

ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: "ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΩΝ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ"

Εκτίμηση της έκθεσης των ακτών της Ελαφονήσου στους παράκτιους φυσικούς κινδύνους



ΜΑΓΚΛΑΡΑ ΜΑΡΙΑ

Αθήνα, Ιούλιος 2011

ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: "ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΩΝ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ"

**Εκτίμηση της έκθεσης των ακτών της Ελαφονήσου στους
παράκτιους φυσικούς κινδύνους**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

Μαγκλάρα Μαρίας, Α.Μ: 29104

Επιβλέπων καθηγητής: Ευθύμιος Καρύμπαλης

Αθήνα, Ιούλιος 2011

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επίκουρο καθηγητή του τμήματος Γεωγραφίας κ. Ευθύμιο Καρύμπαλη, για την ανάθεση του θέματος της μεταπτυχιακής εργασίας, καθώς και για τη συνεχή επίβλεψη και καθοδήγηση του κατά την εκπόνησή της. Θα ήθελα ακόμα να τον ευχαριστήσω για την ευκαιρία που μου έδωσε να εμβαθύνω πάνω στις μεθόδους παρατήρησης γεωλογικών φαινομένων στο ύπαιθρο, καθώς και στη μελέτη των παράκτιων γεωμορφών.

Εν συνεχεία θα ήθελα να ευχαριστήσω τη συνάδελφο Σένη Αρχόντω για την πολύτιμη βοήθεια της και τη συνεχή υποστήριξη της στο τεχνολογικό κομμάτι των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών της διπλωματικής αυτής εργασίας.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για τη βοήθεια και την υποστήριξη που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Με εκτίμηση,

Μαρία Μαγκλάρα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Την τελευταία δεκαετία η άνοδος της θαλάσσιας στάθμης αποτελεί συνεχές αντικείμενο συζήτησης και προβληματισμού τόσο για την επιστημονική κοινότητα, όσο και για τον κρατικό μηχανισμό σε θέματα λήψης αποφάσεων και επίλυσης προβλημάτων. Η συνεχής οικιστική ανάπτυξη των παράκτιων περιοχών, η καταστροφή των παράκτιων γεωμορφών λόγω της τουριστικής ανάπτυξης και οι αυξανόμενες πιέσεις από τη γεωργία και τη βιομηχανία καθιστούν αναγκαία την μελέτη των ευαίσθητων παράκτιων περιοχών προκειμένου να βρεθούν οι κατάλληλες λύσεις για τη θωράκιση τους.

Στόχος της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας είναι η προσπάθεια εκτίμησης των επιπτώσεων από μια αναμενόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης έως το έτος 2100 για το τουριστικά αξιοποιημένο νησί της Ελαφονήσου στη νότια Πελοπόννησο. Για το σκοπό αυτό εφαρμόζεται ο Δείκτης Παράκτιας Τρωτότητας – Coastal Vulnerability Index (CVI) που έχει προταθεί για την εκτίμηση της τρωτότητας των ακτών των ΗΠΑ και του Καναδά αλλά έχει επίσης εφαρμοστεί μεμονωμένα και σε περιοχές του Ελλαδικού χώρου. Για τον υπολογισμό του δείκτη εκτιμήθηκαν η παράκτια κλίση, η παράκτια γεωμορφολογία της περιοχής, οι γεωλογικοί σχηματισμοί που καταλήγουν στην ακτή, το μέσο παλιρροιακό εύρος, ο ρυθμός μεταβολής της θαλάσσιας στάθμης και το μέσο σημαντικό ύψος κύματος που πλήττει τις ακτές. Οι παράμετροι αυτές εκτιμήθηκαν και επεξεργάστηκαν με τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και συγκεκριμένα του λογισμικού ArcGis 9.3.1. Σε μια προσπάθεια εκτίμησης των αρνητικών επιπτώσεων χαρτογραφήθηκαν οι χρήσεις γης κατά μήκος της ακτογραμμής και εκτιμήθηκαν οι πιθανές αλλαγές τους εξαιτίας της παράκτιας διάβρωσης. Για τους σκοπούς της εργασίας απαιτήθηκε η συλλογή πληθώρας στοιχείων, η επεξεργασία τους και ο συνδυασμός τους ώστε να αποτελέσει η διπλωματική αυτή εργασία μια ολοκληρωμένη θεώρηση του νησιού αλλά και μια πιλοτική εφαρμογή εκτίμησης του δείκτη παράκτιας τρωτότητας.

Για την έρευνα της περιοχής μελέτης συγκεντρώθηκε πλούσιο χαρτογραφικό υλικό και πιο συγκεκριμένα χάρτες 1:5.000, 1:50.000, ορθοφωτοχάρτες και δορυφορικές εικόνες για τη λεπτομερή απεικόνιση του ανάγλυφου και των γεωμορφών. Χρησιμοποιήθηκαν επίσης γεωλογικοί χάρτες και κλιματικά στοιχεία της περιοχής. Πολύ σημαντικό ρόλο έπαιξε η έρευνα πεδίου της παράκτιας περιοχής καθώς αναγνωρίστηκαν οι παράκτιες γεωμορφές και κυρίως οι παράκτιες θίνες που δύναται να παίζουν έναν ουσιώδη ρόλο στην αντιπλημμυρική προστασία, ενώ παρατηρήθηκαν και οι ακτές που υπόκεινται σε διάβρωση και μη και πιστοποιήθηκαν επιτόπου οι χρήσεις γης.

ABSTRACT

Over the last decade sea-level rise is a constant subject of discussion among the scientific community and the state, in order to make decisions and create strategic policies. Continued residential development in coastal areas, deterioration of coastal landforms from tourism development and the growing pressures from agriculture and industry make it essential to study the sensitive coastal areas in order to find appropriate solutions to shield them.

The aim of this thesis is an estimation of the effects of an anticipated sea-level rise by the year 2100 for the small island of Elafonissos located in southern Peloponnese. For this purpose the Coastal Vulnerability Index (CVI) is applied. This index has been proposed for the assessment of USA and Canada coasts vulnerability but it has been also applied in specific coastal places of Greece. For this purpose the following variables were estimated: coastal slope, coastal geomorphology and geological formations that reach the sea, average tidal range, relative sea level change and the mean significant wave height. These parameters were processed with the use of Geographical Information Systems and the ArcGis 9.3.1 software. Land uses along the coastline has also been mapped in order to estimate possible changes as a result of the potential coastal erosion.

In order to achieve that, the collection of numerous data, their processing and combination is required. For this case study plenty of cartographic material was collected; topographic maps at the scale of 1:5.000, 1:50.000, aerial photos and satellite images to obtain a detailed representation of the relief and the geomorphology of the study area. Additionally, geological and meteorological data of the area were also used. During the field survey coastal land uses as well as coastal landforms were identified in order to certify which of them can play an essential role in flood protection. Additionally coasts were observed to find out if they were subject to erosion or not.

Περιεχόμενα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
1.1. Η αναγκαιότητα της εκτίμησης της Τρωτότητας των παράκτιων περιοχών	7
1.2. Δομή της εργασίας.....	8
2 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΕΛΑΦΟΝΗΣΟΥ.....	10
2. 1 Γεωγραφική θέση της περιοχής μελέτης	10
2.2 Ανθρωπογενές περιβάλλον –Δημογραφικά στοιχεία	13
2.3 Γεωλογία - Τεκτονική.....	14
2.4. Σεισμικότητα περιοχής	21
2.5. Κλιματικά –Μετεωρολογικά χαρακτηριστικά.....	22
2.6. Γεωμορφολογία.....	28
2.6.1.Μορφολογικές παρατηρήσεις.....	28
2.6.2.Ανάγλυφο Ασβεστολίθων	28
2.6.3.Ανάγλυφο Νεογενών σχηματισμών	29
2.6.4.Τεταρτογενείς αποθέσεις.....	29
2.6.5.Ακτές	31
2.6.6.Ψηφιδωπαγείς αιγιαλοί ή ακτόλιθοι (beach rocks)	32
2.6.7.Θαλάσσιες αναβαθμίδες.....	33
2.7. Χρήσεις γης.....	35
2.8. Χλωρίδα –Καθεστώς προστασίας.....	38
3. ΦΥΣΙΚΟΙ ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ	40
3.1.Φυσικές καταστροφές –Ορισμοί.....	40
3.2.Το φαινόμενο του θερμοκηπίου - ορισμός	41
3.3. Σενάρια κλιματικής αλλαγής	44
4.ΑΝΟΔΟΣ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΣΤΑΘΜΗΣ.....	48
4.1.Μεταβολές της θαλάσσιας στάθμης κατά το Τεταρτογενές.....	48
4.2 Αίτια μεταβολών της θαλάσσιας στάθμης.....	50
4.3. Ενδείξεις μεταβολών της θαλάσσιας στάθμης.....	51
4.4.Μελλοντική μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης	53
4.5.Παράκτιες ζώνες και άνοδος της θαλάσσιας στάθμης.....	55
5 ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑ.....	59
5.1. Η Παράκτια Τρωτότητα.....	59
5.2.Μοντέλο Παράκτιας Τρωτότητας για τον Ελληνικό χώρο.....	60

5.3.Χρονική μεταβολή των παράκτιων συστημάτων	60
5.4.Αειφορική διαχείριση των ακτών	63
6.ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΚΤΕΣ ΤΗΣ ΕΛΑΦΟΝΗΣΟΥ.....	66
6.1. Ο Δείκτης Παράκτιας Τρωτότητας.....	66
6.2. Γεωμορφολογία.....	72
6.3.Παράκτια κλίση	74
6.4.Σχετική μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης	81
6.5.Διάβρωση/ Προέλαση Ακτογραμμής.....	84
6.6. Μέσο Παλιρροιακό Εύρος.....	88
6.7. Μέσο σημαντικό ύψος κύματος.....	90
6.8.Υπολογισμός του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας	96
7. ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΑΜΜΟΘΙΝΩΝ	101
7.1.Ο ρόλος των θινών στην αντιπλημμυρική προστασία των παράκτιων περιοχών.....	101
7.2.Τεχνικές αποκατάστασης των παράκτιων θινών	103
7.2.1.Η αναπλήρωση του υλικού του αιγιαλού (beach nourishment)	103
7.2.2.Η αναδάσωση των θινών	104
7.2.3.Αμμοφράκτες (sand fences)	105
7.3.Προβλήματα διαχείρισης και τεχνικές αποκατάστασης θινών στην Ισπανία.....	106
7.4. Παραδείγματα έργων αποκατάστασης θινών στην Πορτογαλία.....	112
8.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ	116
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ	120
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	121
ΔΙΕΘΝΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	122
ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ.....	126
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΧΑΡΤΩΝ

<i>Χάρτης 1: Ο δήμος Ελαφονήσου.</i>	<i>10</i>
<i>Χάρτης 2: Η χερσόνησος Όνου Γνάθος.....</i>	<i>11</i>
<i>Χάρτης 3: Χάρτης της Ελαφονήσου με τοπωνύμια</i>	<i>17</i>
<i>Χάρτης 4: Γεωλογικοί σχηματισμοί της περιοχής μελέτης.....</i>	<i>20</i>
<i>Χάρτης 5: Νέος χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας (www.oasp.gr)</i>	<i>21</i>
<i>Χάρτης 6: Χρήσεις γης στην περιοχή μελέτης</i>	<i>37</i>
<i>Χάρτης 7: Χάρτης για τη βαθμονόμηση της γεωμορφολογίας της περιοχής (προσωπική επεξεργασία).....</i>	<i>73</i>
<i>Χάρτης 8: Χάρτης με τη βαθμονόμηση της παράκτιας κλίσης.....</i>	<i>80</i>
<i>Χάρτης 9: Χάρτης με τη βαθμονόμηση της σχετικής ανόδου θαλάσσιας στάθμης στην περιοχή μελέτης</i>	<i>83</i>
<i>Χάρτης 10. Χάρτης με τη βαθμονόμηση του ρυθμού μεταβολής (διάβρωσης/προέλασης) της ακτογραμμής της περιοχής μελέτης.....</i>	<i>86</i>
<i>Χάρτης 11: Χάρτης με τη βαθμονόμηση του Μέσου Παλιρροιακού εύρους για την περιοχή.....</i>	<i>89</i>
<i>Χάρτης 12: Κατανομή του μέσου ετήσιου σημαντικού ύψους κύματος στο Αιγαίο</i>	<i>92</i>
<i>Χάρτης 13: Γεωγραφική τοποθέτηση της περιοχής μελέτης.....</i>	<i>93</i>
<i>Χάρτης 14: Χάρτης με τη βαθμονόμηση του μέσου σημαντικού ύψους κύματος για την περιοχή μελέτης.....</i>	<i>95</i>
<i>Χάρτης 15: Χάρτης με τη βαθμονόμηση της Παράκτιας Τρωτότητας για την περιοχή μελέτης.....</i>	<i>99</i>

