμα ή πληθυσμό που εξετάζεται, ισχύει ότι ο μέσος είναι ίσος με μηδέν και η τυπική απόκλιση ίση με τη μονάδα, τότε γίνεται λόγος για *τυποποιημένη μεταβλητή* Z . Προφανώς εάν είναι δεδομένη η ύπαρξη μιας μεταβλητής X η οποία κατανέμεται κανονικά, δηλ. $X \sim N(\mu, \sigma^2)$, και είναι επιθυμητό να γίνει χρήση ενός πίνακα της κανονικής κατανομής, θα πρέπει να μετατραπεί η κλίμακα της μεταβλητής X ώστε ο μέσος να γίνει ίσος με το μηδέν και η τυπική απόκλιση ίση με τη μονάδα. Η νέα μεταβλητή καλείται *τυποποιημένη* και δίνεται από την σχέση:

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma} \quad \text{ή} \quad Z = \frac{X - \bar{X}}{s}$$

όπου οι ποσότητες \bar{X} και μ είναι ο μέσος του αρχικού δείγματος ή πληθυσμού αντίστοιχα, και η ποσότητα s ή σ είναι η αντίστοιχη τυπική απόκλιση. Ισοδύναμα, η αρχική μεταβλητή X συνδέεται με την τυποποιημένη μεταβλητή Z με επίλυση της παραπάνω εξίσωσης ως προς τη μεταβλητή X :

$$X = \mu + Z \cdot \sigma \quad \text{ή} \quad X = \bar{X} + Z \cdot s$$

Οι τιμές του μέσου και της τυπικής απόκλισης για τον πληθυσμό συνήθως δεν είναι γνωστές. Ωστόσο, δεδομένου του υπάρχοντος δείγματος, οι τιμές του μέσου και της τυπικής απόκλισης για το δείγμα μπορούν να υπολογιστούν και να μετατραπούν στη συνέχεια σε ποσότητες που μπορούν να δώσουν πληροφορίες για τον πληθυσμό που ενδιαφέρει. Με την υπόθεση της τυχαίας δειγματοληψίας από ένα κανονικό πληθυσμό, ο μέσος μ εκτιμάται ικανοποιητικά από τον δειγματικό μέσο \bar{X} , και άρα οι δύο ποσότητες δύναται να θεωρηθούν ίσες. Αντίστοιχα, για την τυπική απόκλιση του δείγματος ισχύει ότι $s = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$. Με βάση τα παραπάνω είναι εφικτή η γενίκευση των αποτελεσμάτων της τυποποίησης από το διαθέσιμο δείγμα στον εξεταζόμενο πληθυσμό.

Εν τούτοις, το βασικό ζητούμενο σε αυτό το σημείο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας δεν είναι τόσο η προβολή των χαρακτηριστικών του δείγματος στον εξεταζόμενο πληθυσμό όσο η σύγκριση των τιμών που αποδίδει ο παλιός και ο νέος μαθηματικός τύπος για τον υπολογισμό του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι τιμές του δείκτη με βάση το υπάρχον μοντέλο προκύπτουν από τον γεωμετρικό μέσο όρο των έξι (6) βασικών μεταβλητών που λαμβάνονται υπόψη σε μελέτες παράκτιας επικινδυνότητας, ενώ για το νέο μοντέλο ήταν απαραίτητο να μεταβληθεί το τυπολόγιο προκειμένου να είναι σαφής η έννοια της απόδοσης τιμών βαρύτητας. Το γεγονός αυτό συνεπάγεται τη διαφορά στο εύρος τιμών ακόμα και των μοντέλων που αποσκοπούν στην αξιολόγηση του ίδιου χαρακτηριστικού, με αποτέλεσμα να καθίσταται δύσκολη η σύγκριση των αποτελεσμάτων που αποδίδει ο νέος μαθηματικός τύπος σε σχέση με τα αποτελέσματα του παλιού. Η λύση στον παραπάνω προβληματισμό είναι η μετατροπή των τιμών που αποδίδει το παλιό και το νέο τυπολόγιο σε τυποποιημένες τιμές, ώστε να είναι δυνατή η συγκριτική ερμηνεία των αποτελεσμάτων (Κουρλαμπά, 2010).

Τα βήματα εργασίας που θα πρέπει να ακολουθηθούν για την τυποποίηση μιας μεταβλητής X είναι τα ακόλουθα:

- Συλλογή όλων των διαθέσιμων τιμών της εν λόγω μεταβλητής, οι οποίες αποτελούν το δείγμα του προβλήματος που μελετάται.
- Υπολογισμός του μέσου όρου των τιμών.
- Υπολογισμός της διαφοράς της κάθε τιμής της μεταβλητής από τη μέση τιμή.
- Όλες οι διαφορές που υπολογίστηκαν στο προηγούμενο βήμα θα πρέπει να υψωθούν στο τετράγωνο και κατόπιν, να υπολογιστεί το άθροισμα αυτών.
- Το άθροισμα διαιρείται με την ποσότητα $(n-1)$. Στη συγκεκριμένη περίπτωση ισχύει ότι $n = 11$, συνεπώς το άθροισμα για την εν λόγω μελέτη παράκτιας επικινδυνότητας διαιρείται με το 10.
- Το ηλίκο υπόκειται σε τετραγωνική ρίζα. Το αποτέλεσμα είναι το λεγόμενο «τυπικό σφάλμα της τιμής» για το δείγμα.
- Το τυπικό σφάλμα s του μέσου όρου για το δείγμα υπολογίζεται από τη διαίρεση του τυπικού σφάλματος της τιμής με \sqrt{n} . Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στο ότι το τυπικό σφάλμα τιμής για το δείγμα δεν ταυτίζεται με το τυπικό σφάλμα του μέσου όρου για τον πληθυσμό, παρότι οι τιμές τους στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι οι ίδιες.

Η παραπάνω σειρά υπολογισμών πραγματοποιείται μια φορά για τις τιμές του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας, όπως αυτές προκύπτουν με βάση το παλιό τυπολόγιο, και στη

συνέχεια επαναλαμβάνεται για τις τιμές του δείκτη, όπως αυτές προκύπτουν με βάση το νέο, βελτιωμένο τυπολόγιο. Με τον τρόπο αυτό, οι δύο δείκτες ανάγονται στην ίδια κλίμακα, καθιστώντας τα αποτελέσματα συγκρίσιμα.

6.2 Έλεγχος εγκυρότητας του νέου τυπολογίου

Δεδομένου του Δείγματος Ακτογραμμών που επιλέχθηκε για την βέλτιστη περιγραφή του γεννήτορα πληθυσμού του συνόλου των ελληνικών ακτογραμμών, πραγματοποιούνται οι απαιτούμενοι υπολογισμοί του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας. Αρχικά, γίνεται χρήση του υπάρχοντος μοντέλου και μαθηματικού τύπου:

$$CVI = \sqrt{\frac{a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot e \cdot f}{6}}$$

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ
<i>CVI</i>	ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ
<i>a</i>	ΓΕΩΛΟΓΙΑ & ΠΑΡΑΚΤΙΕΣ ΓΕΩΜΟΡΦΕΣ
<i>b</i>	ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΚΛΙΣΗ
<i>c</i>	ΣΧΕΤΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ
<i>d</i>	ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ
<i>e</i>	ΜΕΣΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ ΥΨΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ
<i>f</i>	ΜΕΣΟ ΠΑΛΙΡΡΟΙΑΚΟ ΕΥΡΟΣ

Πίνακας 6.1: Η αντιστοιχία συμβολισμού και ονομασίας των μεταβλητών για το υπάρχον μοντέλο του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας.

Εν συνεχεία, εφαρμόζεται το προτεινόμενο μοντέλο για τον υπολογισμό του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας και ειδικότερα ο νέος μαθηματικός τύπος, που αποτελεί μια βελτιωμένη μορφή του ήδη υπάρχοντος. Το νέο τυπολόγιο συνθέτει σε μια εξίσωση διαφορετικής μορφής τις μεταβλητές εκείνες που συμμετέχουν στον υπολογισμό του δείκτη στο υπάρχον μοντέλο, με τη διαφορά ότι οι μεταβλητές σε αυτή την περίπτωση λαμβάνουν μια ειδική τιμή βαρύτητας, η οποία αποδίδει τον εκτιμώμενο βαθμό επίδρασης της εκάστοτε μεταβλητής στο ενδεχόμενο κατάκλισης μιας περιοχής από την άνοδο της στάθμης των υδάτων. Οι ειδικές τιμές βαρύτητας προέκυψαν από ανάλυση παλινδρόμησης στο συγκεκριμένο Δείγμα Ακτογραμμών που επιλέχθηκε για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης.

Ο προτεινόμενος μαθηματικός τύπος για τον υπολογισμό του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας είναι ο ακόλουθος:

$$NEW.CVI = (1.09540) \cdot (1^{x_1}) \cdot (1.19944^{x_2}) \cdot (1.24889^{x_3}) \cdot (1.18077^{x_4}) \cdot (1.19655^{x_5}) \cdot (1^{x_6})$$

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ
<i>NEW.CVI</i>	ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ
X_1	ΜΕΣΟ ΠΑΛΙΡΡΟΙΑΚΟ ΕΥΡΟΣ
X_2	ΓΕΩΛΟΓΙΑ & ΠΑΡΑΚΤΙΕΣ ΓΕΩΜΟΡΦΕΣ
X_3	ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΚΛΙΣΗ
X_4	ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ
X_5	ΜΕΣΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ ΥΨΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ
X_6	ΣΧΕΤΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ

Πίνακας 6.2: Η αντιστοιχία συμβολισμού και ονομασίας των μεταβλητών για το νέο μοντέλο του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας.

Στο σημείο αυτό κρίνεται απαραίτητο να τονιστεί το γεγονός πως η ανάλυση παλινδρόμησης για το επιλεγμένο Δείγμα Ακτογραμμών εξείρεσε από το τυπολόγιο την επίδραση των μεταβλητών «Μέσο Παλιρροιακό Εύρος» και «Σχετική Μεταβολή της Στάθμης της Θάλασσας». Η φύση των μεταβλητών και το θαλάσσιο καθεστώς για τις ελληνικές ακτογραμμές υπαγορεύει ότι οι τιμές σχετικής επικινδυνότητας που αποδίδονται στους δύο αυτούς παράγοντες στα πλαίσια της συγκεκριμένης μελέτης παράκτιας επικινδυνότητας, είναι σταθερές και αμετάβλητες για όλες τις ακτογραμμές της ελληνικής επικράτειας. Το γεγονός αυτό αποδίδει μηδενική επίδραση στο ενδεχόμενο κατάκλυσης των ελληνικών ακτών και συνεπώς καμία συμμετοχή στον υπολογισμό του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας.

Η εφαρμογή του παλιού και νέου τυπολογίου του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας στο ίδιο Δείγμα Ακτογραμμών αποδίδει, όπως είναι φυσικό, διαφορετικά αποτελέσματα για καθεμία περίπτωση ακτογραμμής. Ωστόσο, οι τιμές αυτές δεν είναι άμεσα συγκρίσιμες. Η εφαρμογή τιμών βάρους και η αλλαγή του τυπολογίου έχει ως αποτέλεσμα τη μεταβολή του εύρους τιμών των δύο μοντέλων, παρά το γεγονός ότι και τα δύο αυτά μοντέλα του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας αποσκοπούν στην αξιολόγηση του ίδιου φυσικού φαινομένου. Την λύση του προβλήματος αποτελεί η *τυποποίηση των αποτελεσμάτων*, όπως αυτά προκύπτουν από τα δύο διαφορετικά τυπολόγια. Η ισχύς του «Κεντρικού Οριακού

Θεωρήματος» στη Στατιστική Ανάλυση ερμηνεύει γιατί η κανονική κατανομή κατά κανόνα χρησιμοποιείται στην περίπτωση του δειγματικού μέσου, ακόμη και όταν ο γεννήτορας πληθυσμός δεν είναι κανονικός. Δεδομένου του ότι η δειγματοληψία ήταν τυχαία και η πληθυσμιακή τυπική απόκλιση σ είναι πεπερασμένος αριθμός, είναι ασφαλές να υποτεθεί ότι οι τιμές που συγκεντρώθηκαν ως αποτελέσματα του παλιού και του νέου τυπολογίου του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας ακολουθούν την κανονική κατανομή.