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

<i>Πίνακας 1 : Ζώνες σεισμικών επιταχύνσεων σύμφωνα με τον Αντισεισμικό Κανονισμό.</i>	<i>21</i>
<i>Πίνακας 2 Ετήσια Θερμοκρασιακή Κύμανση ΚΥΘΗΡΑ 1955 – 2004.....</i>	<i>23</i>
<i>Πίνακας 3. Μέση Σχετική Υγρασία % ΚΥΘΗΡΑ 1955 – 2004</i>	<i>24</i>
<i>Πίνακας 4. Μέση Μηνιαία Νεφοκάλυψη % του ουρανού ΚΥΘΗΡΑ 1955 – 2004.....</i>	<i>25</i>
<i>Πίνακας 5. Μέση Μηνιαία Βροχόπτωση σε χιλιοστά ΚΥΘΗΡΑ 1955 – 2004.....</i>	<i>25</i>
<i>Πίνακας 6. Μέσες ετήσιες συχνότητες ανέμου ανά διεύθυνση και ανά ένταση</i>	<i>26</i>
<i>Πίνακας 7: Παράκτιες γεωμορφές και οι δείκτες τρωτότητας τους.</i>	<i>61</i>
<i>Πίνακας 8: Τα γεωγραφικά δεδομένα της περιοχής.....</i>	<i>70</i>
<i>Πίνακας 9: Βαθμονόμηση της γεωμορφολογίας για την περιοχή μελέτης.</i>	<i>72</i>

Πίνακας 10: Βαθμονόμηση της παράκτιας κλίσης για την περιοχή μελέτης.....	79
Πίνακας 11: Βαθμονόμηση της σχετικής ανόδου της θαλάσσιας στάθμης για την περιοχή μελέτης.....	82
Πίνακας 12: Βαθμονόμηση του ρυθμού διάβρωσης/προέλασης της ακτογραμμής για την περιοχή μελέτης.....	85
Πίνακας 13: Βαθμονόμηση του μέσου παλιρροιακού εύρους για την περιοχή μελέτης.....	88
Πίνακας 14: Εύρος τιμών για κατάταξη της ακτογραμμής ως προς την τρωτότητά της σε ότι αφορά τη μεταβλητή του μέσου σημαντικού ύψους κύματος που χρησιμοποιείται στην εξίσωση του δείκτη παράκτιας τρωτότητας.....	94
Πίνακας 15: Μήκος ακτογραμμής και τα αντίστοιχα ποσοστά(%) των χρήσεων γης, σε σχέση με τις 5 κατηγορίες του δείκτη παράκτιας τρωτότητας.....	101

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1. Ετήσια Κύμανση της θερμοκρασίας ΚΥΘΗΡΑ 1955 – 2004.....	23
Διάγραμμα 2. Μέση Σχετική Υγρασία % ΚΥΘΗΡΑ 1955 – 2004	24
Διάγραμμα 3. Μέση Μηνιαία Νεφοκάλυψη % του ουρανού ΚΥΘΗΡΑ 1955 – 2004..	24
Διάγραμμα 4. Μέση Μηνιαία Βροχόπτωση σε χιλιοστά ΚΥΘΗΡΑ 1955 – 2004.....	25
Διάγραμμα 5: Κατανομή της έκτασης της περιοχής μελέτης	36
Διάγραμμα 6,7: Αριστερό διάγραμμα: Συνολικές ανθρωπογενείς εκπομπές CO₂ σύμφωνα με την IPCC Δεξί διάγραμμα: Οι τελικές συγκεντρώσεις CO₂ στην ατμόσφαιρα σύμφωνα με την IPCC.....	43
Διάγραμμα 8: Μεταβολή της παγκόσμιας θερμοκρασίας σύμφωνα με το σενάριο IS92	44
Διάγραμμα 9: Προβλέψεις για το έτος 2100, βασισμένες σε διάφορα σενάρια εκπομπών και παγκόσμιων κλιματικών μοντέλων. Τ.....	45
Διάγραμμα 10: Παλαιά και προβλεπόμενη παγκόσμια μέση στάθμη της θάλασσας.....	54
Διάγραμμα 11: Ιστόγραμμα με την κατηγοριοποίηση της γεωμορφολογίας.	74
Διάγραμμα 12: Ιστόγραμμα με την κατηγοριοποίηση της παράκτιας κλίσης.....	79
Διάγραμμα 13: Ιστόγραμμα με την κατηγοριοποίηση του ρυθμού διάβρωσης/προέλασης της ακτογραμμής.....	87
Διάγραμμα 14: Ιστόγραμμα με την κατηγοριοποίηση της τρωτότητας.	98

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Δορυφορική εικόνα της περιοχής μελέτης.....	13
--	----

Εικόνα 2: Εμφανισή παλαιοεδάφους στον όρμο Φράγκου.....	15
Εικόνα 3: Αμμοθίνες στον Όρμο Φράγκο.....	30
Εικόνα 4: Βραχίονας άμμου στο νότιοανατολικό τμήμα του νησιού.....	31
Εικόνα 5: Θαλάσσιες αναβαθμίδες στον όρμο Παναγιά.....	34
Εικόνα 6: Θαλάσσιες αναβαθμίδες στον όρμο Λεύκη.....	35
Εικόνα 7: Στάδιο δημιουργίας του DEM	76
Εικόνα 8: Η διαδρομή που ακολουθήθηκε για την επιλογή της εντολής slope	77
Εικόνα 9: Οθόνη διαλόγου της εντολής slope.....	77
Εικόνα 10: Στάδια δημιουργίας κλάσεων των παράκτιων κλίσεων για την περιοχή της Ελαφονήσου	78
Εικόνα 11: Ενδείξεις διάβρωσης στη χώρα της Ελαφονήσου.....	88
Εικόνα 12: Παράθυρο διαλόγου της εντολής INTERSECT.....	96
Εικόνα 13: Κατηγοριοποίηση των τιμών του C.V.I. της ακτογραμμής της Ελαφονήσου σε 5 κλάσεις.....	97
Εικόνα 14: Φράχτες (παράλληλοι προς την ακτογραμμή) στο νησί Timbalier.....	105
Εικόνα 15: τυπική καταστροφή θίνας από off road οχήματα και πεζούς (Huelva, Spain) Gomez –Pina 1997.....	107
Εικόνα 16: Δρόμος κατά μήκος της παραλίας La Bota (Huelva, Spain), Gomez –Pina 1997 Αυτή η εικόνα δείχνει το δημόσιο δρόμο να διασχίζει τις θίνες κάθετα.....	108
Εικόνα 17: Υπερυψωμένα μονοπάτια και φράκτες στο Liencres spit(Cantabrian, Spain).....	109
Εικόνα 18: Η παραλία La Lanzada (Pontevedra, Spain) πριν την αποκατάσταση των θινών	110
Εικόνα 19 : Άποψη της αποκατάστασης των εσωτερικών θινών στο Valdevaqueros (Cádiz,Spain)	111
Εικόνα 20: Ο ποταμός Guadiaro και η παραλία Guadalquitón.	112
Εικόνα 21: Σταθεροποίηση θινών με ξύλινους πασσάλους και σακιά άμμου.....	113
Εικόνα 22: Προετοιμασία του εδάφους από εσκαφέα στη θίνη.....	114
Εικόνα 23: Η τοποθέτηση των γεωυφασμάτων.....	114
Εικόνα 24: Η τοποθέτηση των δοχείων άμμου.....	114

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: «Ροδόγραμμα Ανέμου» Συχνότητες ανά διεύθυνση και ένταση.....	27
--	----

Σχήμα 2: Μελλοντικές προβλέψεις θέρμανσης του πλανήτη βασισμένες σε 3 σενάρια εκπομπών	46
Σχήμα 3: Η εξέλιξη των αλμυρών ελών καθώς η στάθμη της θάλασσας ανεβαίνει.	57
Σχήμα 4: Παράγοντες που επηρεάζουν τη διάβρωση των παράκτιων κρημνών	85
Σχήμα 5: Απεικόνιση της εντολής της χωρικής ανάλυσης..	96
Σχήμα 6: Σχηματική αναπαράσταση ενός τυπικού προφίλ Ολλανδικής Ακτής.....	102
Σχήμα 7: Ενδεικτικά στάδια διαχείρισης παράκτιων ζωνών.....	118

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Η αναγκαιότητα της εκτίμησης της Τρωτότητας των παράκτιων περιοχών

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα στην παράκτια γεωλογία και γεωμορφολογία είναι ο καθορισμός της φυσικής απόκρισης της ακτογραμμής στην άνοδο της θαλάσσιας στάθμης. Η πρόβλεψη των ποσοστών απώλειας γης και υποχώρησης της ακτογραμμής είναι ζωτικής σημασίας για τον σχεδιασμό των μελλοντικών στρατηγικών διαχείρισης της παράκτιας ζώνης και την αξιολόγηση των μελλοντικών επιπτώσεων που ενδεχομένως να προκληθούν από αλλαγές εξαιτίας ακραίων απότομων ή σταδιακών φυσικών διεργασιών. Οικολογικά σημαντική είναι επίσης η εκτίμηση των απωλειών των παράκτιων οικοσυστημάτων που σχετίζονται άμεσα με τη δράση των παράκτιων φυσικών διεργασιών.

Σύμφωνα με εκτιμήσεις το 20,6% του παγκόσμιου πληθυσμού κατοικεί στη ζώνη πλάτους 30 χιλιομέτρων από τη θάλασσα και το 37% στη ζώνη πλάτους 100km από τη θάλασσα. Πολλές παράκτιες περιοχές χωρών παρουσιάζουν ρυθμούς αύξησης πληθυσμού και αστικοποίησης μεγαλύτερους από τους εθνικούς μέσους όρους τους (Μαντόγλου, 2001). Αυτά τα ποσοστά αναδεικνύουν τη ζωτική σημασία των παράκτιων ζωνών. Η σωστή διαχείριση και ο ορθός χωροταξικός σχεδιασμός παίζουν τον πιο ουσιώδη ρόλο στην προστασία της παράκτιας ζώνης από την επικείμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης λόγω της κλιματικής αλλαγής που παρότι είναι μια αργή διεργασία αναμένεται να έχει αρνητικές επιπτώσεις στις χαμηλές κυρίως ακτές.

Παγκοσμίως έχουν γίνει πολλές εκτιμήσεις της παράκτιας επικινδυνότητας με την χρήση του Δείκτη Παράκτια Τρωτότητας. Η Ομοσπονδιακή Υπηρεσία Διαχείρισης Εκτάκτων Καταστάσεων των Ηνωμένων Πολιτειών από τη δεκαετία του 80 δημοσιεύει εκθέσεις με τις κοινωνικοοικονομικές συνέπειες μιας επικείμενης ανόδου της θαλάσσιας στάθμης της τάξης των 30 και 60 εκατοστών αντίστοιχα. Στην Ελλάδα ο υπολογισμός του Δ.Π.Τ. έχει πραγματοποιηθεί σε ποικίλλες περιοχές όπως η Βορειοανατολική περιοχή της Αττικής (Chatzieleftheriou et al., 2007), η περιοχή του Πόρτο Χελίου και της Ερμιόνης (Σενή 2007), οι ακτές του Αιγαίου (Alexandrakis et al., 2009) και ο Αργολικός κόλπος (Gaki-Papanastassiou et al.).

Ο Δ.Π.Τ. υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη έναν αριθμό παραγόντων που αφορούν φυσικά χαρακτηριστικά της εκάστοτε περιοχής μελέτης και αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για τους διαχειριστές της παράκτιας ζώνης για την επιλογή μιας μέσο- ή ακόμα και μακρό-πρόθεσμης στρατηγικής. Οι μεταβολές στην παράκτια ζώνη, επιδεινώνονται από την κλιματική αλλαγή, έχοντας επιπτώσεις στην ανάπτυξη. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητη μια σημαντική

εκτίμηση του χωροταξικού σχεδιασμού για την εξασφάλιση της ανθεκτικότητας των παράκτιων κοινοτήτων στην κλιματική αλλαγή. Με τον τρόπο αυτό οι κοινότητες θα είναι ικανές να διαχειρίζονται τον κίνδυνο και να προσαρμόζονται σε μια συνεχώς μεταβαλλόμενη ακτογραμμή.

Η προσαρμοστικότητα των κοινωνιών στις αλλαγές των ακτών θα είναι ο μόνος τρόπος μείωσης της Τρωτότητας από την κλιματική αλλαγή και είναι ο μόνος τρόπος για να αντιμετωπιστούν οι επιπτώσεις, οι οποίες θα είναι αναπόφευκτες κατά τις επόμενες δεκαετίες. Χωρίς έγκαιρες προσπάθειες μετριασμού, το κόστος της προσαρμογής στις νέες συνθήκες θα αυξηθεί απότομα. Οι κυβερνήσεις διαδραματίζουν το σημαντικότερο ρόλο στη λήψη των αποφάσεων, οι οποίες πρέπει να ξεκινήσουν άμεσα, παρέχοντας κατευθυντήριες γραμμές τόσο για την πολιτική, όσο και την οικονομική και θεσμική στήριξη (Stern.,2006).