Στους ακόλουθους πίνακες παραθέτονται οι υπολογισμοί για όλα όσα περιγράφηκαν παραπάνω. Ειδικότερα, ο Πίνακας 6.3 παρουσιάζει το Δείγμα Ακτογραμμών και τις τιμές του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας με χρήση του ήδη υπάρχοντος (*OLD.CVI*) και του νέου (*NEW.CVI*) τυπολογίου. Εν συνεχεία, οι Πίνακες 6.4 και 6.5 παρουσιάζουν όλη τη διαδικασία της τυποποίησης των αποτελεσμάτων των διαφορετικών τυπολογίων, σύμφωνα με τα βήματα εργασίας που πρέπει να ακολουθηθούν. Τέλος, ο Πίνακας 6.6 συγκεντρώνει τις τιμές των τυποποιημένων μεταβλητών και παραθέτει σαφώς την απόκλιση των αποτελεσμάτων. Η διαφορά των τυποποιημένων μεταβλητών προκύπτει από την τιμή του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας σύμφωνα με το νέο τυπολόγιο, εάν αφαιρεθεί η τιμή που αποδίδει το υπάρχον τυπολόγιο του δείκτη. Η τιμές της απόκλισης που προκύπτουν από τους υπολογισμούς αποδεικνύουν πέρα από κάθε αμφιβολία τη διαπίστωση ότι τα αποτελέσματα του νέου τυπολογίου βρίσκονται σε συμφωνία με το υπάρχον τυπολόγιο. Το γεγονός αυτό αποτελεί την ισχυρότερη απόδειξη της αξιοπιστίας του νέου μοντέλου παράκτιας επικινδυνότητας, καθότι η ευρεία χρήση του ήδη υπάρχοντος μοντέλου του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας συνεπάγεται την αποδοχή των συμπερασμάτων που αυτό αποδίδει.

ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ								
ΚΩΔΙΚΟΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ/ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΔΕΙΚΤΗ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ	ΜΕΣΟ ΠΑΛΙΡΡΟΙΑΚΟ ΕΥΡΟΣ	ΓΕΩΛΟΓΙΑ & ΠΑΡΑΚΤΙΕΣ ΓΕΩΜΟΡΦΕΣ	ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΚΛΙΣΗ	ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΤΗΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ	ΜΕΣΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ ΥΨΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ	ΣΧΕΤΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ	OLD.CVI	NEW.CVI
ΑΚΤΗ 1	5	1	2	4	3	3	7,745966692	6,824222512
ΑΚΤΗ 2	5	2	3	1	3	3	6,708203932	6,209642852
ΑΚΤΗ 3	5	3	1	3	2	3	6,708203932	5,564063265
ΑΚΤΗ 4	5	5	1	5	5	3	17,67766953	19,11946598
ΑΚΤΗ 5	5	5	5	5	5	3	39,52847075	46,5129945
ΑΚΤΗ 6	5	1	1	1	1	3	1,58113883	2,318317897
ΑΚΤΗ 7	5	2	3	1	3	3	6,708203932	6,209642852
ΑΚΤΗ 8	5	4	1	3	2	3	7,745966692	6,673778607
ΑΚΤΗ 9	5	5	1	4	5	3	15,8113883	16,19243324
ΑΚΤΗ 10	5	3	5	2	4	3	17,32050808	16,41313668
ΑΚΤΗ 11	5	2	1	4	1	3	4,472135955	4,57766126

Πίνακας 6.3: Το επιλεγμένο Δείγμα Ακτογραμμών και οι τιμές του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας με χρήση του ήδη υπάρχοντος και του νέου τυπολογίου.

ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ OLD.CVI								
ΚΩΔΙΚΟΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ/ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΔΕΙΚΤΗ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ	OLD.CVI	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΔΙΑΦΟΡΑ ΤΙΜΗΣ ΑΠΟ ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΔΙΑΦΟΡΑ ΥΨΩΜΕΝΗ ΣΤΟ ΤΕΤΡΑΓΩΝΟ	ΑΘΡΟΙΣΜΑ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ²	ΤΥΠΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ ΤΗΣ ΜΙΑΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΤΥΠΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΟΡΟΥ	ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ Z
ΑΚΤΗ 1	7,745966692	12,00071424	-4,254747546	18,10287668	1118,311435	10,57502452	3,188489861	-1,334408366
ΑΚΤΗ 2	6,708203932		-5,292510306	28,01066534				-1,659879923
ΑΚΤΗ 3	6,708203932		-5,292510306	28,01066534				-1,659879923
ΑΚΤΗ 4	17,67766953		5,676955291	32,22782138				1,780452671
ΑΚΤΗ 5	39,52847075		27,52775651	757,7773787				8,633477826
ΑΚΤΗ 6	1,58113883		-10,41957541	108,5675517				-3,267871583
ΑΚΤΗ 7	6,708203932		-5,292510306	28,01066534				-1,659879923
ΑΚΤΗ 8	7,745966692		-4,254747546	18,10287668				-1,334408366
ΑΚΤΗ 9	15,8113883		3,810674062	14,52123681				1,195134446
ΑΚΤΗ 10	17,32050808		5,319793837	28,30020647				1,668436805
ΑΚΤΗ 11	4,472135955		-7,528578284	56,67949097				-2,361173663

Πίνακας 6.4: Η διαδικασία της τυποποίησης των αποτελεσμάτων του υπάρχοντος τυπολογίου.

ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ NEW.CVI								
ΚΩΔΙΚΟΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ/ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΔΕΙΚΤΗ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ	NEW.CVI	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΔΙΑΦΟΡΑ ΤΙΜΗΣ ΑΠΟ ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΔΙΑΦΟΡΑ ΥΨΩΜΕΝΗ ΣΤΟ ΤΕΤΡΑΓΩΝΟ	ΑΘΡΟΙΣΜΑ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ²	ΤΥΠΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ ΤΗΣ ΜΙΑΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΤΥΠΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΟΡΟΥ	ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ Z
ΑΚΤΗ 1	6,824222512	12,41957815	-5,595355638	31,30800471	1589,410494	12,60718245	3,801208533	-1,471993864
ΑΚΤΗ 2	6,209642852		-6,209935298	38,5632964				-1,633673934
ΑΚΤΗ 3	5,564063265		-6,855514886	46,99808435				-1,803509286
ΑΚΤΗ 4	19,11946598		6,699887831	44,88849695				1,762567818
ΑΚΤΗ 5	46,5129945		34,09341635	1162,361039				8,969099184
ΑΚΤΗ 6	2,318317897		-10,10126025	102,0354587				-2,657381242
ΑΚΤΗ 7	6,209642852		-6,209935298	38,5632964				-1,633673934
ΑΚΤΗ 8	6,673778607		-5,745799543	33,01421239				-1,511571779
ΑΚΤΗ 9	16,19243324		3,772855091	14,23443554				0,99254094
ΑΚΤΗ 10	16,41313668		3,993558529	15,94850973				1,050602327
ΑΚΤΗ 11	4,57766126		-7,84191689	61,49566051				-2,063006231

Πίνακας 6.5: Η διαδικασία της τυποποίησης των αποτελεσμάτων του νέου τυπολογίου.

ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ		
ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ OLD.CVI	ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ NEW.CVI	ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ
-1,334408366	-1,471993864	-0,137585498
-1,659879923	-1,633673934	0,026205989
-1,659879923	-1,803509286	-0,143629362
1,780452671	1,762567818	-0,017884853
8,633477826	8,969099184	0,335621359
-3,267871583	-2,657381242	0,610490341
-1,659879923	-1,633673934	0,026205989
-1,334408366	-1,511571779	-0,177163412
1,195134446	0,99254094	-0,202593505
1,668436805	1,050602327	-0,617834478
-2,361173663	-2,063006231	0,298167431

Πίνακας 6.6: Οι τιμές των τυποποιημένων μεταβλητών και η απόκλιση των αποτελεσμάτων.

Προκειμένου να αποδοθεί με παραστατικό και ολοκληρωμένο τρόπο η εύρεση των απαιτούμενων αποκλίσεων των τιμών που προκύπτουν από το νέο τυπολόγιο σε σχέση με τις τιμές που προκύπτουν από το ήδη υπάρχον τυπολόγιο, δεν πραγματοποιήθηκε στρογγυλοποίηση στα αποτελέσματα. Ωστόσο, για τις ανάγκες διαμόρφωσης του νέου τυπολογίου οι τιμές που αποδίδει ο νέος μαθηματικός τύπος υπόκειται σε στρογγυλοποίηση στο δεύτερο δεκαδικό ψηφίο.

6.3 Εύρος τιμών του νέου τυπολογίου

Βασικό στοιχείο μιας μελέτης για την εύρεση και παρουσίαση ενός νέου, πιθανού μαθηματικού μοντέλου αποτελεί η τελική ερμηνεία των αποτελεσμάτων που αυτό αποδίδει ως προς τον αρχικό σκοπό δημιουργίας του, δηλαδή ως προς την πρόβλεψη του φαινομένου εκείνου το οποίο αποσκοπεί να αξιολογήσει. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, το φαινόμενο που εξετάζεται αφορά στον κίνδυνο ενδεχόμενης μελλοντικής κατάκλυσης μιας παράκτιας ζώνης, στην περίπτωση που εκείνη βρεθεί εκτεθειμένη σε μια πιθανή άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Το μοντέλο του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας έχει σίγουρα έναν χαρακτήρα διαπίστωσης, σύμφωνα με τον οποίο καθορίζεται εάν μια παράκτια περιοχή διατρέχει ή όχι επί του παρόντος άμεσο κίνδυνο από το εγγύτερο θαλάσσιο περιβάλλον. Σε κάθε περίπτωση όμως το μοντέλο κατέχει και έναν χαρακτήρα πρόβλεψης, με βάση τον οποίο δύναται να διαπιστωθεί η επικινδυνότητα μιας παράκτιας περιοχής με βάση πιθανά μελλοντικά σενάρια.

Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων του μοντέλου για την παράκτια επικινδυνότητα στηρίζεται αποκλειστικά στην τιμή που λαμβάνει ο Δείκτης Παράκτιας Επικινδυνότητας για την εκάστοτε παράκτια ζώνη. Όσο μεγαλύτερη η τιμή του δείκτη, τόσο μεγαλύτερη και η επικινδυνότητα της εν λόγω περιοχής. Ωστόσο, από τη φύση του ο Δείκτης Παράκτιας Επικινδυνότητας αποτελεί έναν ποιοτικό δείκτη, ο οποίος με βάση την τιμή που λαμβάνει κάθε φορά υποδεικνύει έναν ποιοτικό χαρακτηρισμό για την επικινδυνότητα της εκάστοτε παράκτιας περιοχής. Συνεπώς, είναι απαραίτητο να προσδιοριστούν οι χαρακτηρισμοί επικινδυνότητας και να αντιστοιχηθούν σε συγκεκριμένα επιμέρους εύρη τιμών που δύναται να λάβει ο δείκτης. Τα επιμέρους εύρη τιμών είναι γνωστά ως *κλάσεις*. Σαφές είναι πως προτού προσδιοριστούν οι επιμέρους κλάσεις, θα πρέπει να προσδιοριστεί το συνολικό εύρος τιμών του νέου μοντέλου παράκτιας επικινδυνότητας.

Το συνολικό εύρος τιμών του νέου μοντέλου του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας προκύπτει από τη διαφορά της μέγιστης και της ελάχιστης τιμής που δύναται να λάβει ο δείκτης. Το γεγονός αυτό θεωρητικά προϋποθέτει πως όλες οι μεταβλητές θα λάβουν τιμές σχετικής επικινδυνότητας ίσες με (5) και ίσες με (1) αντίστοιχα. Ωστόσο, στην πράξη και για την εφαρμογή του μοντέλου στις ελληνικές ακτογραμμές, κάτι τέτοιο δεν είναι απόλυτα σωστό. Ειδικότερα, έχει ήδη αναφερθεί πως οι μεταβλητές «*Μέσο Παλιρροιακό Εύρος*» και «*Σχετική Μεταβολή της Στάθμης της Θάλασσας*» του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας λαμβάνουν σταθερή και αμετάβλητη τιμή, σε κάθε περίπτωση ελληνικής ακτογραμμής που εξετάζεται. Ως εκ τούτου, ο υπολογισμός του ανώτατου και κατώτατου ορίου του εύρους τιμών του νέου μοντέλου παράκτιας επικινδυνότητας υπόκειται σε δύο διαφορετικά σενάρια, στο θεωρητικό και το πραγματικό σενάριο. Σκοπός της εν λόγω διάκρισης είναι να διαπιστωθεί η ενδεχόμενη απόκλιση των ορίων που απόδίδουν τα δύο αυτά σενάρια, ώστε να επιτευχθεί η πληρότητα της παρούσας μελέτης.

6.3.1 Ανώτατο όριο του εύρους τιμών

Το ανώτατο όριο του εύρους τιμών του νέου μοντέλου παράκτιας επικινδυνότητας προκύπτει εάν σε όλες τις μεταβλητές του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας αποδοθεί η υψηλότερη τιμή σχετικής επικινδυνότητας, δηλαδή η τιμή (5). Το σκεπτικό αυτό έχει εφαρμογή σε όλες τις μεταβλητές, με μοναδική εξαίρεση τη μεταβλητή «*Σχετική Μεταβολή της Στάθμης της Θάλασσας*», της οποίας η μέγιστη δυνατή τιμή σχετικής επικινδυνότητας είναι η τιμή (3). Στη βάση των παραπάνω δομούνται τα δύο πιθανά σενάρια για την εύρεση της τιμής που λαμβάνει το ανώτατο όριο του εύρους τιμών του μοντέλου. Οι παρακάτω πίνακες αποδίδουν τόσο το θεωρητικό όσο και το πραγματικό σενάριο για τον προσδιορισμό του ανώτατου ορίου του εύρους τιμών που δύναται να λάβει ο Δείκτης Παράκτιας Επικινδυνότητας.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΩΤΑΤΟΥ ΟΡΙΟΥ - ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΣΕΝΑΡΙΟ				
ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ/ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ	ΤΙΜΗ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ	ΤΙΜΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ	ΝΕΠΕΡΕΙΟΣ ΛΟΓΑΡΙΘΜΟΣ ΤΩΝ ΤΙΜΩΝ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ	ΓΙΝΟΜΕΝΟ ΤΩΝ ΛΟΓΑΡΙΘΜΩΝ ΜΕ ΤΙΣ ΤΙΜΕΣ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ
ΜΕΣΟ ΠΑΛΙΡΡΟΙΑΚΟ ΕΥΡΟΣ	5	1	0	0
ΓΕΩΛΟΓΙΑ & ΠΑΡΑΚΤΙΕΣ ΓΕΩΜΟΡΦΕΣ	5	1,19944	0,181854781	0,909273906
ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΚΛΙΣΗ	5	1,24889	0,222255157	1,111275784
ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΤΗΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ	5	1,18077	0,166166768	0,83083384
ΜΕΣΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ ΥΨΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ	5	1,19655	0,179442416	0,89721208
ΣΧΕΤΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ	5	1	0	0
ΝΕΠΕΡΕΙΟΣ ΛΟΓΑΡΙΘΜΟΣ ΤΟΥ ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΟΡΟΥ				0,091119593
ΑΘΡΟΙΣΜΑ ΤΩΝ ΓΙΝΟΜΕΝΩΝ				3,839715204
ΤΙΜΗ NEW.CVI				46,51

Πίνακας 6.7: Θεωρητικό σενάριο για τον υπολογισμό του ανώτατου ορίου του εύρους τιμών του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΩΤΑΤΟΥ ΟΡΙΟΥ - ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΣΕΝΑΡΙΟ				
ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ/ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ	ΤΙΜΗ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ	ΤΙΜΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ	ΝΕΠΕΡΕΙΟΣ ΛΟΓΑΡΙΘΜΟΣ ΤΩΝ ΤΙΜΩΝ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ	ΓΙΝΟΜΕΝΟ ΤΩΝ ΛΟΓΑΡΙΘΜΩΝ ΜΕ ΤΙΣ ΤΙΜΕΣ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ
ΜΕΣΟ ΠΑΛΙΡΡΟΙΑΚΟ ΕΥΡΟΣ	5	1	0	0
ΓΕΩΛΟΓΙΑ & ΠΑΡΑΚΤΙΕΣ ΓΕΩΜΟΡΦΕΣ	5	1,19944	0,181854781	0,909273906
ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΚΛΙΣΗ	5	1,24889	0,222255157	1,111275784
ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΤΗΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ	5	1,18077	0,166166768	0,83083384
ΜΕΣΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ ΥΨΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ	5	1,19655	0,179442416	0,89721208
ΣΧΕΤΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ	3	1	0	0
ΝΕΠΕΡΕΙΟΣ ΛΟΓΑΡΙΘΜΟΣ ΤΟΥ ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΟΡΟΥ				0,091119593
ΑΘΡΟΙΣΜΑ ΤΩΝ ΓΙΝΟΜΕΝΩΝ				3,839715204
ΤΙΜΗ NEW.CVI				46,51

Πίνακας 6.8: Πραγματικό σενάριο για τον υπολογισμό του ανώτατου ορίου του εύρους τιμών του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας.

Έπειτα από προσεκτική παρατήρηση, είναι σαφές πως το θεωρητικό και το πραγματικό σενάριο προσδιορισμού του ανώτατου ορίου του εύρους τιμών του μοντέλου αποδίδουν το ίδιο αποτέλεσμα. Το συμπέρασμα αυτό ήταν αναμενόμενο, καθώς η μοναδική διαφορά των δύο σεναρίων έγκειται στην τιμή σχετικής επικινδυνότητας που δύναται να λάβει η μεταβλητή «Σχετική Μεταβολή της Στάθμης της Θάλασσας». Όπως είναι ήδη γνωστό, η

μεταβλητή αυτή δε συμμετέχει στον υπολογισμό του δείκτη. Τελικά, το ανώτατο όριο του εύρους τιμών του νέου μοντέλου για τον υπολογισμό του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας είναι η τιμή $NEW.CVI = 46,51$.

6.3.2 Κατώτατο όριο του εύρους τιμών

Το κατώτατο όριο του εύρους τιμών του νέου μοντέλου παράκτιας επικινδυνότητας προκύπτει εάν σε όλες τις μεταβλητές του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας αποδοθεί η χαμηλότερη τιμή σχετικής επικινδυνότητας, δηλαδή η τιμή (1). Το σκεπτικό αυτό έχει εφαρμογή σε όλες τις μεταβλητές, με εξαίρεση τις μεταβλητές «Μέσο Παλιρροιακό Εύρος» και «Σχετική Μεταβολή της Στάθμης της Θάλασσας», των οποίων η ελάχιστη δυνατή τιμή σχετικής επικινδυνότητας είναι οι τιμές (5) και (3) αντίστοιχα. Στη βάση των παραπάνω δομούνται τα δύο πιθανά σενάρια για την εύρεση της τιμής που λαμβάνει το κατώτατο όριο του εύρους τιμών του μοντέλου. Οι παρακάτω πίνακες αποδίδουν τόσο το θεωρητικό όσο και το πραγματικό σενάριο για τον προσδιορισμό του κατώτατου ορίου του εύρους τιμών που δύναται να λάβει ο Δείκτης Παράκτιας Επικινδυνότητας.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΤΩΤΑΤΟΥ ΟΡΙΟΥ - ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΣΕΝΑΡΙΟ				
ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ/ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ	ΤΙΜΗ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ	ΤΙΜΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ	ΝΕΠΕΡΕΙΟΣ ΛΟΓΑΡΙΘΜΟΣ ΤΩΝ ΤΙΜΩΝ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ	ΓΙΝΟΜΕΝΟ ΤΩΝ ΛΟΓΑΡΙΘΜΩΝ ΜΕ ΤΙΣ ΤΙΜΕΣ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ
ΜΕΣΟ ΠΑΛΙΡΡΟΙΑΚΟ ΕΥΡΟΣ	1	1	0	0
ΓΕΩΛΟΓΙΑ & ΠΑΡΑΚΤΙΕΣ ΓΕΩΜΟΡΦΕΣ	1	1,19944	0,181854781	0,181854781
ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΚΛΙΣΗ	1	1,24889	0,222255157	0,222255157
ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΤΗΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ	1	1,18077	0,166166768	0,166166768
ΜΕΣΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ ΥΨΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ	1	1,19655	0,179442416	0,179442416
ΣΧΕΤΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ	1	1	0	0
ΝΕΠΕΡΕΙΟΣ ΛΟΓΑΡΙΘΜΟΣ ΤΟΥ ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΟΡΟΥ				0,091119593
ΑΘΡΟΙΣΜΑ ΤΩΝ ΓΙΝΟΜΕΝΩΝ				0,840838715
ΤΙΜΗ NEW.CVI				2,32

Πίνακας 6.9: Θεωρητικό σενάριο για τον υπολογισμό του κατώτατου ορίου του εύρους τιμών του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΤΩΤΑΤΟΥ ΟΡΙΟΥ - ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΣΕΝΑΡΙΟ				
ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ/ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ	ΤΙΜΗ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ	ΤΙΜΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ	ΝΕΠΕΡΕΙΟΣ ΛΟΓΑΡΙΘΜΟΣ ΤΩΝ ΤΙΜΩΝ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ	ΓΙΝΟΜΕΝΟ ΤΩΝ ΛΟΓΑΡΙΘΜΩΝ ΜΕ ΤΙΣ ΤΙΜΕΣ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ
ΜΕΣΟ ΠΑΛΙΡΡΟΙΑΚΟ ΕΥΡΟΣ	5	1	0	0
ΓΕΩΛΟΓΙΑ & ΠΑΡΑΚΤΙΕΣ ΓΕΩΜΟΡΦΕΣ	1	1,19944	0,181854781	0,181854781
ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΚΛΙΣΗ	1	1,24889	0,222255157	0,222255157
ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΤΗΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ	1	1,18077	0,166166768	0,166166768
ΜΕΣΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ ΥΨΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ	1	1,19655	0,179442416	0,179442416
ΣΧΕΤΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ	3	1	0	0
ΝΕΠΕΡΕΙΟΣ ΛΟΓΑΡΙΘΜΟΣ ΤΟΥ ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΟΡΟΥ				0,091119593
ΑΘΡΟΙΣΜΑ ΤΩΝ ΓΙΝΟΜΕΝΩΝ				0,840838715
ΤΙΜΗ NEW.CVI				2,32

Πίνακας 6.10: Πραγματικό σενάριο για τον υπολογισμό του κατώτατου ορίου του εύρους τιμών του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας.

Έπειτα από προσεκτική παρατήρηση, είναι σαφές πως το θεωρητικό και το πραγματικό σενάριο προσδιορισμού του κατώτατου ορίου του εύρους τιμών του μοντέλου αποδίδουν το ίδιο αποτέλεσμα. Το συμπέρασμα αυτό ήταν αναμενόμενο, καθότι η μοναδική διαφορά των δύο σεναρίων έγκειται στην τιμή σχετικής επικινδυνότητας που δύναται να λάβει η μεταβλητή «Μέσο Παλιρροιακό Εύρος» και η μεταβλητή «Σχετική Μεταβολή της Στάθμης της Θάλασσας». Όπως είναι ήδη γνωστό, οι μεταβλητές αυτές δε συμμετέχουν στον υπολογισμό του δείκτη. Τελικά, το κατώτατο όριο του εύρους τιμών του νέου μοντέλου για τον υπολογισμό του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας είναι η τιμή $NEW.CVI = 2,32$.

6.3.3 Διαχωρισμός σε κλάσεις και απόδοση χαρακτηρισμών επικινδυνότητας

Η επιλογή των χαρακτηρισμών επικινδυνότητας στα πλαίσια της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, έγινε σύμφωνα με τους χαρακτηρισμούς που παραθέτονται στη Μεταπτυχιακή Εργασία με τίτλο «Ανάπτυξη συστήματος υπολογισμού Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας με τη χρήση της Γεωπληροφορικής» (Χαλκιάς, 2012). Αντίστοιχα, η επιλογή των επιμέρους ορίων των κλάσεων στηρίχθηκε στη γνώση του συνολικού εύρους τιμών που δύναται να λάβει ο Δείκτης Παράκτιας Επικινδυνότητας. Ειδικότερα, το συνολικό εύρος τιμών για το νέο μοντέλο παράκτιας επικινδυνότητας προέκυψε από τη διαφορά μεταξύ ανώτατου και κατώτατου ορίου του δείκτη.

Στη συνέχεια, το εύρος αυτό διαιρέθηκε σε πέντε (5) ίσα μέρη, όσα και οι διαθέσιμοι χαρακτηρισμοί παράκτιας επικινδυνότητας. Κάθε μέρος θα πρέπει να αποτελείται από 8,838

μονάδες του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας, γεγονός που υπαγορεύει τον διαχωρισμό των κλάσεων στο τρίτο δεκαδικό ψηφίο ώστε τα όρια των κλάσεων να είναι ισόποσα και σωστά. Ωστόσο, για λόγους τήρησης των κανόνων στρογγυλοποίησης που εφαρμόστηκαν σε όλη την έκταση της εργασίας, επιλέχθηκε να πραγματοποιηθεί ο καταμερισμός σε πέντε (5) ίσα μέρη, εκ των οποίων το κάθε μέρος αποτελείται από 8,84 μονάδες του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας. Οι κλάσεις του νέου μοντέλου παράκτιας επικινδυνότητας, καθώς επίσης και οι αντίστοιχοι χαρακτηρισμοί επικινδυνότητας, παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα.

ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΑ ΤΙΜΩΝ ΔΕΙΚΤΗ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΙ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ
2,32 - 11,16	ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΗ
11,17 - 20,00	ΧΑΜΗΛΗ
20,01 - 28,83	ΜΕΤΡΙΑ
28,84 - 37,67	ΥΨΗΛΗ
37,68 - 46,51	ΠΟΛΥ ΥΨΗΛΗ

Πίνακας 6.11: Καθορισμός των κλάσεων του μοντέλου και οι αντίστοιχοι χαρακτηρισμοί παράκτιας επικινδυνότητας.