1.2.Δομή της εργασίας

Ο βασικός σκοπός αυτής της εργασίας είναι η εκτίμηση του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας για την περιοχή της Ελαφονήσου με τη χρήση του τύπου που προτάθηκε από τους Thieler & Klose (1999). Επιπλέον γίνεται παρουσίαση των γεωμορφών που υπάρχουν στο νησί και εξετάζεται ο ρόλος τους στην προστασία από τις διεργασίες που προκαλούν την άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Εν συνεχεία προτείνονται τεχνικές προστασίας των παράκτιων αμμοθινών παραθέτοντας παραδείγματα από διάφορες περιοχές. Οι παράκτιες αμμόδεις θίνες αποτελούν χαρακτηριστικές γεωμορφές που καταλαμβάνουν αρκετά τμήματα της παράκτιας ζώνης της Ελαφονήσου και μάλιστα τα πιο τρωτά.

Στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας αυτής γίνεται μια εισαγωγή του θέματος που πραγματεύεται.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται συνοπτικά τα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά του νησιού, τα οποία είναι απαραίτητα τόσο για την μετέπειτα εκτίμηση της παράκτιας τρωτότητας , όσο και για την εξαγωγή των συμπερασμάτων.

Στο τρίτο και τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται το πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής εστιάζοντας στη μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης που αποτελεί και τον βασικό φυσικό κίνδυνο στα πλαίσια της παρούσας εργασίας.

Στο πέμπτο κεφάλαιο αναλύεται η έννοια της Παράκτιας Τρωτότητας και της αειφόρου διαχείρισης των ακτών.

Στο έκτο κεφάλαιο υπολογίζεται ο Δείκτης Παράκτιας Τρωτότητας και αναλύονται οι φυσικοί παράμετροι που τον συνιστούν.

Στο έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζεται ο ρόλος των αμμοθινών στην προστασία των ακτών από την παροδική ή μόνιμη άνοδο της στάθμης θάλασσας και οι τεχνικές αποκατάστασης και προστασίας τους.

Τέλος το όγδοο κεφάλαιο περιλαμβάνει την ανασκόπηση και τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την έρευνα του θέματος.

Στις τελευταίες σελίδες παρατίθεται η Ελληνική και Διεθνής βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε.

2 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΕΛΑΦΟΝΗΣΟΥ

2. 1 Γεωγραφική θέση της περιοχής μελέτης

Η περιοχή μελέτης είναι η Ελαφονήσος. Ανήκει στο γεωγραφικό διαμέρισμα της Πελοποννήσου και διοικητικά υπάγεται στο νομό Λακωνίας. Ο νομός αυτός αποτελεί το νοτιότερο νομό της Πελοποννήσου και όλης της ηπειρωτικής Ελλάδας και έχει έκταση 3.636 km².

Η σύσταση του δήμου Ελαφονήσου έγινε με το πρόγραμμα Καλλικράτης το 2011 και προήλθε από την αναγνώριση της κοινότητας Ελαφονήσου σε δήμο (ΦΕΚ Α87- 07/06/2010). Η κοινότητα Ελαφονήσου ιδρύθηκε για πρώτη φορά το 1949 ενώ παλαιότερα το νησί της Ελαφονήσου, άνηκε στην κοινότητα Κάμπου Βοίων (ΦΕΚ 75Α - 24/03/1949).



Χάρτης 1: Ο δήμος Ελαφονήσου. Πηγή:Οργανισμός Κτηματολογίου και Χαρτογραφίσεων Ελλάδας, 2010

Η Ελαφονήσος βρίσκεται ανατολικά της χερσονήσου Μαλέα και χωρίζεται από την Πελοπόννησο από ένα στενό διάυλο πλάτους 1250m. Το βάθος του διαύλου είναι πολύ μικρό

και δεν υπερβαίνει τα 2,5m. Η έκταση του νησιού είναι 19km² ενώ η συνολική του ακτογραμμή έχει μήκος 30,42km.

Το όνομα του νησιού οφείλεται στην πληθώρα κόκκινων ελαφιών (*Cervus elaphus*) που υπήρχαν στην περιοχή και στην πλούσια κυνηγετική δραστηριότητα που αναπτύχθηκε. Όπως αναφέρει και ο Πausanias ήταν πολλά τα αρχαία ιερά στο νησί τα οποία ήταν αφιερωμένα στη θεά Άρτεμη, προστάτιδα του κυνηγιού.

Κατά το πέρασμά του από την περιοχή ο Πausanias αναφέρει την τότε χερσόνησο της Ελαφονήσου ως «Όνου γνάθο», εξαιτίας του σχήματός της (του θύμιζε σαγόني γαϊδάρου) και περιγράφει την πόλη στην ποντισμένη σήμερα περιοχή των βραχονησίδων Παυλοπέτρι (στο νησί και το βυθό της γύρω θαλάσσιας περιοχής έχει ανακαλυφθεί καταποντισμένη αρχαία πόλη) καθώς και στις ακτές της Πούντας, όπου βρίσκεται αρχαίο νεκροταφείο με λαξευτούς στον βράχο τάφους. Το νησί ήταν ενωμένο κατά τους ιστορικούς ακόμη χρόνους με την απέναντι ακτή της Πελοποννήσου, αλλά απεκόπη λόγω ευστατισμού. Κατά τον Hafemann η θαλάσσια στάθμη εξαιτίας των ευστατικών κινήσεων έχει ανέλθει από την πρώτη εκατονταετηρίδα μ.Χ. κατά 2,5 με 2,8m με αποτέλεσμα όλα τα παράκτια κτίσματα της εποχής αυτής να βρίσκονται κάτω από τη θάλασσα.



Χάρτης 2: Η χερσόνησος Όνου Γνάθος όπως περιγράφεται από τον Πausanias. Πηγή: www.elafonissos.gr

Στην απέναντι λακωνική ακτή βρέθηκε άγαλμα της θεάς Αρτέμιδος (έχει μεταφερθεί στο Μουσείο του Λούβρου), όπου απεικονίζεται η θεά στο ένα χέρι να κρατάει βέλη και στο άλλο

ένα μικρόσωμο κόκκινο ελάφι. Η Ελαφονήσος επίσης αναφέρεται ως Cervi στους βενετσιάνικους χάρτες του 15ου αιώνα. Το νησί χρησιμοποιήθηκε σαν ορμητήριο πειρατών, από τον 15ο μέχρι τον 17ο αιώνα και την περίοδο αυτή είχε ερημώσει. Το νησί κατοικήθηκε ουσιαστικά μετά το 1850, όταν εξαλείφθηκε η πειρατεία στο Αιγαίο.

Σ' όλα τα νησιά του Αρχιπελάγους και στις παράκτιες περιοχές υπήρχαν παρατηρητήρια, "βίγλες", απ' όπου οι "βιγλάτορες" παρακολουθούσαν μέρα νύχτα τα καράβια που πλησίαζαν στη στεριά και ειδοποιούσαν τον πληθυσμό μόλις διέκριναν να προσεγγίζει κάποιο πλοίο. Βάρδια (από τις βάρδιες του εκάστοτε βιγλάτορα) ονομάζεται και η υψηλότερη κορυφή του νησιού της Ελαφονήσου που έχει υψόμετρο 276m. Η κορυφή αυτή χρησιμοποιήθηκε ως Βίγλα από τους σημερινούς της κατοίκους κατά τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο, ώστε να προστατεύονται οι κάτοικοι από της επιδρομές και τα πυρά Γερμανικών ταχυπλόων σκαφών που εξορμούσαν από τον γερμανικό Ναύσταθμο του Γυθείου με σκοπό την τρομοκράτηση των κατοίκων της Ελαφονήσου. Μετά τα σήματα του βιγλάτορα οι κάτοικοι αναχωρούσαν από το χωριό και κρύβονταν στις αθέατες σπηλιές που βρίσκονται στο Μαυρουδί.

Το βασικό μορφολογικό χαρακτηριστικό της Ελαφονήσου είναι το ήπιο ανάγλυφο. Εξάιρεση αποτελούν ορισμένες μορφολογικά απότομες κλιτείς που αποτελούν μέτωπα θαλάσσιων αναβαθμίδων ή τις παρυφές τεκτονικών τάφρων, όπως είναι στο νότιο μέρος του νησιού και συγκεκριμένα στις βόρειες παρυφές της Λεύκης. Η υψηλότερη κορυφή όπως προαναφέρθηκε είναι η Βάρδια με υψόμετρο 276m, ακολουθούν ο Σείρος με 178m και η Βαρδίτσα με 144m.



Εικόνα 1: Δορυφορική εικόνα της περιοχής μελέτης. Πηγή: google earth

2.2 Ανθρωπογενές περιβάλλον –Δημογραφικά στοιχεία

Η πρώτη προσπάθεια εποίκτης της περιοχής έγινε το 1835, ορμούμενη από την Μάνη με τον Τζανετάκη Γρηγοράκη η οποία και απέτυχε. Αργότερα κάτοικοι από τα γύρω χωριά των Βατίκων έκαναν τα πρώτα τους βήματα για την εποίκισή του μεταφέροντας ζώα, στο έρημο τότε νησί. Το 1837 εκδόθηκε διάταγμα "Περί συνοικισμού εν Ελαφόνησο" από την Ελληνική Κυβέρνηση. Από το 1839 έως το 1849, υπήρξε σοβαρή διπλωματική διαμάχη με τους Άγγλους, οι οποίοι ήλεγχαν την Ιόνιο τότε Πολιτεία κατά την περίοδο 1814-1864 καθώς αναπόσπαστο μέρος της αποτελούσαν η Ελαφόνησος μαζί με τα γειτονικά νησιά Κύθηρα και Αντικύθηρα. Το 1850 η Ελαφόνησος εποικήθηκε οριστικά από τους σημερινούς της κατοίκους. Ο σημαντικότερος παράγοντας που συνετέλεσε στην κατοίκηση του νησιού υπήρξε η οριστική διακοπή της πειρατείας στο Αιγαίο από το Ελληνικό Πολεμικό Ναυτικό.

Ο πληθυσμός του νησιού είναι μερικές εκατοντάδες κάτοικοι τον χειμώνα οι οποίοι το καλοκαίρι σχεδόν διπλασιάζονται. Το νησί αποτελεί πόλο έλξης για χιλιάδες τουρίστες με κορύφωση τους μήνες, Ιούλιο και Αύγουστο, όπου οι διανυχτερεύσεις ξεπερνούν τις 5.000 και οι διελεύσεις αυτοκινήτων καθημερινά φθάνουν και ξεπερνούν τις 1.600. Κατά την απογραφή του 2001 η τότε κοινότητα Ελαφονήσου είχε μόνιμο πληθυσμό 896 κάτοικους (Ε.Σ.Υ.Ε.). Το 1892 ο Philippson αναφέρει 193 κατοίκους ενώ ο Ν. Συμεωνίδης το 1969 αναφέρει 800 κατοίκους. Κύρια απασχόληση των κατοίκων σήμερα είναι η αλιεία, ο τουρισμός, οι ελαιοκαλλιέργειες, η κτηνοτροφία, η μελισσοκομία και η παραγωγή παραδοσιακών προϊόντων.

2.3 Γεωλογία – Τεκτονική

Η πρώτη ολοκληρωμένη εργασία γεωλογικού περιεχομένου για την Ελαφόνησο έγινε από τον καθηγητή Νίκο Συμεωνίδη (1969), η οποία και συνοδεύτηκε από την έκδοση σχετικού γεωλογικού χάρτη. Σύμφωνα με την παραπάνω εργασία οι γεωλογικοί σχηματισμοί που συναντώνται στο νησί είναι οι Μεσοζωικοί ασβεστόλιθοι της ζώνης Τριπόλεως, και οι μαργαικοί ασβεστόλιθοι Νεογενούς ηλικίας. Γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στην παρουσία των αμμοθινών, οι οποίες όπως αναφέρει σε ορισμένες περιπτώσεις λόγω της δράσης των βορείων ανέμων έχουν επιφέρει μεγάλες καταστροφές στους αγρούς. Αναφέρει επίσης ότι οι Μεσοζωικοί ασβεστόλιθοι (ζώνης Τριπόλεως) οι οποίοι δεσπόζουν στο νησί έχουν μεταμορφωμένο υπόβαθρο.

Οι Σ. Λέκκας και Α. Ζαμπετάκη-Λέκκα το 1986 περιγράφουν εκτενώς τους γεωλογικούς σχηματισμούς του νησιού. Αναφέρουν δύο γεωτεκτονικές ενότητες στις οποίες ανήκουν οι Αλπικοί σχηματισμοί: την ενότητα Τρίπολης και την ενότητα της Πίνδου. Η ενότητα της Τριπόλεως αντιπροσωπεύεται μόνο από την ανθρακική σειρά που καταλαμβάνει και την μεγαλύτερη έκταση του νησιού. Πρόκειται για δολομίτες και δολομιτωμένους νηρητικούς ασβεστόλιθους με σαφή τάση ανάδυσης, όπως πιστοποιείται από τα απολιθώματα που περιέχουν οι σχηματισμοί αυτοί (Discorbidae, Ophthalmidiae και οστρακώδη). Σε ορισμένες θέσεις οι ασβεστόλιθοι είναι κρυσταλλικοί, ενώ σε άλλες παρατηρούνται δολομιτικά λατυποπαγή. Η ηλικία των ανθρακικών σχηματισμών της ενότητας Τριπόλεως είναι Ανωκρητιδική, όπως διαπιστώνεται από την παρουσία Ρουδιστών και μικροαπολιθωμάτων. Στο νότιο μέρος του νησιού οι ανώτεροι ορίζοντες των ασβεστόλιθων θυμίζουν φάσεις του Παλαιόκαινου χωρίς αυτό να πιστοποιείται με την παρουσία χαρακτηριστικών απολιθωμάτων.