Ο διαχωρισμός σε πέντε (5) αντί τέσσερα (4) ίσα υποδιαστήματα αποσκοπεί στον σαφέστερο προσδιορισμό της επικινδυνότητας των ακτογραμμών. Ειδικότερα, η χρήση του νέου τυπολογίου είναι περισσότερο πιθανό να σκιαγραφήσει εκείνες τις λεπτομέρειες που δύναται να χαρακτηρίσουν μια παράκτια περιοχή ως πολύ χαμηλής επικινδυνότητας, διαχωρίζοντάς την έτσι από μια άλλη παράκτια περιοχή η οποία χαρακτηρίζεται ως χαμηλής επικινδυνότητας. Με τον τρόπο αυτό παρέχεται η δυνατότητα της έγκυρης και αξιόπιστης αναγνώρισης των περιοχών εκείνων που μπορούν να θεωρηθούν ως ικανοποιητικά προστατευμένες, σε αντίθεση με τις περιοχές εκείνες για τις οποίες θα πρέπει να συζητηθεί το ενδεχόμενο λήψης των αναγκαίων μέτρων παράκτιας προστασίας. Με άλλα λόγια, παρέχεται στην πολιτική ηγεσία του τόπου ένα ισχυρό, ρεαλιστικό και αξιόπιστο εργαλείο για την διευκόλυνση στη διαδικασία λήψης των σωστών αποφάσεων επί του καίριου θέματος της επικινδυνότητας που αντιμετωπίζουν οι ελληνικές ακτογραμμές από το εγγύς θαλάσσιο περιβάλλον.

Η σελίδα παραμένει σκόπιμα λευκή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΥΠΟΛΟΓΙΟΥ ΕΠΙ ΔΕΔΟΜΕΝΗΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ

Σύμφωνα με τα κεφάλαια που προηγήθηκαν, στα πλαίσια της παρούσας μελέτης έχει θεωρηθεί ότι ο όρος «ακτογραμμή» είναι υποσύνολο του όρου «ακτή», με τα χαρακτηριστικά ενός προσεκτικά επιλεγμένου τμήματος ακτογραμμής να δύναται να περιγράψουν τα χαρακτηριστικά όλης της παράκτιας ζώνης που εξετάζεται κάθε φορά. Ο λόγος για την πραγματοποίηση μιας τέτοιας γενίκευσης είναι η ίδια η φύση της μελέτης και κατ' επέκταση το μέγεθος του δείγματος που αντανακλά τον γεννήτορα πληθυσμό.

Το νέο μαθηματικό τυπολόγιο που επιχειρείται να εξαχθεί από την παρούσα μελέτη θα πρέπει να έχει εφαρμογή σε όλες τις ακτογραμμές της χώρας, και άρα η ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος για την παρούσα μελέτη εκτείνεται σε όλη την παράκτια ελληνική επικράτεια. Κατά συνέπεια, η δειγματοληψία για τις ανάγκες εξαγωγής του ειδικού μαθηματικού τυπολογίου δεν περιορίζεται μόνο σε παράκτιες περιοχές του βόρειου ή νότιου τμήματος της χώρας, αντιθέτως το τελικά επιλεγμένο Δείγμα Ακτογραμμών αποτελείται από ένα σύνολο έντεκα (11) υποθετικών ακτογραμμών οι οποίες έχουν επιλεγεί από ποικίλλα σημεία της παράκτιας ελληνικής επικράτειας, είναι σε πλήρη συμφωνία με τα σύγχρονα ελληνικά δεδομένα και συγχρόνως παρουσιάζουν μια σειρά από διαφοροποιούμενα χαρακτηριστικά.

Την εξαγωγή του νέου τυπολογίου ακολούθησε ο έλεγχος συμβατότητας με τα αποτελέσματα που δίνει το ήδη υπάρχον μοντέλο του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας, και στη συνέχεια η άμεση σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο μοντέλων κατόπιν τυποποίησης των εξαρτημένων μεταβλητών του δείκτη. Ο έλεγχος αυτός αποτελεί την πρώτη ισχυρή απόδειξη της αξιοπιστίας του προτεινόμενου μαθηματικού μοντέλου για τον Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας, καθώς οι τιμές της απόκλισης των αποτελεσμάτων που αποδίδει το νέο τυπολόγιο από τις τιμές που αποδίδει το υπάρχον μοντέλο κυμαίνονται σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Το γεγονός αυτό αποδεικνύει τη συμβατότητα των αποτελεσμάτων των δύο μοντέλων, αλλά μόνο όσον αφορά σε δείγματα που συμπεριλαμβάνουν ακτογραμμές από πολλά και διαφορετικά σημεία της παράκτιας ελληνικής επικράτειας.

Ο Δείκτης Παράκτιας Επικινδυνότητας (*Coastal Vulnerability Index - CVI*) αποτελεί ένα απλό, αντικειμενικό και εύχρηστο εργαλείο προσδιορισμού της παράκτιας επικινδυνότητας μιας συγκεκριμένης παράκτιας ζώνης, η οποία βρίσκεται σε συνεχή αλληλεπίδραση με το εγγύς θαλάσσιο περιβάλλον και ίσως μελλοντικά τεθεί σε κίνδυνο από αυτό λόγω διακυμάνσεων της στάθμης των υδάτων. Στη βάση των παραπάνω, το παρόν κεφάλαιο της εργασίας περιγράφει μια επί της ουσίας εφαρμογή του νέου τυπολογίου που προτείνεται για τον

υπολογισμό του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας, προκειμένου να αποδειχθεί η αξιοπιστία του νέου μαθηματικού μοντέλου σε θέματα προσδιορισμού της παράκτιας επικινδυνότητας μιας ορισμένης ελληνικής ακτογραμμής.

Στα πλαίσια της εν λόγω εφαρμογής πραγματοποιείται κατά τα γνωστά η σύνθεση μιας *συνθετικής ακτογραμμής*, η οποία στηρίζεται σε ρεαλιστικές υποθέσεις για τα ελληνικά παράκτια δεδομένα. Συγχρόνως δημιουργείται ένα διαφορετικό δείγμα από το προηγούμενο, το οποίο συγκεντρώνει στοιχεία από τις *είκοσι (20)* επιμέρους διατομές στις οποίες διαμερίζεται η ακτογραμμή που μελετάται, ώστε να εξεταστεί τελικά η παράκτια επικινδυνότητα που η ακτογραμμή αυτή παρουσιάζει. Ο υπολογισμός των τιμών που λαμβάνει ο Δείκτης Παράκτιας Επικινδυνότητας για το συγκεκριμένο *Δείγμα Διατομών* πραγματοποιείται με όλα τα τυπολόγια που έχουν μέχρι στιγμής προταθεί για να υποστηρίξουν το μοντέλο παράκτιας επικινδυνότητας, για λόγους πληρότητας της εφαρμογής, και κυρίως σύγκρισης και επικοδομητικού σχολιασμού των αποτελεσμάτων.

7.1 Καθορισμός του Δείγματος Διατομών

Ο ακρογωνιαίος λίθος της εν λόγω εφαρμογής είναι το διαφορετικής φύσεως δείγμα στο οποίο αυτή στηρίζεται. Συγκεκριμένα, πρόκειται για ένα *Δείγμα Διατομών* μιας και μόνο συγκεκριμένης ελληνικής ακτογραμμής, σε αντίθεση με το *Δείγμα Ακτογραμμών* που χρησιμοποιήθηκε σε προηγούμενο στάδιο της παρούσας μελέτης και περιελάμβανε διαφορετικές ακτογραμμές επιλεγμένες από όλη την παράκτια ελληνική επικράτεια.

Η ακτογραμμή που επιλέχθηκε αποτελεί μια *συνθετική ακτογραμμή*, με άλλα λόγια πρόκειται για μια παράκτια ζώνη η οποία έχει προκύψει στη βάση ρεαλιστικών υποθέσεων για τα ελληνικά δεδομένα και αντανακλά μια μέση ελληνική παράκτια ζώνη. Η ζώνη αυτή έχει χωριστεί σε *είκοσι (20)* διατομές ίσου μήκους για λόγους μελέτης και προσδιορισμού της παράκτιας επικινδυνότητας. Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει το εν λόγω Δείγμα Διατομών.

ΔΕΙΓΜΑ ΔΙΑΤΟΜΩΝ						
ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ/ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΔΕΙΚΤΗ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ	ΜΕΣΟ ΠΑΛΙΡΡΟΙΑΚΟ ΕΥΡΟΣ	ΣΧΕΤΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ	ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΚΛΙΣΗ	ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΤΙΕΣ ΓΕΩΜΟΡΦΕΣ	ΜΕΣΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ ΥΨΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ	ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΤΗΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ
Δ1	5	3	2	4	3	4
Δ2	5	3	4	4	3	4
Δ3	5	3	3	4	3	4
Δ4	5	3	5	4	3	4
Δ5	5	3	1	4	3	4
Δ6	5	3	3	4	3	4
Δ7	5	3	2	4	3	4
Δ8	5	3	4	4	3	4
Δ9	5	3	4	4	3	4
Δ10	5	3	5	4	3	4
Δ11	5	3	5	3	3	4
Δ12	5	3	1	3	3	4
Δ13	5	3	2	3	3	4
Δ14	5	3	2	3	3	4
Δ15	5	3	3	3	3	4
Δ16	5	3	3	3	3	4
Δ17	5	3	1	3	3	4
Δ18	5	3	1	3	3	4
Δ19	5	3	2	3	3	4
Δ20	5	3	2	3	3	4

Πίνακας 7.1 : Οι τιμές σχετικής επικινδυνότητας που λαμβάνει το Δείγμα Διατομών.

Η απόδοση τιμών σχετικής επικινδυνότητας στις έξι (6) βασικές μεταβλητές του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας ακολουθεί κατά κύριο λόγο όλα όσα έχουν αναλυθεί και σχολιαστεί σε προηγούμενα κεφάλαια της παρούσας εργασίας. Έτσι:

- Η μεταβλητή «Μέσο Παλιρροιακό Εύρος» λαμβάνει για όλες τις διατομές την τιμή (5), ενώ αντίστοιχα η μεταβλητή «Σχετική Μεταβολή της Μέσης Στάθμης της Θάλασσας» λαμβάνει για όλες τις διατομές την τιμή σχετικής επικινδυνότητας (3).
- Η μεταβλητή «Παράκτια Κλίση» λαμβάνει τιμές σχετικής επικινδυνότητας από (1) έως και (5), ενώ αντιθέτως η μεταβλητή «Γεωλογία και Παράκτιες Γεωμορφές» διατηρεί σταθερές τις τιμές που λαμβάνουν οι δέκα (10) πρώτες και δέκα (10) τελευταίες διατομές. Ο λόγος που επιλέχθηκε να γίνει αυτό είναι διότι η κλίση μπορεί να αλλάζει κατά μήκος της ακτογραμμής, ενώ η γεωλογία σπάνια αλλάζει για μικρές αποστάσεις. Έτσι, η τιμή σχετικής επικινδυνότητας που αποδίδεται στις δέκα (10) πρώτες διατομές είναι η τιμή (4), και αντίστοιχα η τιμή (3) στις υπόλοιπες διατομές.
- Η μεταβλητή «Μέσο Σημαντικό Ύψος Κύματος» λαμβάνει για όλες τις διατομές την τιμή (3), ενώ η μεταβλητή «Ιστορική Μετατόπιση της Ακτογραμμής» λαμβάνει για όλες τις διατομές την τιμή σχετικής επικινδυνότητας (4).

7.2 Αποτελέσματα για τον Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας

Το επόμενο βήμα της εφαρμογής που βρίσκεται σε εξέλιξη είναι ο υπολογισμός των τιμών για τον Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας, όπως αυτές προκύπτουν με χρήση του προτεινόμενου τυπολογίου, του υπάρχοντος μοντέλου αλλά και όλων των υπόλοιπων μαθηματικών τύπων που έχουν κατά καιρούς προταθεί στα πλαίσια προσδιορισμού του ειδικού χαρακτηρισμού επικινδυνότητας μιας συγκεκριμένης παράκτιας περιοχής. Το σύνολο των μαθηματικών τύπων που χρησιμοποιούνται για την εν λόγω εφαρμογή, παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.2, ενώ τα αποτελέσματα που οι μαθηματικοί αυτοί τύποι αποδίδουν για το συγκεκριμένο Δείγμα Διατομών συγκεντρώνονται στον Πίνακα 7.3.

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΤΥΠΟΥ	ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ
ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΣ ΜΕΣΟΣ	$CVI = \frac{(a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot e \cdot f)}{6}$
ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΣ ΜΕΣΟΣ (1)	$CVI = \frac{a \cdot b \cdot c \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot d\right) \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot (e + f)\right)}{4}$
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΑΘΡΟΙΣΜΑΤΟΣ ΤΕΤΡΑΓΩΝΩΝ	$CVI = \frac{(a^2 + b^2 + c^2 + d^2 + e^2 + f^2)}{6}$
ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΣ ΜΕΣΟΣ (2)	$CVI = \frac{(a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot e \cdot f)}{5^2}$
ΑΘΡΟΙΣΜΑ ΓΙΝΟΜΕΝΩΝ	$CVI = 4 \cdot a + 4 \cdot b + 4 \cdot c + 2 \cdot d + 2 \cdot (e + f)$
ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΗ ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΥ ΜΕΣΟΥ	$CVI = \sqrt{\frac{(b \cdot c \cdot d \cdot a \cdot e \cdot f)}{6}}$
ΕΞΙΣΩΣΗ ΕΚΘΕΤΙΚΗΣ ΜΟΡΦΗΣ (ΝΕΟ ΤΥΠΟΛΟΓΙΟ)	$CVI = B \cdot (m_1^f) \cdot (m_2^a) \cdot (m_3^b) \cdot (m_4^d) \cdot (m_5^e) \cdot (m_6^c)$

Πίνακας 7.2: Ο πλήρης κατάλογος των τυποποιήσεων του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας.

ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ/ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ	ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΣ ΜΕΣΟΣ	ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΣ ΜΕΣΟΣ (1)	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΑΘΡΟΙΣΜΑΤΟΣ ΤΕΤΡΑΓΩΝΩΝ	ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΣ ΜΕΣΟΣ (2)	ΑΘΡΟΙΣΜΑ ΓΙΝΟΜΕΝΩΝ	ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΗ ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΥ ΜΕΣΟΥ	ΕΞΙΣΩΣΗ ΕΚΘΕΤΙΚΗΣ ΜΟΡΦΗΣ (ΝΕΟ ΤΥΠΟΛΟΓΙΟ)
Δ1	240,00	48,00	13,17	57,60	68,00	15,49	11,78
Δ2	480,00	96,00	15,17	115,20	76,00	21,91	18,37
Δ3	360,00	72,00	14,00	86,40	72,00	18,97	14,71
Δ4	600,00	120,00	16,67	144,00	80,00	24,49	22,94
Δ5	120,00	24,00	12,67	28,80	64,00	10,95	9,43
Δ6	360,00	72,00	14,00	86,40	72,00	18,97	14,71
Δ7	240,00	48,00	13,17	57,60	68,00	15,49	11,78
Δ8	480,00	96,00	15,17	115,20	76,00	21,91	18,37
Δ9	480,00	96,00	15,17	115,20	76,00	21,91	18,37
Δ10	600,00	120,00	16,67	144,00	80,00	24,49	22,94
Δ11	450,00	90,00	15,50	108,00	78,00	21,21	19,12
Δ12	90,00	18,00	11,50	21,60	62,00	9,49	7,86
Δ13	180,00	36,00	12,00	43,20	66,00	13,42	9,82
Δ14	180,00	36,00	12,00	43,20	66,00	13,42	9,82
Δ15	270,00	54,00	12,83	64,80	70,00	16,43	12,26
Δ16	270,00	54,00	12,83	64,80	70,00	16,43	12,26
Δ17	90,00	18,00	11,50	21,60	62,00	9,49	7,86
Δ18	90,00	18,00	11,50	21,60	62,00	9,49	7,86
Δ19	180,00	36,00	12,00	43,20	66,00	13,42	9,82
Δ20	180,00	36,00	12,00	43,20	66,00	13,42	9,82

Πίνακας 7.3: Οι τιμές που λαμβάνει ο Δείκτης Παράκτιας Επικινδυνότητας
ανά μαθηματικό τυπολόγιο.

Οι παράγοντες *a, b, c, d, e, f* λαμβάνουν ακέραιες τιμές σχετικής επικινδυνότητας από (1) έως (5) σύμφωνα με τον πίνακα κατηγοριοποίησης κατά *Gornitz* και *White (1992)*, και για όλους τους παρακάτω μαθηματικούς τύπους, αντιστοιχούν στις εξής μεταβλητές:

- *Γεωλογία και Παράκτιες Γεωμορφές (a)*
- *Παράκτια Κλίση (b)*
- *Σχετική Μεταβολή της Στάθμης της Θάλασσας (c)*
- *Ιστορική Μετατόπιση της Ακτογραμμής (d)*
- *Μέσο Σημαντικό Ύψος Κύματος (e)*
- *Μέσο Παλιρροιακό Εύρος (f)*
- *Σταθερός όρος (B)*

Οι ποικίλοι μαθηματικοί τύποι για τον υπολογισμό των τιμών του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας αποδίδουν κατά περίπτωση αποτελέσματα με διαφορετικό αριθμό δεκαδικών ψηφίων. Το γεγονός αυτό ήταν αναμενόμενο, δεδομένου του ότι ο κάθε μαθηματικός τύπος αποδίδει τιμές για τον δείκτη σε διαφορετική κλίμακα μέτρησης συγκριτικά με τους υπόλοιπους. Προκειμένου να παρουσιαστούν τα αποτελέσματα των μαθηματικών τυπολογίων με τρόπο σαφή αλλά και εύχρηστο για την πορεία της εφαρμογής, τα τελικά αποτελέσματα από όλους τους μαθηματικούς τύπους έχουν στρογγυλοποιηθεί στο δεύτερο δεκαδικό ψηφίο.

Στο σημείο αυτό σημειώνεται πως, για τις ανάγκες της παρούσας εφαρμογής δεν απαιτείται η σύγκριση των τελικών αποτελεσμάτων που αποδίδουν τα διαφορετικά τυπολόγια για τον Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας, παρά μόνο ο συγκριτικός σχολιασμός των χαρακτηρισμών επικινδυνότητας που θα αποδοθούν σε καθεμία από τις διατομές και τελικά στο σύνολο της ακτογραμμής. Συνεπώς, δεν απαιτείται η τυποποίηση των αποτελεσμάτων που αποδίδουν οι μαθηματικοί τύποι για τον προσδιορισμό του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας.

7.3 Καθορισμός των ανώτατων και κατώτατων ορίων ανά τυπολόγιο

Απαραίτητο στοιχείο για την ολοκλήρωση της εφαρμογής είναι ο υπολογισμός του συνολικού εύρους τιμών, εντός του οποίου ο κάθε μαθηματικός τύπος δύναται να αποδώσει τιμές στον Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας. Ο προσδιορισμός του συνολικού εύρους τιμών για κάθε τυπολόγιο είναι ένα απαιτούμενο βήμα που προηγείται της διαδικασίας προσδιορισμού των χαρακτηρισμών επικινδυνότητας, καθότι πρόκειται για τον διαχωρισμό του συνολικού εύρους σε επιμέρους εύρη τιμών, τα οποία είναι γνωστά ως *κλάσεις*.

Το συνολικό εύρος που χαρακτηρίζει έναν μαθηματικό τύπο προκύπτει από τη διαφορά της μέγιστης δυνατής και της ελάχιστης δυνατής τιμής που μπορεί να λάβει ο δείκτης. Η μέγιστη τιμή που δύναται να αποδώσει ένας μαθηματικός τύπος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας, προκύπτει εάν όλες οι μεταβλητές του δείκτη που συμπεριλαμβάνονται στον τύπο λάβουν την τιμή σχετικής επικινδυνότητας (5). Αντίστοιχα για την ελάχιστη τιμή, προκύπτει εάν όλες οι τιμές στον μαθηματικό τύπο λάβουν την τιμή σχετικής επικινδυνότητας (1). Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται ξεχωριστά ανά μαθηματικό τυπολόγιο του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας, λόγω της διαφορετικής κλίμακας τιμών στην οποία το καθένα αναφέρεται. Τα αποτελέσματα στρογγυλοποιούνται στο δεύτερο δεκαδικό ψηφίο, συγκεντρώνονται και παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα.

ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ/ ΑΚΡΑΙΑ ΣΗΜΕΙΑ ΚΑΙ ΕΥΡΟΣ ΤΙΜΩΝ	ΑΝΩΤΑΤΟ ΟΡΙΟ	ΚΑΤΩΤΑΤΟ ΟΡΙΟ	ΕΥΡΟΣ ΤΙΜΩΝ
ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΣ ΜΕΣΟΣ	2604,17	0,17	2604,00
ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΣ ΜΕΣΟΣ (1)	390,63	0,13	390,50
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΑΘΡΟΙΣΜΑΤΟΣ ΤΕΤΡΑΓΩΝΩΝ	25,00	1,00	24,00
ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΣ ΜΕΣΟΣ (2)	625,00	0,04	624,96
ΑΘΡΟΙΣΜΑ ΠΙΝΟΜΕΝΩΝ	100,00	20,00	80,00
ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΗ ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΥ ΜΕΣΟΥ	51,03	0,41	50,62
ΕΞΙΣΩΣΗ ΕΚΘΕΤΙΚΗΣ ΜΟΡΦΗΣ (ΝΕΟ ΤΥΠΟΛΟΓΙΟ)	46,51	2,32	44,19

Πίνακας 7.4: Συγκεντρωτική παρουσίαση των ακραίων σημείων και του εύρους τιμών ανά τυπολόγιο.

Μια προσεκτικότερη παρατήρηση του παραπάνω πίνακα επαληθεύει το γεγονός ότι οι μαθηματικοί τύποι που έχουν κατά καιρούς προταθεί για τον υπολογισμό του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας και τον προσδιορισμό της επικινδυνότητας μιας παράκτιας περιοχής, αναφέρονται σε τελείως διαφορετικές κλίμακες μέτρησης, ενώ ταυτόχρονα διαφέρει το μέγεθος που έχει το εύρος τιμών ανά τυπολόγιο. Το γεγονός αυτό αναμένεται να έχει επίδραση στο μέγεθος που θα έχουν τα επιμέρους εύρη τιμών για το κάθε τυπολόγιο, και άρα στο μέγεθος των επιμέρους κλάσεων που πρόκειται να δημιουργηθούν. Με αλυσιδωτό τρόπο εξάγεται το συμπέρασμα ότι ο χαρακτηρισμός επικινδυνότητας που αποδίδεται σε μια παράκτια περιοχή πιθανότατα θα διαφέρει, ανάλογα με το τυπολόγιο του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί.

7.4 Διαχωρισμός σε κλάσεις και απόδοση χαρακτηρισμών επικινδυνότητας

Στις παραγράφους που προηγήθηκαν, προσδιορίστηκε το συνολικό εύρος τιμών που χαρακτηρίζει κάθε μαθηματικό τυπολόγιο του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας. Επόμενο βήμα της διαδικασίας είναι η διαίρεση του κάθε εύρους τιμών σε πέντε (5) επιμέρους ίσα τμήματα, ακολουθώντας τον αριθμό των διαθέσιμων χαρακτηρισμών παράκτιας επικινδυνότητας. Με άλλα λόγια, πραγματοποιείται ο διαχωρισμός του κάθε συνολικού εύρους τιμών σε *ποσοστημόρια των 20%*, προκειμένου να επιτευχθεί ο σαφέστερος προσδιορισμός της επικινδυνότητας των ακτογραμμών. Η επιλογή των επιμέρους χαρακτηρισμών επικινδυνότητας στα πλαίσια της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, έγινε σύμφωνα με τους χαρακτηρισμούς που παραθέτονται στην Μεταπτυχιακή Εργασία με τίτλο «*Ανάπτυξη συστήματος υπολογισμού Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας με τη χρήση της Γεωπληροφορικής*» (Χαλκιάς, 2012).

ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ/ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΙ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ	ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΗ	ΧΑΜΗΛΗ	ΜΕΤΡΙΑ	ΥΨΗΛΗ	ΠΟΛΥ ΥΨΗΛΗ
ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΣ ΜΕΣΟΣ	0,17 - 520,97	520,98 - 1041,77	1041,78 - 1562,57	1562,58 - 2083,37	2083,38 - 2604,17
ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΣ ΜΕΣΟΣ (1)	0,13 - 78,23	78,24 - 156,33	156,34 - 234,43	234,44 - 312,53	312,54 - 390,63
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΑΘΡΟΙΣΜΑΤΟΣ ΤΕΤΡΑΓΩΝΩΝ	1,00 - 5,80	5,81 - 10,60	10,61 - 15,40	15,41 - 20,20	20,21 - 25,00
ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΣ ΜΕΣΟΣ (2)	0,04 - 125,03	125,04 - 250,02	250,03 - 375,02	375,03 - 500,01	500,02 - 625,00
ΑΘΡΟΙΣΜΑ ΓΙΝΟΜΕΝΩΝ	20,00 - 36,00	36,01 - 52,00	52,01 - 68,00	68,01 - 84,00	84,01 - 100,00
ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΗ ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΥ ΜΕΣΟΥ	0,41 - 10,53	10,54 - 20,66	20,67 - 30,78	30,79 - 40,91	40,92 - 51,03
ΕΞΙΣΩΣΗ ΕΚΘΕΤΙΚΗΣ ΜΟΡΦΗΣ (ΝΕΟ ΤΥΠΟΛΟΓΙΟ)	2,32 - 11,16	11,17 - 20,00	20,01 - 28,83	28,84 - 37,67	37,68 - 46,51

Πίνακας 7.5: Οι χαρακτηρισμοί παράκτιας επικινδυνότητας
ανά μαθηματικό τυπολόγιο του δείκτη.

Στον παραπάνω πίνακα αναγράφονται για όλους τους διαθέσιμους μαθηματικούς τύπους του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας τα επιμέρους διαστήματα τιμών του δείκτη και ο χαρακτηρισμός παράκτιας επικινδυνότητας που αντιστοιχεί σε κάθε διάστημα τιμών. Ο πίνακας αυτός πρόκειται να χρησιμοποιηθεί ως η βάση για τη απόδοση χαρακτηρισμών παράκτιας επικινδυνότητας τόσο σε κάθε διατομή ξεχωριστά, όσο και στο σύνολο της υπό μελέτης ακτογραμμής.