Η ενότητα της Πίνδου βρίσκεται στο κέντρο του νησιού με μορφή μικρών σε έκταση και πάχος ρακών. Τα κατώτερα στρώματα του καλύμματος αποτελούν κόκκινοι ραδιολαρίτες και πηλίτες καθώς επίσης και ορισμένοι ψαμμίτες που πιθανότατα ανήκουν στον πρώτο φλύσχη της Πίνδου. Ακολουθούν πλακώδεις πελαγικοί ασβεστόλιθοι του Ανωτ. Κρητιδικού.

Νεογενή ιζήματα καλύπτουν επικλυσίγενώς τους Αλπικούς σχηματισμούς και αποτελούνται από μαργαϊκούς ασβεστόλιθους και ψαμμίτες. Μεταξύ των Νεογενών ιζημάτων και του Αλπικού υπόβαθρου υπάρχουν κατά θέσεις κόκκινες χερσαίες άμμοι.

Στους Τεταρτογενείς σχηματισμούς επικρατούν οι σύγχρονες παράκτιες θίνες και άμμοι που βρίσκονται στις βόρειες και νότιες ήπιας μορφολογίας ακτές του νησιού. Υπολείμματα παλαιών θινών (απολιθωμένες) διαπιστώθηκαν στο νότιο μέρος το νησιού, χαρακτηρίζονται από σαφή σταυρωτή στρώση και βρίσκονται σε ένα υψόμετρο 4-10 μέτρων. Μεταξύ των παλαιών θινών και του υποβάθρου παρεμβάλλεται ένα παλαιοέδαφος.



Εικόνα 2:Εμφάνιση Παλαιοεδάφους στον όρμο Φράγκο.

Οι ανθρακικοί σχηματισμοί της ενότητας της Τριπόλεως σχηματίζουν κυρίως μια μονοκλινική δομή με κλίση προς νότο. Στο βόρειο μέρος του νησιού διαγράφεται πτύχωση με μεγάλη ακτίνα καμπυλότητας που έχει άξονα διεύθυνσεως ΒΑ-ΝΔ.

Τα ρήγματα που έχουν επηρεάσει τους γεωλογικούς σχηματισμούς του νησιού είναι κανονικά και τα περισσότερα έχουν διευθύνσεις ΒΔ-ΝΑ και Β-Ν. Ορισμένα από τα ρήγματα έχουν ηλικία προ-Ανω-Πλειοκαινική και σχημάτισαν τεκτονικά βυθίσματα που πληρώθηκαν από Νεογενή ιζήματα ενώ ορισμένα είναι Μετά-Ανω-Πλειοκαινικής ηλικίας (Λέκκας, Ζαμπετάκη, 1986).

Ρήγματα τα οποία βρίσκονται προφανώς υποθαλάσσια έχουν ως συνέπεια την ανοδική κίνηση του νησιού που έχει σαν αποτέλεσμα την ανάδυσή του καθώς και της απέναντι ακτής και δημιουργούν μια διαδοχή θαλάσσιων αναβαθμίδων. Από τους ιστορικούς χρόνους και μετά φαίνεται να βυθίζεται όλη η περιοχή, όπως αποδεικνύεται από τις βυθισμένες αρχαίες λιμενικές εγκαταστάσεις.

Ακολουθεί η αναλυτική περιγραφή των γεωλογικών σχηματισμών του νησιού ανά περιοχή.

Η ενότητα Τριπόλεως αντιπροσωπεύεται μόνο από την ανθρακική σειρά, που αποτελεί και το υπόβαθρο του νησιού. Τα ανθρακικά ιζήματα καλύπτονται τεκτονικά από τα ιζήματα της ενότητας Ωλονού–Πίνδου σε μικρή έκταση στο κέντρο του νησιού ενώ σε πολλές θέσεις καλύπτονται επικλυσιγενώς από Μεταλλικούς σχηματισμούς.

ι) Περιοχή Λεύκη –Ακρωτήριου Φράγκου

Η περιοχή καταλαμβάνει το νοτιοανατολικότερο άκρο του νησιού (βλ. χάρτη 3) και αποτελεί μια επιμήκη ανθρακική μάζα της ενότητας Τριπόλεως, που εκτείνεται από τον όρμο Λεύκη στα βόρεια, μέχρι το ακρωτήριο Φράγκο στα νότια. Πρόκειται για μια μονοκλινική δομή με κλίσεις προς τα ΝΑ κυμαινόμενες από 20-30° περίπου. Αποτελείται από μαύρους βιτουμενιούχους κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους και λευκότεφρους δολομίτες σε στρώματα πάχους από λίγα εκατοστά έως ένα μέτρο.

ii) Περιοχή Πύργου-Φορτίων –Στεφανίων

Η περιοχή αυτή βρίσκεται στο βόρειο τμήμα του χάρτη και αποτελείται από μια επιμήκη ανθρακική μάζα της ενότητας Τριπόλεως, διότι καλύπτεται από Νεογενή ιζήματα και μερικώς στο δυτικό τμήμα της από το κάλυμμα της Πίνδου.

Η ανθρακική μάζα παρουσιάζει στο μεν βόρειο τμήμα μικρές κλίσεις 5-10° προς τα ΒΔ στο δε νότιο μεγαλύτερες κλίσεις περίπου 30° προς τα ΝΑ. Η όλη εμφάνιση παρουσιάζει μια ελαφρά αντικλινική δομή με άξονα διευθύνσεως ΒΑ-ΝΔ.

Νοτιότερα στην περιοχή των Στεφανίων, συναντώνται δολομιτιωμένοι ασβεστόλιθοι, κατά τόπους ανακρυσταλλωμένοι. Πρόκειται για ενδοβιοσπαρίτες με πτωχή πανίδα σε σχέση με τους προηγούμενους.

iii) Περιοχή Βάρδια

Η περιοχή αυτή περιλαμβάνει τον ορεινό όγκο των Βαρδίων, που έχει μια επιμήκη διεύθυνση Α-Δ και η κορυφή του είναι το ψηλότερο σημείο του νησιού (τριγωνομετρικό σημείο

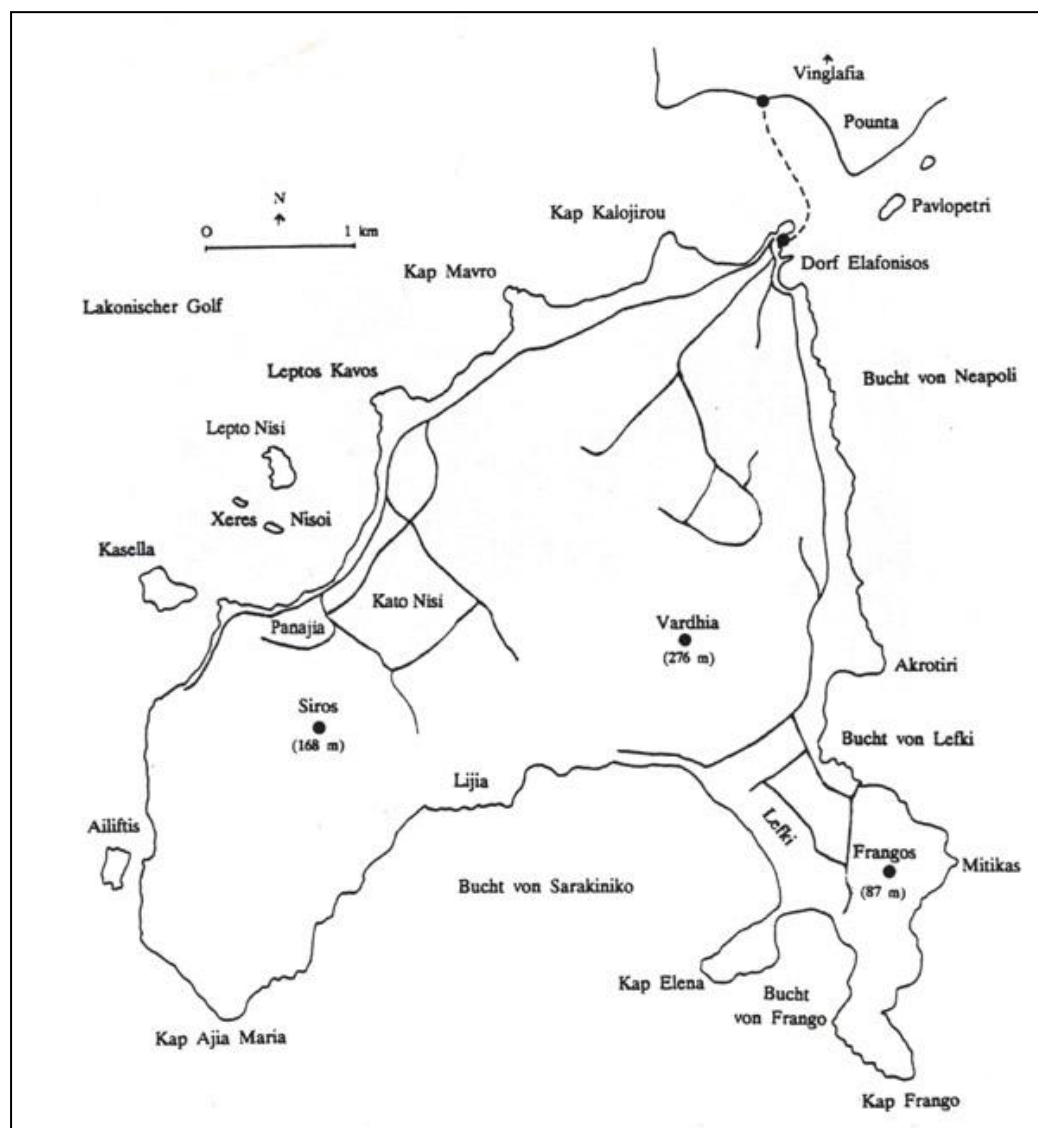
275,68m),. Εδώ απαντώνται τεφροί δολομιτωμένοι ασβεστόλιθοι ενδοβιομικριτικοί με λίγα ελασματοβράγχια και άλλοτε μαύροι βιτουμενιούχοι οι οποίοι περιέχουν ρουδιστές, γαστερόποδα, Taumatoporella και ανακρυσταλλωμένα Miliolidae (Λέκκας, Ζαμπετάκη , 1986).

iv) Περιοχή Βορειοδυτικής Ελαφονήσου

Στην περιοχή Κοπρισιές επικρατούν μαύροι βιτουμενιούχοι ασβεστόλιθοι ως επί το πλείστον δολομιτωμένοι, που περιέχουν: Ρουδιστές, θραύσματα ελασματοβραγχίων

v) Περιοχή νοτιοδυτικής Ελαφονήσου

Η ευρύτερη αυτή περιοχή καταλαμβάνει το νοτιοδυτικότερο τμήμα της Ελαφονήσου που καταλήγει στο ακρωτήριο Αγίας Μαρίας. Αποτελείται από ανθρακικούς σχηματισμούς της ζώνης Τριπόλεως , οι οποίοι τοπικά καλύπτονται από μεταλικά ιζήματα.



Χάρτης 3: Χάρτης της Ελαφονήσου με τοπωνύμια όπως σχεδιάστηκε από τον καθηγητή Ν. Συμεωνίδη (1969)

Στο κέντρο του νησιού μεταξύ των περιοχών Βίγλας και καλυβάκια, συναντώνται ιζήματα της ενότητας Ωλονού Πίνδου επωθημένα πάνω στην ενότητα Τριπόλεως. Οι ορίζοντες που συναντώνται είναι η λεγόμενη "ερυθρή σειρά" που αποτελείται από ερυθρούς ραδιολαρίτες και πηλίτες, ασβεστολιθικές ενδιαστρώσεις με *silex* καθώς και ενδιαστρώσεις κίτρινων πηλινών και ψαμμιτών. Ακολουθούν γκριζόλευκοι έως υποκίτρινοι μαργαικοί ασβεστόλιθοι που υπέρκεινται της ερυθρής σειράς.