7.5 Τελικά αποτελέσματα εφαρμογής και σχολιασμός

Με βάση την ανάλυση που προηγήθηκε, τελευταίο στάδιο της παρούσας εφαρμογής είναι η απόδοση των χαρακτηρισμών επικινδυνότητας που αντιστοιχούν στις τιμές που προέκυψαν από τη χρήση όλων των διαθέσιμων μαθηματικών τυπολογίων του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται τόσο σε κάθε διατομή ξεχωριστά, όσο και στην ακτογραμμή που εξετάζεται ως σύνολο, για λόγους πληρότητας της εν λόγω εφαρμογής. Ειδικότερα, ο τελικός χαρακτηρισμός επικινδυνότητας της ακτογραμμής θα αποδοθεί στην ακτογραμμή σύμφωνα με τον μέσο όρο των τιμών που αποδίδει ο εκάστοτε τύπος για τις διατομές.

Τα αποτελέσματα συγκεντρώνονται και παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα. Ο πίνακας αυτός παρουσιάζει τις τιμές που λαμβάνει ο Δείκτης Παράκτιας Επικινδυνότητας ανά μαθηματικό τυπολόγιο και ανά διατομή. Ανάλογα με τα επιμέρους εύρη τιμών που προσδιορίστηκαν λίγο νωρίτερα για τον κάθε μαθηματικό τύπο, αποδίδεται ο αντίστοιχος χαρακτηρισμός επικινδυνότητας σε κάθε διατομή, ενώ για λόγους ευκολίας στην ανάγνωση του περιεχομένου του πίνακα χρησιμοποιείται η χρωματική διαβάθμιση των χαρακτηρισμών επικινδυνότητας, όπως αυτοί προσδιορίστηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας. Εν συνεχεία, υπολογίζεται ο μέσος όρος των τιμών που περιέχονται σε κάθε στήλη του πίνακα, προκειμένου να υπολογιστεί η τελική τιμή του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας ανά τυπολόγιο και να αποδοθεί ο εκάστοτε τελικός χαρακτηρισμός επικινδυνότητας που περιγράφει το πόσο επιρρεπής είναι η υπό μελέτη ακτογραμμή από μια ενδεχόμενη άνοδο της στάθμης της θάλασσας.

Σε γενικές γραμμές εξαιρετικά βοηθητική είναι η χρωματική διαβάθμιση των χαρακτηρισμών επικινδυνότητας, καθώς προτού ακόμα υπολογιστούν οι μέσοι όροι των τιμών του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας που λαμβάνουν οι διατομές, μια απλή ματιά σε κάθε στήλη του παραπάνω πίνακα αρκεί ώστε να αναγνωρισθεί ο χαρακτηρισμός επικινδυνότητας που η ακτογραμμή λαμβάνει με χρήση του εκάστοτε μαθηματικού τυπολογίου του δείκτη.

ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ/ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ	ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΣ ΜΕΣΟΣ	ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΣ ΜΕΣΟΣ (1)	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΑΘΡΟΙΣΜΑΤΟΣ ΤΕΤΡΑΓΩΝΩΝ	ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΣ ΜΕΣΟΣ (2)	ΑΘΡΟΙΣΜΑ ΓΙΝΟΜΕΝΩΝ	ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΗ ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΥ ΜΕΣΟΥ	ΕΞΙΣΩΣΗ ΕΚΘΕΤΙΚΗΣ ΜΟΡΦΗΣ (ΝΕΟ ΤΥΠΟΛΟΓΙΟ)
Δ1	240,00	48,00	13,17	57,60	68,00	15,49	11,78
Δ2	480,00	96,00	15,17	115,20	76,00	21,91	18,37
Δ3	360,00	72,00	14,00	86,40	72,00	18,97	14,71
Δ4	600,00	120,00	16,67	144,00	80,00	24,49	22,94
Δ5	120,00	24,00	12,67	28,80	64,00	10,95	9,43
Δ6	360,00	72,00	14,00	86,40	72,00	18,97	14,71
Δ7	240,00	48,00	13,17	57,60	68,00	15,49	11,78
Δ8	480,00	96,00	15,17	115,20	76,00	21,91	18,37
Δ9	480,00	96,00	15,17	115,20	76,00	21,91	18,37
Δ10	600,00	120,00	16,67	144,00	80,00	24,49	22,94
Δ11	450,00	90,00	15,50	108,00	78,00	21,21	19,12
Δ12	90,00	18,00	11,50	21,60	62,00	9,49	7,86
Δ13	180,00	36,00	12,00	43,20	66,00	13,42	9,82
Δ14	180,00	36,00	12,00	43,20	66,00	13,42	9,82
Δ15	270,00	54,00	12,83	64,80	70,00	16,43	12,26
Δ16	270,00	54,00	12,83	64,80	70,00	16,43	12,26
Δ17	90,00	18,00	11,50	21,60	62,00	9,49	7,86
Δ18	90,00	18,00	11,50	21,60	62,00	9,49	7,86
Δ19	180,00	36,00	12,00	43,20	66,00	13,42	9,82
Δ20	180,00	36,00	12,00	43,20	66,00	13,42	9,82
ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗ	297,00	59,40	13,48	71,28	70,00	16,54	13,49

Πίνακας 7.6: Συγκεντρωτική παρουσίαση των τελικών αποτελεσμάτων του Δεικτη Παρακτιας Επικινδυνότητας για την υπό μελέτη ακτογραμμή.

Μια προσεκτικότερη παρατήρηση του παραπάνω πίνακα καθιστά σαφές ότι στην ουσία το προτεινόμενο τυπολόγιο για τον υπολογισμό του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας αποδίδει συμβατά αποτελέσματα με το ήδη υπάρχον μοντέλο, ακόμα και αν το δείγμα που χρησιμοποιήθηκε δεν περιλαμβάνει πολλές ακτογραμμές της παράκτιας ελληνικής επικράτειας, αλλά επικεντρώνοντας την έρευνα σε μία και μόνο ακτογραμμή, η οποία έχει διαμεριστεί σε είκοσι (20) επιμέρους διατομές ώστε να εξεταστεί η παράκτια επικινδυνότητα που αυτή παρουσιάζει. Με άλλα λόγια, η παρούσα εφαρμογή αποδεικνύει έμπρακτα ότι η εξίσωση εκθετικής μορφής που εξάγεται από τη δια χειρός Διπλωματική Εργασία, είναι σε λογική σύγκριση με την τετραγωνική ρίζα του γεωμετρικού μέσου που αποτελεί τον μαθηματικό τύπο ο οποίος χρησιμοποιείται ευρύτατα για τον υπολογισμό του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας, ενώ επιπρόσθετα το νέο τυπολόγιο *αντιμετωπίζει τις μεταβλητές με την τιμή βαρύτητας που αντιστοιχεί σε καθεμία από αυτές και όχι ισοβαρώς.*

Επιπρόσθετα, η εν λόγω εφαρμογή καταδεικνύει την αδυναμία των μαθηματικών τυπολογίων πλην της τετραγωνικής ρίζας του γεωμετρικού μέσου να αποδώσουν με αξιόπιστο τρόπο την πραγματική κατάσταση. Συγκεκριμένα, ο *Γεωμετρικός Μέσος* και οι *Τροποποιημένοι Γεωμετρικοί Μέσοι (1) και (2)* κατατάσσουν την ακτογραμμή ως *πολύ χαμηλής επικινδυνότητας*, εξαιρώντας τη με αυτό τον τρόπο από ενδεχόμενα μελλοντικά σχέδια για εφαρμογή μέτρων παράκτιας προστασίας. Αντίθετα, ο *Μέσος Όρος Αθροίσματος Τετραγώνων* κατατάσσει την ακτογραμμή ως *μέτριας επικινδυνότητας* λόγω της πλειοψηφίας των διατομών μέτριας επικινδυνότητας, τη στιγμή που το *Άθροισμα Γινομένων* κατατάσσει οριακά την ακτογραμμή ως *υψηλής επικινδυνότητας*, λόγω της ισοβαθμίας των διατομών που κατατάσσονται ως μέτριας και υψηλής επικινδυνότητας, γεγονός που επιβάλλει τη επιλογή του δυσμενέστερου σεναρίου ως το περισσότερο ρεαλιστικό.

Σε συνέχεια των παραπάνω, η *Εξίσωση Εκθετικής Μορφής (το Νέο Τυπολόγιο)* κατατάσσει την ακτογραμμή ως *χαμηλής επικινδυνότητας* και ο χαρακτηρισμός αυτός είναι σε συμφωνία με την κατάταξη που αποδίδεται στην ακτογραμμή ως σύνολο από την *Τετραγωνική Ρίζα του Γεωμετρικού Μέσου*, που χρησιμοποιείται κατά κόρον σε θέματα προσδιορισμού της επικινδυνότητας μιας παράκτιας ζώνης. Συγκεκριμένα, το νέο τυπολόγιο κατατάσσει περισσότερες διατομές ως *χαμηλής επικινδυνότητας*, σε αντίθεση με το υπάρχον τυπολόγιο που κατατάσσει αισθητά περισσότερες διατομές ως *μέτριας επικινδυνότητας* και άρα ίσως τεθεί το ερώτημα της ανάγκης κατάταξης της συνολικής ακτογραμμής ως μέτριας επικινδυνότητας προκειμένου να προληφθούν ενδεχόμενα μελλοντικά προβλήματα κατάκλυσης της εν λόγω ακτογραμμής.

Στα πλαίσια όλων όσων αναλύθηκαν παραπάνω, εξάγεται ως άμεσο συμπέρασμα της συγκεκριμένης εφαρμογής πως η *Εξίσωση Εκθετικής Μορφής (το Νέο Τυπολόγιο)* αποτελεί μια *αξιόπιστη μέθοδο* απόδοσης χαρακτηρισμών επικινδυνότητας σε ελληνικές παράκτιες ζώνες και ταυτόχρονα την *περισσότερο ρεαλιστική λύση* από τις μέχρι στιγμής υπάρχουσες.

Η σελίδα παραμένει σκόπιμα λευκή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΑ ΣΧΟΛΙΑ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Το παρόν κεφάλαιο αποτελεί τον επίλογο της παρούσας μελέτης με τίτλο:

«Δείκτης Παράκτιας Επικινδυνότητας: Διερεύνηση της Αξιολόγησης των Παραμέτρων Κινδύνου του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας»

“Coastal Vulnerability Index (CVI): Project Study on the Evaluation of the Index’s Risk Parameters”.

Στο κεφάλαιο αυτό επιχειρείται να αποδοθεί με συμπερασματικό τρόπο το σύνολο των αποτελεσμάτων της μελέτης που διεξήχθη, καθώς επίσης και κάποιιοι σχολιασμοί επί των αποτελεσμάτων αυτών. Παράλληλα, παρουσιάζονται ορισμένες ενδιαφέρουσες σκέψεις και προτάσεις για μια μελλοντική ενασχόληση με το αντικείμενο της μαθηματικής περιγραφής της παράκτιας επικινδυνότητας, με την ελπίδα ότι η νέα έρευνα θα πάει την παρούσα μελέτη ένα βήμα παραπέρα.

8.1 Αποτελέσματα της μελέτης

Σκοπός της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας ήταν να μελετηθεί σε βάθος το αντικείμενο της απόδοσης ενός αξιόπιστου χαρακτηρισμού σε ακτογραμμές της ελληνικής επικράτειας, ο οποίος να περιγράφει με μια λέξη την πιθανότητα κατάκλυσης που αντιμετωπίζει μια συγκεκριμένη παράκτια ζώνη σε μια ενδεχόμενη άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Ο χαρακτηρισμός αυτός καλείται *χαρακτηρισμός επικινδυνότητας* και αποδίδεται με βάση την τιμή που λαμβάνει ένας συγκεκριμένος δείκτης, ο λεγόμενος *Δείκτης Παράκτιας Επικινδυνότητας*. Η τιμή του δείκτη αυτού προκύπτει για κάθε ακτογραμμή με βάση την *τιμή σχετικής επικινδυνότητας* που λαμβάνουν έξι (6) συγκεκριμένες μεταβλητές, εκφρασμένη σε κοινή κλίμακα από το (1) έως το (5). Οι μεταβλητές αυτές σε καμία περίπτωση δε συνεισφέρουν με τον ίδιο τρόπο στον υπολογισμό του δείκτη, ωστόσο δεν είναι εύκολη μια σαφής ιεράρχηση λόγω του υποκειμενικού χαρακτήρα της διαδικασίας.

Μέχρι στιγμής, το υπάρχον τυπολόγιο απέδιδε τιμές στον Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η ιδιαίτερη βαρύτητα της κάθε μεταβλητής όσον αφορά στη συμβολή στο φαινόμενο της κατάκλυσης. Το γεγονός αυτό αποτέλεσε το έναυσμα για τη σύνθεση της παρούσας μελέτης παράκτιας επικινδυνότητας, με απώτερο στόχο να αποδοθούν ειδικές τιμές βαρύτητας στις μεταβλητές, όπως αυτές προκύπτουν από μαθηματικό

συλλογισμό και ανάλυση. Το πρώτο βήμα, λοιπόν, ήταν η απόπειρα ιεράρχησης των μεταβλητών αυτών μέσα από μια διαδικασία *πολυκριτηριακής ανάλυσης*. Ειδικότερα, δομήθηκαν *τρία (3)* εναλλακτικά σενάρια ιεράρχησης και η τελική επιλογή πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο *πολυκριτηριακής ανάλυσης REGIME*. Η συγκεκριμένη σειρά ιεραρχίας αποτέλεσε τον ακρογωνιαίο λίθο για τη μελέτη απόδοσης των ειδικών τιμών βαρύτητας στις μεταβλητές και είναι η εξής:

- I. Μέσο Παλιρροιακό Εύρος.
- II. Γεωλογία & Παράκτιες Γεωμορφές.
- III. Παράκτια Κλίση.
- IV. Ιστορική Μετατόπιση της Ακτογραμμής.
- V. Μέσο Σημαντικό Ύψος Κύματος.
- VI. Σχετική Μεταβολή της Στάθμης της Θάλασσας.