Οι Μεταλλικοί σχηματισμοί που συναντώνται στην περιοχή είναι οι ερυθρές άμμοι, οι Νεογενείς σχηματισμοί και οι Τεταρτογενείς αποθέσεις.

i) Ερυθρές άμμοι

Σε ορισμένες θέσεις στο βόρειο τμήμα του νησιού, βρέθηκαν μικρές εμφανίσεις ερυθρών άμμων που παρεμβάλλονται μεταξύ των Αλπικών σχηματισμών και των Νεογενών ιζημάτων. Πρόκειται για λεπτόκοκκους σχηματισμούς συνεκτικούς έως ασύνδετους. Η προέλευση τους είναι χερσαία και η φύση τους (λεπτόκοκκοι) αποκλείει το ενδεχόμενο της επί τόπου δημιουργίας τους, διότι θα αποτελούσαν ίσως πλευρικά κορήματα. Πιθανότερο είναι να έχουν μεταφερθεί από την απέναντι πλευρά της Πελοποννήσου την εποχή που υπήρχε χερσαία επικοινωνία με το νησί.

ii) Νεογενείς σχηματισμοί

Ένα μεγάλο τμήμα της Ελαφονήσου καλύπτεται από μαργαικούς ασβεστόλιθους και λίγους ψαμμίτες, οι οποίοι αποτελούν μεταβάσεις τόσο κατά την κατακόρυφη, όσο και κατά την οριζόντια έννοια. Οι Νεογενείς σχηματισμοί καλύπτουν επικλυσιογενώς τους ασβεστόλιθους της ενότητας Τριπόλεως και τα ιζήματα της ενότητας Ωλονού-Πίνδου ή πληρώνουν τεκτονικές τάφρους.

Οι μαργαικοί ασβεστόλιθοι είναι συνεκτικοί, άλλα κοντά στην επιφάνεια του εδάφους γίνονται πολύ συνεκτικοί σχηματίζοντας μια κρούστα πάχους μέχρι πενήντα εκατοστά.

Οι ψαμμίτες εμφανίζονται κυρίως στο ανατολικό μέρος του νησιού σχηματίζοντας λεπτή ζώνη κατά μήκος της ακτής, καθώς επίσης στο χωριό Ελαφόνησος και νοτιότερα αυτού. Πρόκειται για λεπτόκοκκους ψαμμίτες που παρουσιάζουν μικρές κυμαινόμενες κλίσεις με πάχος στρωμάτων λίγων εκατοστών.

Τα Νεογενή ιζήματα φέρουν μια πλούσια πανίδα τόσο από μάκρο, όσο και μικρο απολιθώματα. Σύμφωνα με το Ν. Συμεωνίδη (1969), η ηλικία των Νεογενών σχηματισμών της Ελαφονήσου είναι Πλειοκαινική. Στην παρακείμενη ακτή ο ίδιος ο συγγραφέας αναγνωρίζει Νεογενείς ψαμμίτες τους οποίους χαρακτηρίζει ως Πλειοκαινικούς, ενώ η Α. Μαρκοπούλου-Διακαντώνη (1977) για την ίδια περιοχή, μελετώντας την πανίδα των Εχινειδών, τους χαρακτηρίζει ως Ανω-Πλειοκαινικούς – Κατω-Πλειστοκαινικούς. Ο Β. Keraudren (1967)

προσδιόρισε Καλάβρια στρώματα στην ευρύτερη περιοχή της Νεάπολης. Οι H.Malz-T.Jellinek (1984) δίνουν μια Πλειο-Πλειστοκαινική ηλικία με οστρακώδη για την ευρύτερη περιοχή.

iii) Τεταρτογενείς σχηματισμοί

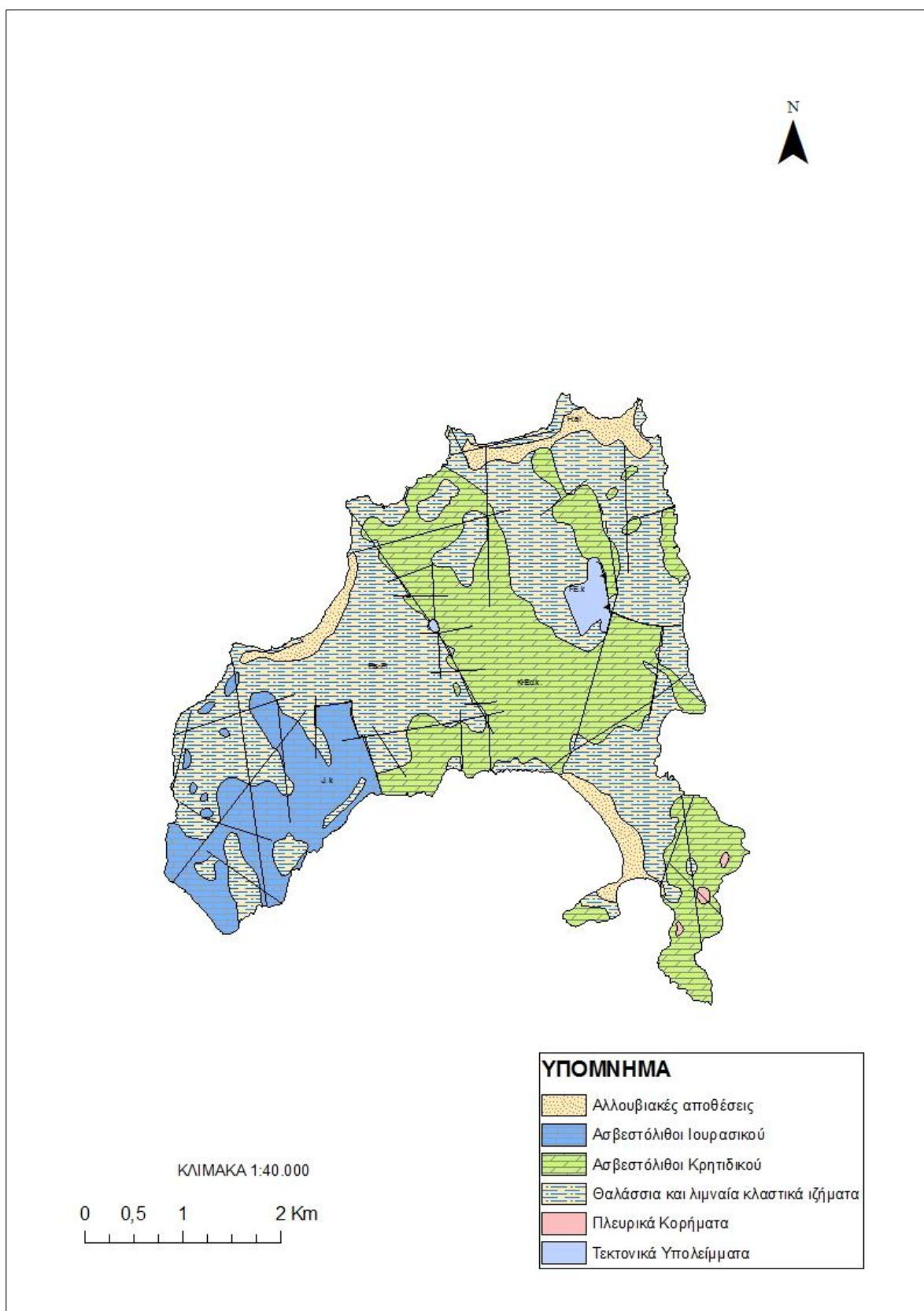
Οι Τεταρτογενείς σχηματισμοί αποτελούνται από παλαιοεδάφη, παλαιές (απολιθωμένες) θίνες, πλευρικά κορήματα και σύγχρονες παράκτιες θίνες και άμμους.

Το παλαιοέδαφος παρατηρήθηκε σε πολύ μικρή εμφάνιση κάτω από τις παλαιές θίνες που βρίσκονται στο νότιο μέρος του νησιού στην περιοχή Φράγκου. Πρόκειται για χερσαία ιζήματα χρώματος καστανοκόκκινου που περιέχουν χερσαία γαστερόποδα.

Παλαιές (απολιθωμένες) θίνες βρίσκονται στο νότιο μέρος του νησιού, στους όρμους Σαρακίνικο και Φράγκο. Εμφανίζονται σε πολύ μικρή έκταση, γιατί έχουν διαβρωθεί ή καλύπτονται από κορήματα στην περιοχή Φράγκου και από σύγχρονες θίνες στην περιοχή Σαρακίνικου. Παρουσιάζουν σαφή σταυρωτή στρώση και βρίσκονται σε ένα υψόμετρο κυμαινόμενο από 4 έως 10m.

Οι κώνοι κορημάτων είναι περιορισμένης έκτασης και πάχους, λόγω του σχετικά ήπιου ανάγλυφου που παρουσιάζει το νησί και αποτελούνται από λατύπες των ασβεστόλιθων και δολομιτών της ενότητας Τριπόλεως.

Οι άμμοι και οι σύγχρονες θίνες καταλαμβάνουν μεγάλη έκταση και καλύπτουν τις βόρειες και νότιες χαμηλές ακτές του νησιού. Δημιουργούνται από συνεχή δράση των ανέμων που μεταφέρουν τη θαλάσσια άμμο προς το εσωτερικό. Η άμμος μετακινείται συνεχώς προς το εσωτερικό του νησιού μέχρι να συναντήσει κάποιο εμπόδιο που συνήθως είναι οι συστάδες των κέδρων. Το επόμενο στάδιο είναι η συσσώρευση της άμμου γύρω από τους κέδρους και η δημιουργία των θινών. Το ύψος τους σε πολλές θέσεις υπερβαίνει τα 5 μέτρα.

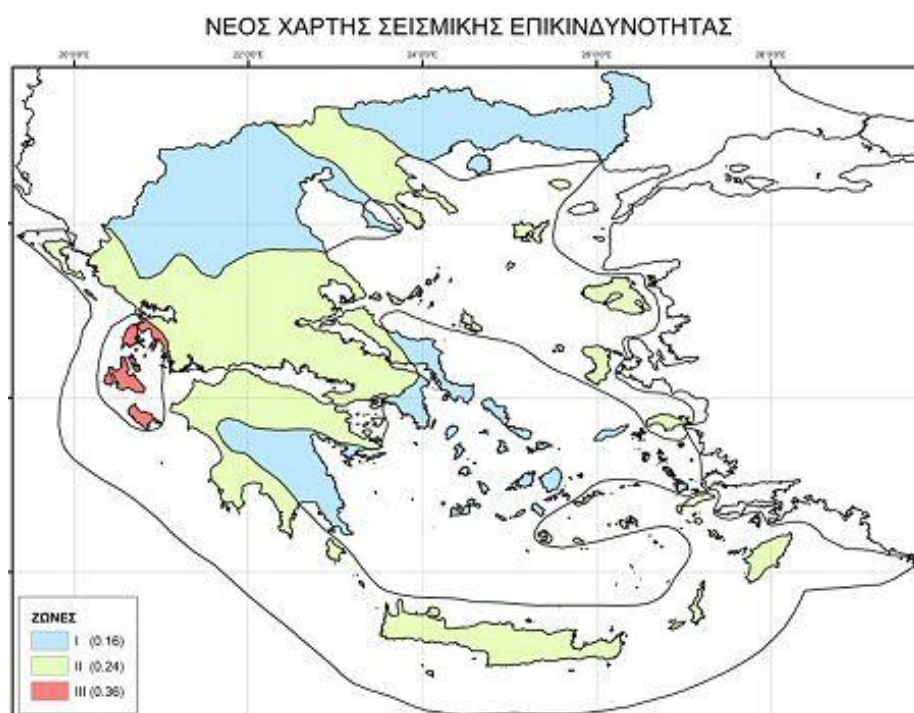


Χάρτης 4: Γεωλογικοί σχηματισμοί της περιοχής μελέτης (προσωπική επεξεργασία) Πηγή δεδομένων: Ι.Γ.Μ.Ε. φύλλο Παπαδιάνικα-Ποταμός

2.4. Σεισμικότητα περιοχής

Με βάση τον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό, η χώρα υποδιαιρείται σε τρεις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας Ι, ΙΙ, και ΙΙΙ, τα όρια των οποίων καθορίζονται στο Χάρτη Σεισμικής Επικινδυνότητας της Ελλάδας (Χάρτης 5).

Ο ελληνικός χώρος κατανέμεται σε τρεις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας. Οι τιμές εδαφικών επιταχύνσεων σχεδιασμού είναι 0,16g (ποσοστό της επιτάχυνσης της βαρύτητας g) για την πρώτη ζώνη, 0,24g για τη δεύτερη ζώνη και 0,36g για την τρίτη ζώνη. Οι ζώνες αυτές απεικονίζονται στον ακόλουθο χάρτη του ΟΑΣΠ.



Χάρτης 5: Νέος χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας (www.oasp.gr)

Σε κάθε ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας αντιστοιχεί μία τιμή σεισμικής επιτάχυνσης εδάφους $A=ag$ (g: επιτάχυνση βαρύτητας) σύμφωνα με τον κατωτέρω πίνακα:

Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας	I	II	III
A	0,16	0,24	0,36

Πίνακας 1 : Ζώνες σεισμικών επιταχύνσεων σύμφωνα με τον Αντισεισμικό Κανονισμό.