Η μαθηματική ανάλυση για την απόδοση βαρών απαιτεί, όπως είναι λογικό, συγκεκριμένα αρχικά δεδομένα, πάντα σε συμφωνία με τον σκοπό της μελέτης και την ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος που αυτή επιχειρεί να καλύψει. Η εν λόγω μελέτη πραγματοποιείται για τις ανάγκες προσδιορισμού ενός νέου μαθηματικού τυπολογίου υπολογισμού του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας, με την απαίτηση το τυπολόγιο αυτό να έχει εφαρμογή σε όλη την παράκτια ελληνική επικράτεια. Συνεπώς, η δειγματοληψία για τις ανάγκες εξαγωγής του μαθηματικού αυτού τυπολογίου δεν περιορίζεται μόνο σε παράκτιες περιοχές του βόρειου ή νότιου τμήματος της χώρας, αντιθέτως το τελικά επιλεγμένο *Δείγμα Ακτογραμμών* αποτελείται από ένα σύνολο *έντεκα (11)* ακτογραμμών οι οποίες έχουν επιλεγεί προσεκτικά από ποικίλλα σημεία της παράκτιας ελληνικής επικράτειας.

Η δειγματοληψία για τις ελληνικές ακτογραμμές πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τις βασικές αρχές και τις γενικότερες κατευθύνσεις της επιστήμης της Δειγματοληψίας στα πλαίσια της Στατιστικής Θεωρίας. Ωστόσο, λόγω του εκτεταμένου μεγέθους της περιοχής μελέτης, για τις ανάγκες της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας επιλέχθηκαν *συνθετικά δεδομένα*. Με άλλα λόγια, οι περιπτώσεις ακτογραμμών είναι *πλασματικές* αλλά στηρίζονται σε ρεαλιστικές υποθέσεις για τα χαρακτηριστικά εκείνα που ενδιαφέρουν στη συγκεκριμένη μελέτη. Λόγω της πλασματικότητας των δεδομένων, πραγματοποιήθηκε η σύνθεση *τριών (3)* διαφορετικών εναλλακτικών σεναρίων δειγματοληψίας, από τα οποία επιλέχθηκε το καταλληλότερο σενάριο που συμπληρώνει το προφίλ του δείγματος που αντανακλά με βέλτιστο τρόπο τον γεννήτορα πληθυσμό.

Η απόδοση των τιμών βαρύτητας έγινε έπειτα από ανάλυση παλινδρόμησης στο επιλεγμένο Δείγμα Ακτογραμμών, με εφαρμογή της μεθόδου της *πολλαπλής, μη – γραμμικής παλινδρόμησης*. Η επιλογή της συγκεκριμένης μεθόδου έγινε λόγω της μη γραμμικότητας του μαθηματικού τύπου του υπάρχοντος μοντέλου παράκτιας επικινδυνότητας. Οι τιμές βαρύτητας που αποδόθηκαν στις μεταβλητές του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας αποτέλεσαν τη βάση για τη σύνθεση του νέου μαθηματικού τύπου και την *εκ νέου ιεράρχηση* των μεταβλητών. Το νέο τυπολόγιο είναι εκθετικής μορφής και διαμορφώνεται ως εξής:

$$NEW.CVI = (1.09540) \cdot (1^{x_1}) \cdot (1.19944^{x_2}) \cdot (1.24889^{x_3}) \cdot (1.18077^{x_4}) \cdot (1.19655^{x_5}) \cdot (1^{x_6})$$

όπου οι μεταβλητές $X_i (i=1-6)$ αποτελούν τις επιμέρους μεταβλητές του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας, με τη σειρά που υπαγορεύει η αρχική ιεράρχηση που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας μελέτης.

Επόμενο βήμα της μελέτης είναι η *καθιέρωση της αξιοπιστίας* του νέου τυπολογίου, γεγονός που επιτυγχάνεται μέσω του ελέγχου της εγκυρότητας του προτεινόμενου μοντέλου. Ο έλεγχος αυτός προϋποθέτει τη σύγκριση των αποτελεσμάτων που αποδίδει το υπάρχον μοντέλο και των αποτελεσμάτων που αποδίδει το νέο μοντέλο παράκτιας επικινδυνότητας. Εάν η απόκλιση των τιμών κυμαίνεται σε ικανοποιητικά πλαίσια τότε το νέο τυπολόγιο είναι αποδεκτό, δεδομένου του ότι η ευρεία χρήση του ήδη υπάρχοντος μοντέλου του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας συνεπάγεται την αποδοχή των συμπερασμάτων που αυτό αποδίδει. Η συγκριτική ανάλυση των τιμών αυτών επέβαλλε την έκφραση σε μια κοινή κλίμακα, και το γεγονός αυτό επιτεύχθηκε μέσω της τυποποίησης των τιμών του παλιού και νέου τυπολογίου. Η ανάλυση απέδωσε αποκλίσεις που κυμαίνονται σε πολύ χαμηλά επίπεδα και ως εκ τούτου διασφαλίζεται ότι το νέο μοντέλο παράκτιας επικινδυνότητας αποδίδει ρεαλιστικά αποτελέσματα.

Η *ρεαλιστικότητα* των αποτελεσμάτων που αποδίδει το προτεινόμενο μοντέλο παράκτιας επικινδυνότητας δεν συνεπάγεται απαραίτητα και την *αξιοπιστία* του νέου μοντέλου σε θέματα ακριβούς προσδιορισμού της επικινδυνότητας που χαρακτηρίζει μια συγκεκριμένη παράκτια περιοχή. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιείται μια *εφαρμογή* του προτεινόμενου μαθηματικού τυπολογίου, και αυτή τη φορά η μελέτη επικεντρώνεται σε μια *συγκεκριμένη ακτογραμμή* της παράκτιας ελληνικής επικράτειας. Κατά τα γνωστά η ακτογραμμή αυτή είναι *συνθετική* και άρα δημιουργήθηκε στη βάση ρεαλιστικών υποθέσεων για τα ελληνικά παράκτια δεδομένα. Η ακτογραμμή αυτή διαμερίζεται σε *είκοσι (20)* επιμέρους ίσες διατομές, οι οποίες συγκεντρώνονται σε ένα *Δείγμα Διατομών*. Ο υπολογισμός του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας πραγματοποιείται με *όλους τους διαθέσιμους μαθηματικούς τύπους* που

έχουν μέχρι στιγμής προταθεί για τις ανάγκες προσδιορισμού της επικινδυνότητας παράκτιων περιοχών.

Η ολοκλήρωση της παραπάνω εφαρμογής καταδεικνύει για ακόμα μια φορά ότι τα αποτελέσματα του προτεινόμενου μαθηματικού τύπου, ο οποίος αντιμετωπίζει τις μεταβλητές του δείκτη με την ανάλογη *τιμή βαρύτητας*, βρίσκονται σε *λογική σύγκριση* με το τυπολόγιο που χρησιμοποιείται σήμερα ευρέως σε μελέτες παράκτιας επικινδυνότητας παγκοσμίως και που αντιμετωπίζει τις μεταβλητές του δείκτη *ισοβαρώς*. Ταυτόχρονα, η εφαρμογή κατέστησε σαφή την *αδυναμία* των μαθηματικών τυπολογίων πλην του υπάρχοντος μοντέλου, να αποδώσουν με αξιόπιστο τρόπο την πραγματική παράκτια κατάσταση, τουλάχιστον όσον αφορά στα ελληνικά δεδομένα. Τέλος, μέσα από την εν λόγω εφαρμογή αποδεικνύεται έμπρακτα ότι το νέο τυπολόγιο αποτελεί μια *αξιόπιστη μέθοδο* απόδοσης χαρακτηρισμών επικινδυνότητας σε ελληνικές παράκτιες ζώνες και ταυτόχρονα, πρόκειται για την *περισσότερο ρεαλιστική λύση* από τις μέχρι στιγμής υπάρχουσες.

8.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Η επιτυχία της παρούσας μελέτης έγκειται στο γεγονός ότι αναπτύχθηκε και περιγράφηκε σαφώς η μεθοδολογία, ή αλλιώς ο *μαθηματικός σκελετός*, της διαδικασίας προσδιορισμού ενός μαθηματικού τύπου για τον υπολογισμό του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας, στη βάση ισχυρών επιχειρημάτων και έμπρακτων αποδείξεων για την αποτελεσματικότητα της μεθοδολογίας. Ωστόσο, ένα από τα σημεία όπου η παρούσα μελέτη θα μπορούσε να βρει πολέμιους της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων της εν λόγω μεθοδολογίας, είναι η φύση των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό του νέου μαθηματικού τυπολογίου και την απόδοση των τιμών βαρύτητας. Η επίδραση της πλασματικότητας των δεδομένων εξετάστηκε και ελαχιστοποιήθηκε όσο αυτό ήταν δυνατό, ωστόσο παραμένει το γεγονός ότι μια ανάλογη μελέτη παράκτιας επικινδυνότητας που χρησιμοποιεί πραγματικά δεδομένα για την εξαγωγή τιμών βαρύτητας, σε κάθε περίπτωση αποτελεί πηγή περισσότερο αξιόπιστων αποτελεσμάτων.

Στα πλαίσια την παρούσας μελέτης γίνεται λόγος για *μη – γραμμική παλινδρόμηση* και χρήση της εντολής *LOGEST*, η οποία περιλαμβάνεται στο πακέτο εντολών του υπολογιστικού φύλλου *Excel*. Ανάλογα με τα δεδομένα που παρέχονται στο πρόγραμμα, ο αλγόριθμος της συγκεκριμένης εντολής είναι σε θέση να αποδώσει ένα μαθηματικό τυπολόγιο που αναφέρεται γενικά σε όλη την παράκτια ελληνική επικράτεια, ή ακόμα και ειδικά μια συγκεκριμένη ελληνική παράκτια περιοχή. Στην πρώτη περίπτωση θα πρέπει να δοθεί ως αρχικό δεδομένο το κατάλληλο *Δείγμα Ακτογραμμών*, όπως ακριβώς έγινε στα πλαίσια της εν

λόγω μελέτης. Σημειώνεται ότι το δείγμα αυτό δύναται να στηρίζεται σε πραγματικά ή πλασματικά δεδομένα, λόγω της εκτενούς περιοχής μελέτης. Ωστόσο, για τη δεύτερη περίπτωση προτιμάται να συλλεχθούν *πραγματικά δεδομένα* για την εκάστοτε ακτογραμμή που εξετάζεται, για λόγους εγκυρότερου προσδιορισμού του νέου μαθηματικού τυπολογίου.

Συγκεκριμένα, στην περίπτωση που συλλεχθούν πραγματικά δεδομένα αντί πλασματικών για την εξαγωγή ενός μαθηματικού τύπου που θα εφαρμόζεται μόνο σε μια παράκτια περιοχή, λογικά ισχύουν τα εξής:

- καλύπτονται οι ακραίες περιπτώσεις των ελληνικών ακτογραμμών, όπως για παράδειγμα ο Θερμαϊκός κόλπος που δέχεται υψηλή κυματική δράση, καθώς η μεθοδολογία που περιγράφεται στα πλαίσια της παρούσας εργασίας αποδίδει ένα μαθηματικό τυπολόγιο για τον υπολογισμό του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας το οποίο ισχύει ειδικά για τη συγκεκριμένη ακτογραμμή,
- ο εκάστοτε μαθηματικός τύπος που προκύπτει δεν αμφισβητείται εύκολα καθότι η εξαγωγή του στηρίχθηκε σε δεδομένα που αντανakλούν την ελληνική πραγματικότητα,
- υπάρχει υψηλή αξιοπιστία των αποτελεσμάτων για τους χαρακτηρισμούς επικινδυνότητας που αποδίδουν οι μαθηματικοί τύποι διότι είναι προσαρμοσμένοι στα δεδομένα των παράκτιων περιοχών για τις οποίες κατασκευάστηκαν, και τέλος
- οι μαθηματικοί αυτοί τύποι δύναται να χρησιμοποιηθούν για τον διαχρονικό παράκτιο έλεγχο στις ελληνικές παράλιες ζώνες. Μια σκέψη παραπέρα επί της ουσίας είναι ο έλεγχος των χαρακτηρισμών επικινδυνότητας κάθε έτος ή κάθε εξάμηνο ανά παράκτια περιοχή και η συλλογή των αποτελεσμάτων σε μια πανελλήνια βάση δεδομένων.

Σε συνέχεια των παραπάνω, ακολούθως παραθέτονται τα βήματα για τη συλλογή των απαιτούμενων πρωτογενών στοιχείων, με βάση τα οποία θα προκύψει η απόδοση τιμών σχετικής επικινδυνότητας στις μεταβλητές του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας.

- Η γεωλογία και οι παράκτιες γεωμορφές της περιοχής δύναται να προκύψουν από γεωλογικούς χάρτες του *Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.)*, από αεροφωτογραφίες ή επιτοπία παρατήρηση.
- Η παράκτια κλίση δύναται να υπολογιστεί από την αξιοποίηση *Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους (DTM)* το οποίο δημιουργείται με ισουψείς καμπύλες ανά 4m από την Κτηματολόγιο Α.Ε., χρήση των απαραίτητων υψομετρικών σημείων, πληροφορίες

για τα οποία επίσης διαθέτει η Κτηματολόγιο Α.Ε. και τέλος, βασικό υδρογραφικό δίκτυο που δημιουργείται από την ψηφιοποίηση των υποβάθρων της *Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (Γ.Υ.Σ.)*.

- Οι ρυθμοί ιστορικής οπισθοχώρησης των ακτογραμμών δύναται να προκύψουν από διαχρονική παρατήρηση αεροφωτογραφιών των ετών 1945 και 1998, τα οποία διατίθενται από την *Κτηματολόγιο Α.Ε.* Ειδικότερα, προτείνεται η παρατήρηση ψηφιακών ορθοφωτογραφιών από αεροφωτογραφίες του 1945 με μέγεθος εικονοστοιχείου στο έδαφος 1m και η ακόλουθη ψηφιοποίηση της ακτογραμμής. Εν συνέχεια, η διαδικασία ψηφιοποίησης επαναλαμβάνεται για ορθοφωτογραφίες του έτους 1988, με μέγεθος εικονοστοιχείου στο έδαφος 0,5m.
- Το μέσο εύρος παλίρροιας, το μέσο ύψος κύματος και η σχετική μεταβολή της στάθμης των υδάτων δύναται να ληφθούν από δεδομένα που παρέχουν οι αντίστοιχες υπηρεσίες για την ελληνική επικράτεια, ή ακόμα και να εκτιμηθούν βιβλιογραφικά, λόγω της εκτενούς έρευνας και επιστημονικής μελέτης που γνωρίζει το φαινόμενο της διακύμανσης της θαλάσσιας στάθμης.

Όσον αφορά στην εξαγωγή του προτεινόμενου μαθηματικού τύπου για τον υπολογισμό του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, όπως αναφέρθηκε πολλές φορές νωρίτερα ο τύπος αυτός δύναται να χρησιμοποιηθεί για όλες τις ελληνικές ακτογραμμές. Σε μια περαιτέρω μελέτη επί του εν λόγω τύπου ίσως τεθεί και διερευνηθεί το ερώτημα της *συνδιακύμανσης* των έξι (6) βασικών μεταβλητών που λαμβάνουν μέρος στον υπολογισμό του δείκτη, προκειμένου να διαπιστωθεί η ενδεχόμενη αλληλεπίδραση μεταξύ των εν λόγω μεταβλητών, και στην πορεία να γίνουν οι απαραίτητες διορθώσεις για την εξάλειψη της αλληλεπίδρασης αυτής.

Επιπρόσθετα, μια περαιτέρω μελέτη επί του ζητήματος του προσδιορισμού των χαρακτηρισμών επικινδυνότητας για τις ελληνικές ακτογραμμές δύναται να αποδώσει έναν νέο μαθηματικό τύπο, αυτή τη φορά συμπεριλαμβάνοντας και τις έντεκα (11) μεταβλητές για τις οποίες μέχρι στιγμής έχει γίνει λόγος σε ποικίλλες ερευνητικές προσπάθειες και οι οποίες είναι σε θέση να επιδράσουν σημαντικά σε θέματα παράκτιας επικινδυνότητας. Για λόγους πληρότητας του παρόντος κεφαλαίου, παρακάτω αναγράφεται το σύνολο των μεταβλητών που έχουν προταθεί μέχρι σήμερα για τον υπολογισμό του Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας (*Δουκάκης 2005, Ξύξη 2004*):

- I. Γεωλογία και Παράκτιες Γεωμορφές
- II. Παράκτια Κλίση
- III. Σχετική Μεταβολή της Στάθμης της Θάλασσας
- IV. Ιστορική Μετατόπιση της Ακτογραμμής
- V. Μέσο Σημαντικό Ύψος Κύματος
- VI. Μέσο Παλιρροιακό Εύρος
- VII. Μέσο Ύψος Κυμάτων Καταιγίδας
- VIII. Ετήσια Πιθανότητα Κυμάτων Καταιγίδας
- IX. Μέσο Ύψος Τσουνάμι στην ακτή
- X. Ετήσια Πιθανότητα Τσουνάμι στην ακτή
- XI. Υψόμετρο περιοχής

Η σελίδα παραμένει σκόπιμα λευκή.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

1. **Αλεξανδράκης Γ., Καρδitsά Α., Πούλος Σ., Γκιώνης Γ., Καμπάνης Ν.** (2009). *«Εκτίμηση της τρωτότητας των ακτών του Αιγαίου στην αύξηση της θαλάσσιας στάθμης»*. Εισήγηση, 9^ο Πανελλήνιο Συμπόσιο Ωκεανογραφίας & Αλιείας, Πρακτικά, Τόμος Ι, Πάτρα.
2. **Ανδρουλιδάκης Γ., Κοντός Γ., Κρεστενίτης Γ., Γεωργακόπουλος Γ.** (2009). *«Επικινδυνότητα Πλημμύρων στην Παράκτια Ζώνη της Ανατολικής Μεσόγειου»*. Εισήγηση, Ένατο Πανελλήνιο Συμπόσιο Ωκεανογραφίας & Αλιείας, Πάτρα.
3. **Γαλανού Αι.** (2012). *«Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Χρονική Εξέλιξη – Σύγκριση»*. Μεταπτυχιακή Εργασία, Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
4. **Γιαουτζή Μ., Στρατηγέα Α.** (2011). *«Χωροταξικός Σχεδιασμός. Θεωρία και Πράξη»*. Σύγγραμμα, Εκδόσεις Κριτική, Αθήνα.
5. **Δεληκαράογλου Δ.** (2011). *«Συμβολή της Δορυφορικής Αλτιμετρίας στον υπολογισμό της Ενέργειας των θαλάσσιων Κυμάτων»*. Ηλεκτρονικό Περιοδικό «ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ Δείγματα και Παραδείγματα», Τεύχος Δεύτερο, Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
6. **Δεληκαράογλου Δ.** (2005). *«Ειδικά Θέματα Δορυφορικής Γεωδαισίας»*. Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
7. **Δουκάκης Ε.** (2007). *«Φυσικές καταστροφές και παράκτια ζώνη»*. Εισήγηση, Ημερίδα με θέμα «Πρόληψη – Διαχείριση των φυσικών καταστροφών. Ο ρόλος του Αγρονόμου Τοπογράφου Μηχανικού», Αθήνα.

8. **Δουκάκης Ε.** (2005). *«Κλιματικές, γεωδυναμικές, γεωλογικές και φυσικές μεταβλητές προσδιορισμού της παράκτιας επικινδυνότητας»*. Εισήγηση, Τρίτο Πανελλήνιο Συνέδριο με θέμα «Διαχείριση και Βελτίωση Παράκτιων Ζωνών», Αθήνα.
9. **Δουκάκης Ε.** (1998). *«Ωκεανογραφία»*. Διδακτικές Σημειώσεις Μαθήματος, Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
10. **Ζερβούδη Β.** (2010). *«Οι περιβαλλοντικοί δείκτες ως εργαλείο για την εκτίμηση και αξιολόγηση της παράκτιας ζώνης του δήμου Γλυφάδας»*. Διπλωματική Εργασία, Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
11. **Καφφές Δ.** (1991). *«Μαθήματα Ανάλυσης Παλινδρόμησης»*. Σύγγραμμα, Εκδόσεις Α. Σταμούλης, Πειραιάς.
12. **Κουρλαμπά Γ.** (2010). *«Διατροφική Αξιολόγηση μέσω Δεικτών: Δημιουργία διατροφικού δείκτη που αποτιμά τον βαθμό υιοθέτησης της Μεσογειακής διατροφής και την πιθανότητα εμφάνισης χρόνιων παθήσεων»*. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Επιστήμης Διαιτολογίας – Διατροφής, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα.
13. **Κόφτης Θ.** (2009). *«Ακτομηχανική και Λιμενικά Έργα»*. Διαφάνειες Παραδόσεων Εαρινού Εξαμήνου, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.
14. **Λίτσας Δ.** (2009). *«Οι ακτές της Κορινθίας: Φυσικές Διεργασίες και Ανθρώπινες Επιδράσεις»*. Μεταπτυχιακή Εργασία, Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
15. **Μαγκλάρα Μ.** (2011). *«Εκτίμηση της έκθεσης των ακτών της Ελαφονήσου στους παράκτιους φυσικούς κινδύνους»*. Μεταπτυχιακή Εργασία, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Εφαρμοσμένη Γεωγραφία και Διαχείριση του Χώρου», Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα.
16. **Μακρίδης Γ.** (2008). *«Χορήγηση Γεωγραφικών Υλικών στο Κοινό από τη Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (Γ.Υ.Σ.)»*. Διαφάνειες Παρουσίασης, Ημερίδα για την «Περιορισμένη Χρήση Πληροφοριών του Δημόσιου Τομέα», Αθήνα.

17. **Μάτης Κ.** (2004). «*Εισαγωγή στην Παλινδρόμηση*». Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Θεσσαλονίκη.
18. **Μητσακάκη Χ.** (2007). «*Εισαγωγή στη Γεωδαισία*». Διδακτικές Σημειώσεις, Κεφάλαιο «Ο Πλανήτης Γη», Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
19. **Μπένος Β.** (1991). «*Μεθοδολογία Αξιοποίησεως των Αποτελεσμάτων της Δειγματοληψίας*». Σύγγραμμα, Εκδόσεις Α. Σταμούλης, Πειραιάς.
20. **Ντούμας Ε.** (2010). «*Παράκτια Επικινδυνότητα του Ανατολικού Σαρωνικού Κόλπου σε ακραίες θαλάσσιες καταστάσεις*». Μεταπτυχιακή Εργασία, Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Ναυτική και Θαλάσσια Τεχνολογία και Επιστήμη», Τμήμα Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
21. **Ξύξη Μ.** (2004). «*Μελέτη της Παράκτιας Εμβολότητας από τις Κλιματικές Αλλαγές*». Διπλωματική Εργασία, Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
22. **Παναγιωτίδης Π., Χατζημπίρος Κ.** (2004). «*Παράκτια Οικοσυστήματα και Ανθρωπογενείς Πιέσεις στις Ακτές, Παραδείγματα από την Ελλάδα*». Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ελληνικό Κέντρο Θαλασσιών Ερευνών, Αθήνα.
23. **Παπανικολάου Μ., Παπανικολάου Δ., Βασιλάκης Ε.** (2011). «*Μεταβολές της Στάθμης της Θάλασσας και Επιπτώσεις στις Ακτές*». Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής, Τράπεζα της Ελλάδος, Αθήνα.
24. **Σαρταμπάκου Α.** (2012). «*Τελικό Στάδιο Χαρτογράφησης μιας Περιοχής : Παραγωγή Ορθοφωτογραφίας & Σύνθεση Ορθοφωτοχάρτη με χρήση του λογισμικού PHOTOMOD*». Εργασία Εξαμήνου, Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας, Τομέας Τοπογραφίας, Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

25. **Σιαφάκας Β.** (2003). «Επιπτώσεις των κλιματικών αλλαγών στην παράκτια ζώνη της νήσου Κω». Διπλωματική Εργασία, Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
26. **Σκαρβέλης Σ.** (2005). «Οικονομικές Επιπτώσεις της ανόδου της θαλάσσιας στάθμης λόγω κλιματικής αλλαγής». Άρθρο, Ιστότοπος «Eco news».
27. **Υδρογραφική Υπηρεσία** (2008). «Ορολογία και Γενικές Αρχές Παλιρροιών». Διεύθυνση Ωκεανογραφίας, Σύντομος Οδηγός, Αθήνα.
28. **Χαλκιάς Γ.** (2012). «Ανάπτυξη συστήματος υπολογισμού Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας με τη χρήση της Γεωπληροφορικής». Μεταπτυχιακή Εργασία, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Εφαρμοσμένη Γεωγραφία και Διαχείριση του Χώρου», Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα.

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία:

29. **Doukakis E.** (2005). «*Coastal Vulnerability and Risk Parameters*». Issue 11/12, European Water Resources Association, E. W. Publications.
30. **McGuffie K., Henderson – Sellers A.** (2005). «*A Climate Modeling Primer, Third Edition*». Σύγγραμμα, Εκδόσεις John Willey & Sons – Ltd, Ηνωμένο Βασίλειο.