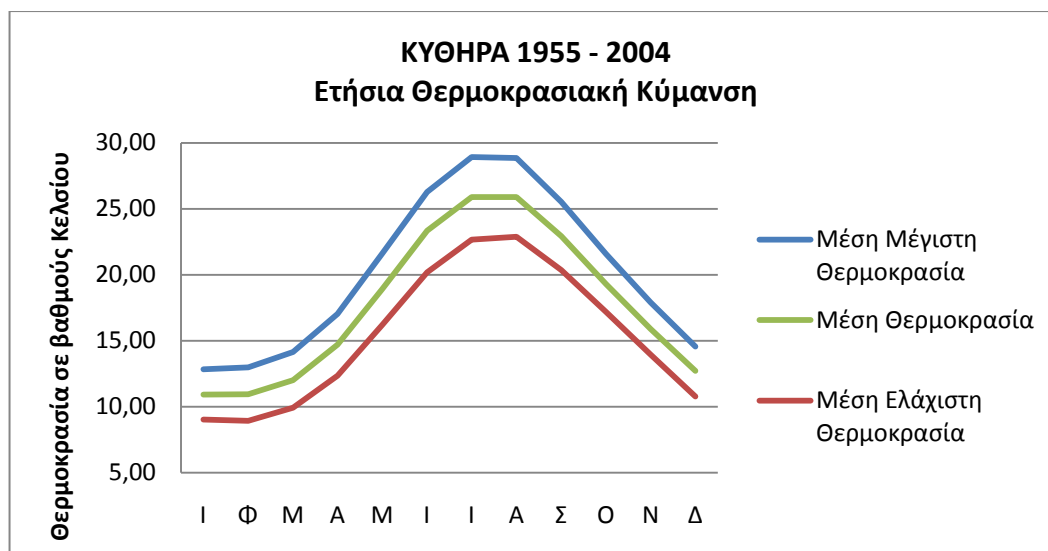
Όπως φαίνεται και απ' την αντίστοιχη εικόνα που ακολουθεί, η υπό μελέτη περιοχή ανήκει οριακά στην κατηγορία σεισμικής επικινδυνότητας Ι με αναμενόμενη επιτάχυνση:

$$10g\gamma=0,264 \log T+ 1,739$$

2.5. Κλιματικά –Μετεωρολογικά χαρακτηριστικά

Τα κλιματολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής προκύπτουν από τα αρχεία με πρωτογενή δεδομένα του πλησιέστερου μετεωρολογικού σταθμού της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας, αυτού των Κυθήρων (γεωγρ. πλάτος 36,08° Βόρειο – γεωγρ. μήκος 23,08° Ανατολικό) για τον οποίο υπάρχουν επεξεργασμένα δεδομένα από το 1955 μέχρι και το 2004 (πηγή Ε.Μ.Υ.). Συλλέχθηκαν δεδομένα του Μετεωρολογικού σταθμού που αφορούν τη θερμοκρασία του αέρα, τη σχετική υγρασία, τη νεφοκάλυψη, τη βροχόπτωση και το ανεμολογικό καθεστώς για την περίοδο παρατήρησης. Συντάχθηκαν οι πίνακες των μέσων μηνιαίων τιμών και σχεδιάστηκαν τα αντίστοιχα διαγράμματα της ετήσιας πορείας ώστε να σκιαγραφηθούν τα κλιματολογικά χαρακτηριστικά του νησιού.

Το κλίμα της περιοχής χαρακτηρίζεται ως μεσογειακό με την μέση μηνιαία θερμοκρασία του αέρα να παίρνει την υψηλότερη τιμή της τον Ιούλιο και τον Αύγουστο, και την ελάχιστη των Ιανουάριο όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 1. Η άμεση γειτνίαση με τη θάλασσα είναι η κύρια αιτία του μικρού παρατηρούμενου θερμοκρασιακού εύρους (διαφορά μέσης μηνιαίας μέγιστης από μέση μηνιαία ελάχιστη). Ο Πίνακας 2 περιλαμβάνει τις τιμές ανά μήνα της μέσης θερμοκρασίας του αέρα , της μέσης μέγιστης και της μέσης ελάχιστης.

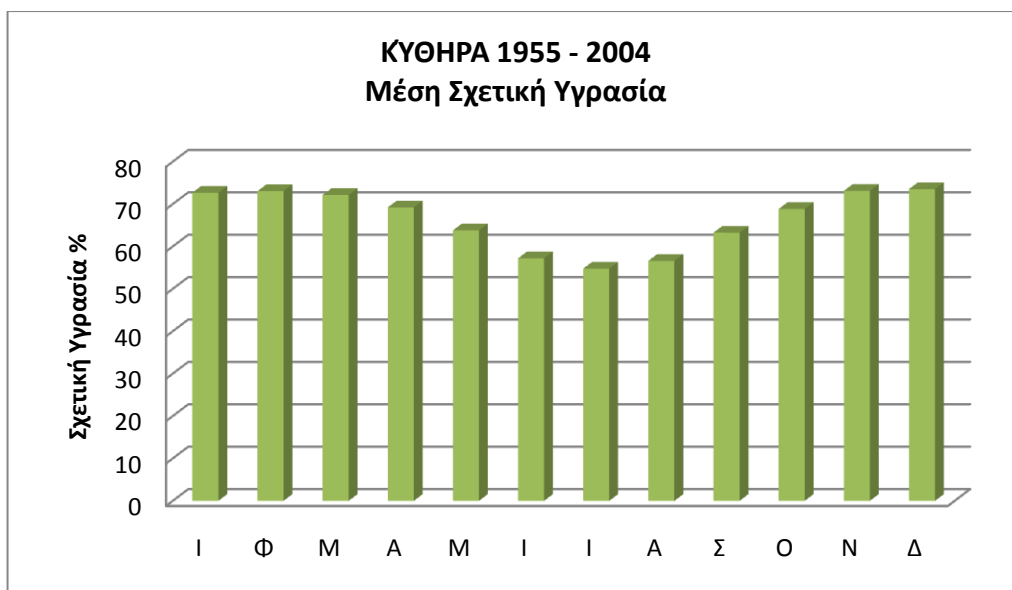


Διάγραμμα 1. Ετήσια Κύμανση της θερμοκρασίας ΚΥΘΗΡΑ 1955 – 2004 (Πηγή δεδομένων Ε.Μ.Υ.).

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Μέση Μέγιστη Θερμοκρασία	12,83	12,97	14,14	17,03	21,62	26,28	28,92	28,85	25,52	21,56	17,90	14,55
Μέση Θερμοκρασία	10,91	10,94	12,02	14,71	18,93	23,34	25,88	25,88	22,94	19,30	15,90	12,72
Μέση Ελάχιστη Θερμοκρασία	9,03	8,92	9,93	12,36	16,20	20,19	22,66	22,88	20,35	17,17	13,96	10,78

Πίνακας 2 Ετήσια Θερμοκρασιακή Κύμανση ΚΥΘΗΡΑ 1955 – 2004

Η ετήσια πορεία της σχετικής υγρασίας απεικονίζεται στο διάγραμμα 2. Όπως άλλωστε αναμενόταν η ελάχιστη τιμή της παρατηρείται τους θερινούς μήνες (Ιούλιος) και η μέγιστη τους χειμερινούς με μέγιστο τον Δεκέμβριο. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα ποσοστά της σχετικής υγρασίας είναι ιδιαίτερα υψηλά αφού οι μέσες τιμές δεν πέφτουν κάτω από το 55% ακόμα και τους θερινούς μήνες ενώ από τον Οκτώβριο μέχρι και τον Απρίλιο βρίσκεται στα επίπεδα του 70% (Πίνακας 3).

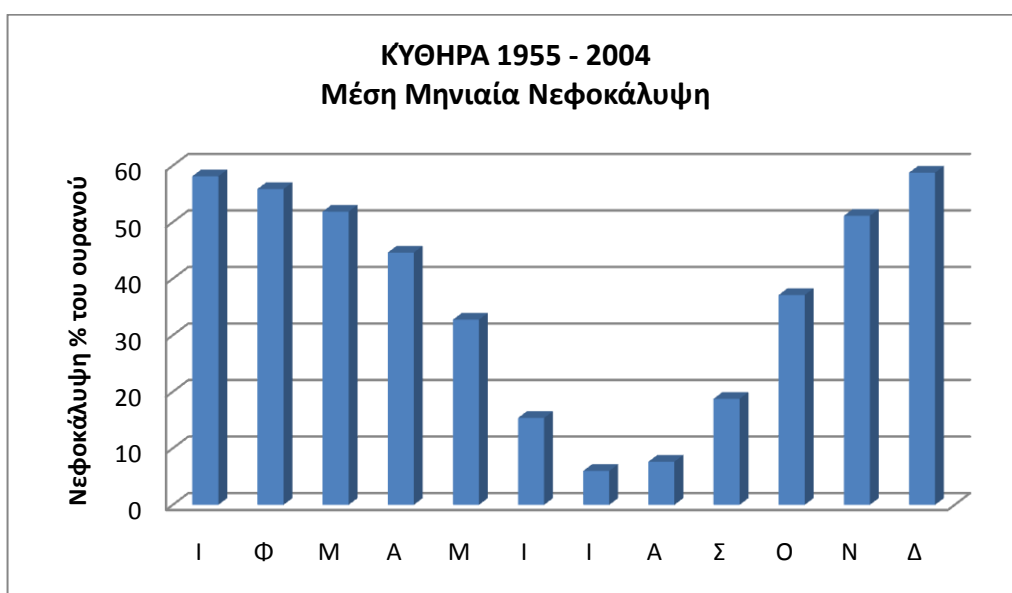


Διάγραμμα 2. Μέση Σχετική Υγρασία % ΚΥΘΗΡΑ 1955 – 2004 (πηγή δεδομένων Ε.Μ.Υ)

ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
72,67	73,04	72,13	69,21	63,79	57,2	54,77	56,61	63,26	68,84	73,11	73,53

Πίνακας 3. Μέση Σχετική Υγρασία % ΚΥΘΗΡΑ 1955 – 2004(πηγή δεδομένων Ε.Μ.Υ.)

Η μέση ημερήσια νεφοκάλυψη, σαν % ποσοστό κάλυψης του ουράνιου θόλου από νέφη είναι χαμηλή (Διάγραμμα 3). Σχεδόν αίθριος ο ουρανός από τον Μάιο μέχρι τον Οκτώβριο αλλά ακόμα και τους χειμερινούς μήνες δεν ξεπερνά το 60%. Δεν είναι υπερβολή να αναφερθεί ότι δεν υπάρχει ημέρα στο νησί χωρίς ηλιοφάνεια (Πίνακας 4).

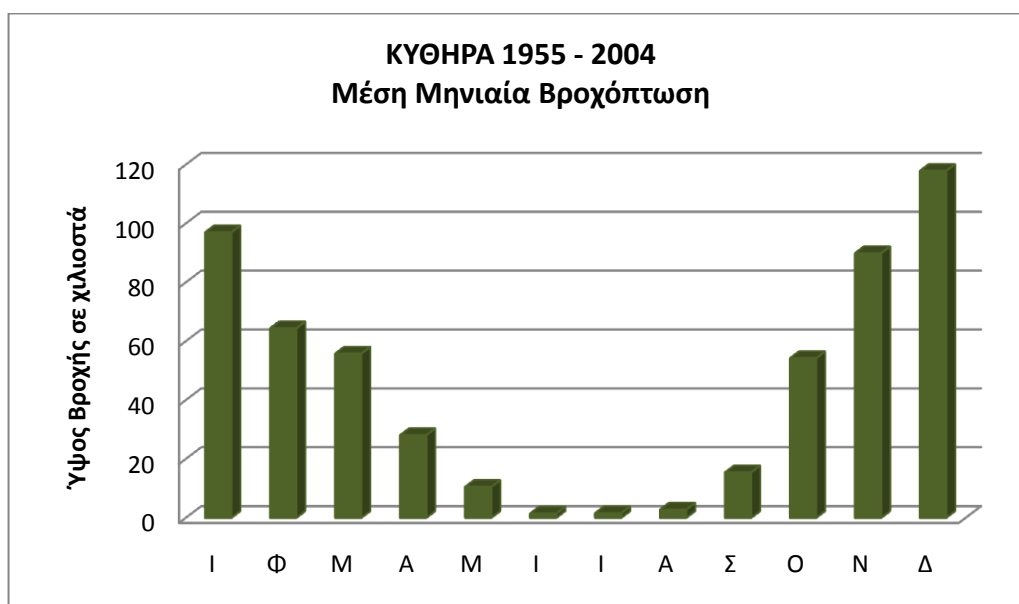


Διάγραμμα 3. Μέση Μηνιαία Νεφοκάλυψη % του ουρανού ΚΥΘΗΡΑ 1955 – 2004 (Πηγή Ε.Μ.Υ.)

ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
58,13	55,88	51,88	44,63	32,75	15,38	6,00	7,63	18,75	37,13	51,13	58,75

Πίνακας 4. Μέση Μηνιαία Νεφοκάλυψη % του ουρανού ΚΥΘΗΡΑ 1955 – 2004 (Πηγή δεδομένων Ε.Μ.Υ.)

Τα μέσα παρατηρούμενα ύψη βροχής είναι υψηλά τους μήνες Νοέμβριο, Δεκέμβριο και Ιανουάριο, με το μέγιστο τον Δεκέμβριο και, όπως άλλωστε αναμένεται χαμηλά την θερινή περίοδο (Διάγραμμα 4). Γεγονός είναι, καθόσον τα δεδομένα αφορούν μέσα μηνιαία ύψη βροχής για μία περίπου πενηκονταετία, ότι, ακόμη και τους ξηρούς θερινούς μήνες Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο παρατηρούνται κάποια ύψη βροχής (Πίνακας 5).



Διάγραμμα 4. Μέση Μηνιαία Βροχόπτωση σε χιλιοστά ΚΥΘΗΡΑ 1955 – 2004 (πηγή δεδομένων Ε.Μ.Υ)

ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
97,00	64,40	55,78	28,08	10,50	1,44	1,58	2,78	15,43	54,23	89,91	117,9

Πίνακας 5. Μέση Μηνιαία Βροχόπτωση σε χιλιοστά ΚΥΘΗΡΑ 1955 – 2004

Όσον αφορά το ανεμολογικό καθεστώς, στον Πίνακα 6 περιγράφονται οι μέσες ετήσιες συχνότητες ανέμου ανά διεύθυνση, στις οκτώ (8) βασικές διευθύνσεις, και ανά ένταση, με την ένταση στην κλίμακα Beaufort. Από την παρατήρηση του πίνακα προκύπτει ότι η επικρατούσα

διεύθυνση από την οποία πνέουν οι άνεμοι είναι οι βορειοανατολικοί, με συχνότητα 22,76%. Γενικά επικρατούν άνεμοι του βόρειου τομέα, βορειοδυτικοί, βόρειοι, βορειοανατολικοί, αφού αθροιστικά η συχνότητα εμφάνισής τους καλύπτει πάνω από το 45% των ανέμων. Από πλευράς εντάσεων συνήθως είναι ασθενείς μέχρι μέτριοι (2 με 4 Beaufort) αφού αυτοί αντιστοιχούν στο 51,55% των περιπτώσεων. Ένα ποσοστό 14,63% αντιστοιχεί σε ισχυρούς ανέμους μεγαλύτερους ή ίσους των έξι (6) Beaufort, από το οποίο ποσοστό περίπου 1% αντιστοιχεί σε πολύ θυελλώδεις εντάσεως εννέα (9) και άνω Beaufort . Τέλος αξ σημειωθεί ότι έχει καταγραφεί ένα ποσοστό περίπου 18% που αντιστοιχεί κυρίως σε άπνοια.

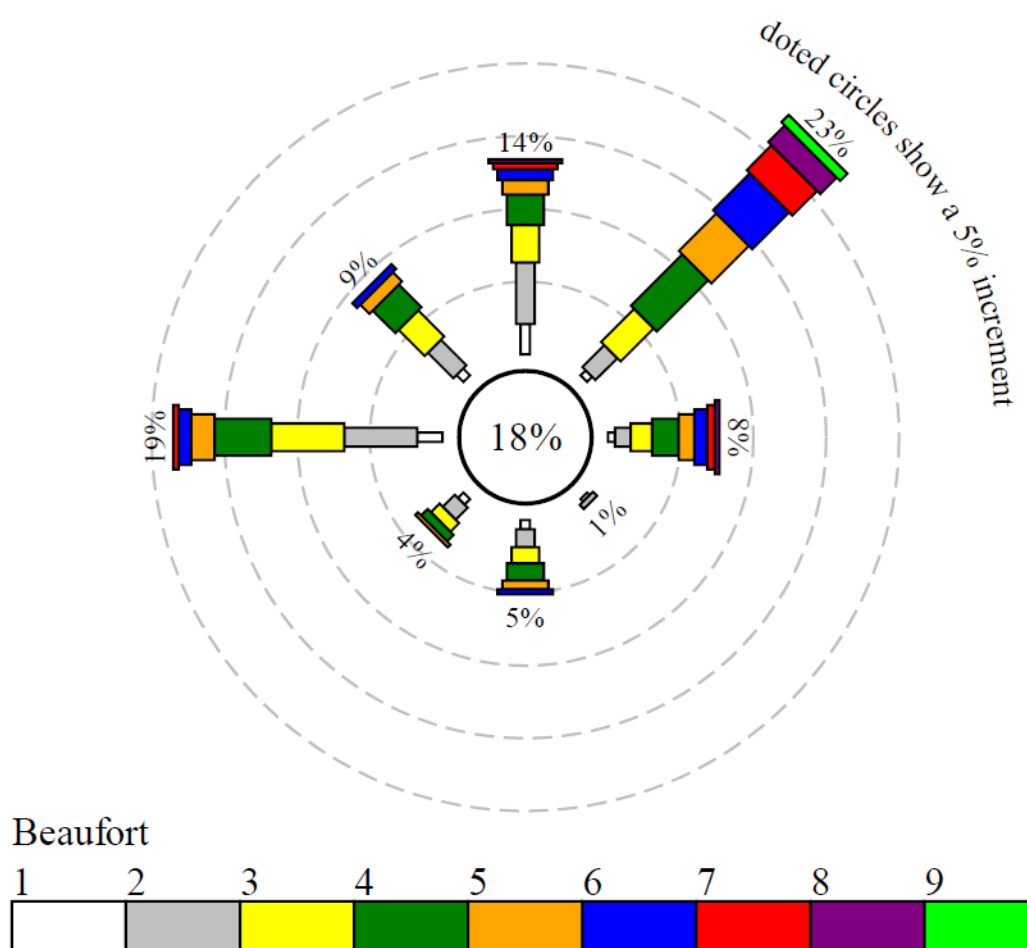
Ένταση ανέμου σε Beaufort	Διεύθυνση από την οποία πνέει ο άνεμος									
	B	BA	A	NA	N	NΔ	Δ	ΒΔ	Άπνοια – Μεταβλητοί	Σύνολα
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,87	17,85
1	2,08	0,49	0,46	0,25	0,63	0,53	1,74	0,68	0,05	6,92
2	4,23	2,12	1,09	0,39	1,24	1,17	5,03	2,47	0,05	17,80
3	2,57	3,22	1,48	0,14	1,11	0,84	5,00	2,53	0,00	16,89
4	2,10	4,99	1,83	0,04	1,17	0,63	3,90	2,20	0,00	16,86
5	0,98	3,65	1,06	0,01	0,59	0,27	1,60	0,89	0,00	9,05
6	0,74	3,57	0,89	0,00	0,36	0,14	0,85	0,46	0,00	7,01
7	0,44	2,40	0,53	0,00	0,16	0,11	0,38	0,17	0,00	4,19
8	0,26	1,61	0,32	0,00	0,04	0,05	0,12	0,05	0,00	2,45
≥ 9	0,09	0,71	0,12	0,00	0,01	0,01	0,03	0,01	0,00	0,98
Σύνολα	13,49	22,76	7,78	0,83	5,31	3,75	18,65	9,46	17,97	100,00

Πίνακας 6. Μέσες ετήσιες συχνότητες ανέμου ανά διεύθυνση και ανά ένταση (πηγή Ε.Μ.Υ)

Ένας συνήθης τρόπος απεικόνισης του ανεμολογικού καθεστώτος που συχνά χρησιμοποιείται από τους μετεωρολόγους είναι το «ροδόγραμμα του ανέμου». Το ροδόγραμμα ανέμου για την ευρύτερη περιοχή μελέτης παρέχεται στο σχήμα 1. Στο σχήμα αυτό περιγράφεται η συχνότητα των διευθύνσεων πνοής του ανέμου κατά το πρότυπο του ανεμολογικού χάρτη. Σε κάθε διεύθυνση εμφανίζονται αθροιστικά, με διαφορετικό χρώμα σύμφωνα με την χρωματική κλίμακα, οι συχνότητες της έντασης (ταχύτητας) του ανέμου με τη μορφή παραλληλογράμμων,

το ύψος των οποίων διαφοροποιείται κατά το ποσοστό συμμετοχής κάθε κατηγορίας ταχύτητας ανέμου. Οι ομόκεντροι κύκλοι (διακεκομμένη γραμμή) αντιστοιχούν στο 5% των περιπτώσεων. Στο διάγραμμα αυτό περιγράφονται όσα ήδη αναφέρθηκαν με βάση τον Πίνακα 6 για την ένταση και τη διεύθυνση των ανέμων στην περιοχή των Κυθήρων.

Σχήμα 1: «Ροδόγραμμα Ανέμου» Συχνότητες ανά διεύθυνση και ένταση (Beaufort) του πνέοντος ανέμου ΚΥΘΗΡΑ 1955 – 2004



2.6. Γεωμορφολογία

2.6.1.Μορφολογικές παρατηρήσεις

Το βασικό μορφολογικό χαρακτηριστικό της Ελαφονήσου είναι το ήπιο ανάγλυφο, με εξαίρεση ορισμένων απότομων κλιτύων που αποτελούν μέτωπα θαλάσσιων αναβαθμίδων ή τις παρυφές τεκτονικών τάφρων, όπως στο νότιο μέρος του νησιού και συγκεκριμένα στις βόρειες παρυφές της Λεύκης.

Οι θαλάσσιες αναβαθμίδες αναπτύσσονται τόσο στους ασβεστόλιθους της ζώνης Τριπόλεως όσο και στους μαργαικούς ασβεστόλιθους του Πλειοκαίνου. Η ηλικία τους είναι Τεταρτογενής.

Από την παρατήρηση του τοπογραφικού χάρτη βλέπει κανείς ευκρινώς τουλάχιστον τρεις θαλάσσιες αναβαθμίδες που αναπτύσσονται στο μεγαλύτερο τμήμα του νησιού, αλλά και στην παρακείμενη ακτή της Πελοποννήσου. Η νεότερη παρατηρείται σε απόλυτο υψόμετρο 6-8 m στις δυτικές περιοχές του νησιού, ενώ στις ανατολικές βρίσκεται σε μεγαλύτερα υψόμετρα 8-12 m. η αμέσως παλαιότερη βρίσκεται σε υψόμετρο 30-35 στα δυτικά και 35-40 στα νοτιοανατολικά. Η επόμενη θαλάσσια αναβαθμίδα αναπτύσσεται σε υψόμετρο 52-55 τόσο στα δυτικά, όσο και στα ανατολικά. Οι δύο πρώτες αναβαθμίδες που βρίσκονται χαμηλότερα, στα δυτικά, από τις αντίστοιχες στα νοτιοανατολικά, φανερώνουν ότι οι ανοδικές κινήσεις που τις δημιούργησαν ήταν πιο έντονες στα νοτιοανατολικά (Παπασπυριδάκου Ε., 1986).

Εκτός από τις τρεις προηγούμενες είναι πιθανό να υπάρχουν και παλαιότερες θαλάσσιες αναβαθμίδες οι οποίες όμως δεν παρουσιάζουν κάποια κανονικότητα στην υψομετρική τους κατανομή ανάλογη με τις νεότερες. Αυτό οφείλεται στην επίδραση του ρηγματογόνου τεκτονισμού ο οποίος τις τεμάχισε και τις μετατόπισε διακόπτοντας τη συνέχειά τους, πριν σχηματιστούν οι νεότερες. Έτσι λοιπόν παρατηρείται μεγάλη διακύμανση των υψομέτρων των επιφανειών της παλαιότερης ή των παλαιότερων αναβαθμίδων σε διάφορα υψόμετρα από τα 70 έως τα 120m περίπου.

2.6.2.Ανάγλυφο Ασβεστόλιθων

Οι ασβεστόλιθοι καταλαμβάνουν το κεντρικό τμήμα του νησιού καθώς και τις δύο νότιες χερσονήσους (Ακρωτ. Φράγκο και Ακρωτ. Αγία Μαρίνα). Οι ασβεστόλιθοι σχηματίζουν και τα υψηλότερα τμήματα του νησιού που φθάνουν σε ύψος 175m. Το ανάγλυφο των ασβεστόλιθων παρουσιάζει μικρές γενικά κλίσεις και μεγάλο βαθμό καρστικοποίησης. Οι καρστικές μορφές

παρατηρούνται κυρίως στους ασβεστόλιθους της ζώνης Τριπόλεως και αναφέρονται σε επιφανειακές καρστικές μικρο-μορφές, όπως δακτυλογλυφές, αμαξοτροχίες κ.τ.λ. Καρστικά σπήλαια μικρού μεγέθους παρατηρούνται στις απότομες επιφάνειες των μετώπων των αναβαθμίδων και πιθανά αποτελούν παράκτια σπήλαια την περίοδο που τα μέτωπα αυτά αποτελούσαν παράκτιους κρημνούς.

Το μεγαλύτερο σπήλαιο βρίσκεται σε υψόμετρο 95m στο νότιο τμήμα του νησιού στους πρόποδες του υψώματος Βάρδια.

Στο ίδιο υψόμετρο και προς τα ανατολικά παρατηρούνται και άλλες μικρότερες σπηλιές. Όλες οι σπηλιές των μετώπων προέρχονται από την διερεύνηση των προϋπαρχόντων καρστικών αγωγών, λόγω παράκτιας διάβρωσης κατά το στάδιο σχηματισμού των αναβαθμίδων.

2.6.3.Ανάγλυφο Νεογενών σχηματισμών

Οι νεογενείς αποθέσεις που αποτελούνται από κίτρινους μαργαικούς ασβεστόλιθους, καλύπτουν αρκετά σημαντική έκταση του νησιού (περίπου το 50%). Το ανάγλυφο που έχει αναπτυχθεί στις αποθέσεις αυτές είναι κατά κανόνα ομαλό με μικρές κλίσεις, μικρότερες από τις ασβεστολιθικές περιοχές. Αυτό οφείλεται στη σχετικά ομοιόμορφη λιθολογία που έχει σαν αποτέλεσμα να μην εμφανίζονται φαινόμενα διαφορικής διάβρωσης.

Το χαρακτηριστικό ανάγλυφο άλλων περιοχών με Νεογενείς αποθέσεις, όπως για παράδειγμα των απέναντι ακτών της Νεαπόλεως και του Μαλέα, δεν παρατηρείται στην Ελαφόνησο.

2.6.4.Τεταρτογενείς αποθέσεις

Οι Τεταρτογενείς αποθέσεις διακρίνονται στις χερσαίες Ολοκαινικές αποθέσεις των εσωτερικών περιοχών του νησιού και στους παράκτιους σχηματισμούς που αποτελούνται κυρίως από θίνες.

Στις εσωτερικές περιοχές εμφανίζονται μικρού πάχους Ολοκαινικές αποθέσεις κυρίως στο βόρειο τμήμα του νησιού. Μεγαλύτερη ανάπτυξη έχουν επάνω στις Νεογενείς αποθέσεις, γεγονός που οφείλεται στην ευκολότερη εξαλλοίωση των Νεογενών σχηματισμών. Οι παράκτιοι σχηματισμοί αποτελούνται από σύγχρονες θίνες και παλαιότερες λιθοποιημένες θίνες με διασταυρούμενη στρώση.

Στο βόρειο τμήμα οι σύγχρονες θίνες αναπτύσσονται από την περιοχή του Κάβου Καλογήρου μέχρι την πόλη της Ελαφονήσου. Εκτείνονται προς το εσωτερικό του νησιού σε απόσταση μέχρι και 1 km από την ακτογραμμή. Το ύψος τους είναι μικρό και δεν υπερβαίνει τα 2m. Η πόλη της Ελαφονήσου είναι κτισμένη πάνω στις θίνες αυτές.



Εικόνα 3: Αμμοθίνες στον όρμο Φράγκου

Στο δυτικό τμήμα απαντώνται οι θίνες στον όρμο Πρασσονήσι σε μέτωπο μήκους 1,5km. Οι θίνες αυτές έχουν ύψος μέχρι και 7 μέτρα και σχηματίζουν μια στενή λουρίδα κατά μήκος της ακτής πλάτους από 200 έως 250m. Στο νότιο τμήμα είναι αναπτυγμένες στους όρμους Φράγκο και Σαρακίνικο σε μήκος περίπου 3km.

Σχηματίζουν μια λοφώδη περιοχή κατά μήκος της ακτής ύψους μέχρι και 8 m. συνήθως οι θίνες αυτές καλύπτονται από βλάστηση. Το γεγονός αυτό δυσκολεύει την μετακίνηση του υλικού προς το εσωτερικό του νησιού και συντελεί στη σταθεροποίηση και διατήρηση των θινών.

Μεταξύ των δύο όρμων έχει δημιουργηθεί ένας βραχίονας άμμου που συνδέει τη νησίδα του Ακρωτηρίου Έλενα με την απέναντι ακτή, σχηματίζοντας ένα tombolo. Ο σχηματισμός του αμμώδους βραχίονα ελέγχεται από θαλάσσιους παράγοντες και οφείλεται στην εξασθένιση της

κυματικής ενέργειας στο πίσω μέρος της "νησίδας" Έλενα λόγω του φαινομένου της περίθλασης.



Εικόνα 4: Βραχίονας άμμου στο νότιο τμήμα του νησιού.

Και στις τρεις θέσεις που αναφέρθηκαν ο σύγχρονες θίνες βρίσκονται επάνω σε παλαιότερες μορφές θινών που έχουν λιθοποιηθεί και εμφανίζουν διασταυρούμενη στρώση. Κάτω από τις παλαιότερες θίνες υπάρχει έδαφος από αργιλοαμμώδες υλικό που έχει χρώμα ερυθρό–καφέ.

Οι λιθοποιημένες παράκτιες θίνες εμφανίζουν μέτρια συνεκτικότητα , παρατηρούνται κατά θέσεις κάτω από τις νεότερες θίνες και περιέχουν χερσαία γαστερόποδα. Οι παλαιότερες θίνες απαντώνται κοντά στην ακτή σε ύψος που δεν υπερβαίνει τα 5m.

2.6.5.Ακτές

Οι αιγιαλοί είναι ίσως τα πιο συνηθισμένα περιβάλλοντα του παράκτιου χώρου. Είναι γεωμορφές απόθεσης που αποτελούνται από ασύνδετα, χαλαρά υλικά όπως είναι οι κροκάλες, οι χάλικες, η άμμος σε συνδυασμό με εύπλαστα υλικά όπως η ιλύς και η άργιλος. Οι περισσότεροι αιγιαλοί αποτελούνται από την ανάμειξη όλων αυτών των υλικών. Εκτείνονται από τη μέση στάθμη της άμπωτης έως το σημείο που σημειώνεται προς την ξηρά μια μορφολογική αλλαγή

που αντιστοιχεί στο όριο δράσης των θαλάσσιων διεργασιών ή εκεί που αρχίζει η βλάστηση. Έτσι πολλές φορές το άνω όριο του αιγιαλού ορίζεται από το μέτωπο ενός παράκτιου κρημνού ή από μια ζώνη μόνιμης φυτοκάλυψης.

Στην Ελαφώνησο παρατηρούνται μεταβολές της στάθμης της θάλασσας όπως και στην ευρύτερη περιοχή. Στην Ελαφώνησο υπάρχουν βυθισμένες ακτογραμμές. Στο δυτικό τμήμα του Ακρωτηρίου Φράγκου έχουν παρατηρηθεί παλαιές ακτογραμμές σε βάθος μέχρι 1,6m. Οι γραμμές αυτές σχηματίζονται από κελύφη οργανισμών που ζουν στη στάθμη της θάλασσας. Στα δείγματα που ελήφθησαν (Παπασπυριδάκου. Ε.,1986) από τις παλαιές αυτές βυθισμένες ακτές διακρίνονται υπολείμματα από ασβεστοφύκη, μικρά ελασματοβράγχια, *Mytilus*, *Serpula* sp. Διακρίνονται τρεις σειρές ακτόλιθων σε βάθη (1,2), (1,4) και (1,6)m. Επίσης σε βάθος 0,3 έως 0,6 m διακρίνεται μια πολύ νέα βυθισμένη ακτή. Το υλικό της ακτής αυτής δε διακρίνεται από το αντίστοιχο της σημερινής ακτής αλλά έχει ίχνη από ανθρώπινες κατασκευές.

Σε πολλά σημεία του νησιού ιδίως στο βόρειο και δυτικό τμήμα, αλλά και στην απέναντι ακτή της Πούντας (Πελοπόννησος) διακρίνονται παράκτιες κατασκευές, πιθανώς δρόμοι που συνεχίζονται υποθαλάσσια τουλάχιστον μέχρι βάθος 0,6m.

2.6.6. Ψηφιδοπαγείς αιγιαλοί ή ακτόλιθοι (beach rocks)

Πρόκειται για συνεκτικούς σχηματισμούς κυμαινόμενης αντοχής και πρόσφατης γεωλογικής ηλικίας. Αποτελούνται από υλικά διαφόρων διαστάσεων όπως άμμοι, χάλικες και κροκάλες, τα οποία είναι συγκολλημένα με ανθρακικό ασβέστιο ($CaCO_3$) και ανθρακικό μαγνήσιο ($MgCO_3$). Η ορυκτολογία των κόκκων που συνιστούν τους ψηφιδοπαγείς αιγιαλούς μπορεί να είναι οποιαδήποτε και εξαρτάται από τη σύσταση του ιζήματος της παράκτιας ζώνης. Υπάρχουν κόκκοι που αποτελούνται από χαλαζία, ασβεστίτη, μαγνητίτη ή πυρόξενους. Μπορεί ακόμη μεταξύ αυτών να περιλαμβάνονται και θραύσματα απολιθωμένων κελυφών θαλάσσιων οργανισμών ή θραύσματα οστράκων

Σε μεγαλύτερα βάθη δεν είναι δυνατόν να διακριθούν γιατί καλύπτονται από άμμο. Επίσης στις γεωμορφές αυτές (beach rocks) υπάρχουν λαξευτοί τάφοι κλασσικών χρόνων σε ύψος μόνο λίγα εκατοστά πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Όλα αυτά δείχνουν μια πρόσφατη βύθιση η οποία πιθανώς συνεχίζεται και σήμερα. Η ηλικία των Beach rocks αναφέρεται στους ιστορικούς χρόνους γιατί βρέθηκαν κομμάτια από αγγεία.

Ο συσχετισμός των παλαιών ακτογραμμών της Ελαφονήσου είναι δυνατόν να γίνει με την ηλικία των αρχαιολογικών ευρημάτων. Από τον συσχετισμό αυτό προκύπτει ότι πιθανά όμοιας ηλικίας ακτές βρίσκονται στα Αντικύθηρα σε ύψος 2,38m ενώ στην Ελαφόνησο σε βάθος μεγαλύτερο του 1m. Το διαφορετικό ύψος των ακτών δείχνει ανεξάρτητες κινήσεις των Αντικυθήρων με την Ελαφόνησο.

2.6.7.Θαλάσσιες αναβαθμίδες

Οι θαλάσσιες αναβαθμίδες είναι παράκτιοι πάγκοι που έχουν μετατοπιστεί από την αρχική θέση σχηματισμού τους και σήμερα βρίσκονται πάνω ή κάτω από τη στάθμη της θάλασσας. Η μετατόπιση των παράκτιων πάγκων από την αρχική θέση σχηματισμού τους οφείλεται σε εκτεταμένες διακυμάνσεις της στάθμης της θάλασσας με το χρόνο που όπως έχει αναλυθεί, προκαλούνται από παγκόσμια ευστατικά αίτια ή τοπικά αίτια όπως είναι ο τεκτονισμός και/ή το φαινόμενο της ισοστασίας ή συνήθως από τη συνδυασμένη δράση τοπικών και ευστατικών αιτιών (Davis&Fitzgerald,2004). Στις περιοχές που το τελικό αποτέλεσμα των κινήσεων αυτών είναι η ανύψωση της ξηράς, οι θαλάσσιες αναβαθμίδες βρίσκονται πάνω από τη θαλάσσια στάθμη ενώ αναπτύσσονται υποθαλάσσια στις περιοχές που η ξηρά βυθίζεται. Ο σχηματισμός των θαλάσσιων αναβαθμίδων προϋποθέτει χρονικές περιόδους σταθεροποίησης της στάθμης της θάλασσας και ένα γενικό καθεστώς τεκτονικής ανύψωσης της ξηράς.

Στην Ελαφόνησο παρατηρούνται θαλάσσιες αναβαθμίδες οι οποίες συσχετίζονται πολύ καλά, με αυτές της περιοχής Ακρωτήριο Μαλέα και της απέναντι ακτής της Πελοποννήσου. Οι αναβαθμίδες αυτές προφανώς αντιστοιχούν σε μεσοπαγετώδη στάδια της περιόδου του Τεταρτογενούς και η παρουσία τους σε διάφορα υψόμετρα υποδηλώνει ένα γενικό καθεστώς τεκτονικής ανύψωσης. Διαπιστώθηκε η παρουσία τριών θαλάσσιων αναβαθμίδων. Η πρώτη έχει ένα υψομετρικό εύρος μεταξύ 1 και 3m. Η έκταση της επιφάνειας των αναβαθμίδων αυτών είναι μικρή, εμφανίζονται στο βόρειο και το δυτικό τμήμα του νησιού και στο μεγαλύτερο τμήμα τους έχουν καλυφθεί από νεότερες θίνες. Η δεύτερη θαλάσσια αναβαθμίδα βρίσκεται σε υψόμετρα από 6-12m. Στο δυτικό τμήμα της Ελαφονήσου το ύψος των αναβαθμίδων είναι 6-8m, ενώ στο νότιο και ανατολικό εκτείνονται μεταξύ 8 και 12m. Αυτό σημαίνει ότι μετά τον σχηματισμό των αναβαθμίδων οι κατακόρυφες κινήσεις ήταν εντονότερες στο Νότιο-Ανατολικό τμήμα του νησιού. Το ίδιο συμπέρασμα προκύπτει από την μελέτη της αμέσως ανώτερης αναβαθμίδας, που στο μεν δυτικό τμήμα αναπτύσσονται σε υψόμετρο 28-35m στο δε νότιο ανατολικό στα 35-45m.

Η υψηλότερα ευρισκόμενη αναβαθμίδα των 50-55m παρουσιάζει έχει μεγάλη έκταση εμφάνισης και μπορεί να αναγνωρισθεί περιφερειακά σε όλο το νησί σε περίπου παρόμοιο

υψόμετρο. Επίσης ταυτίζεται πολύ καλά με την απέναντι περιοχή της Πελοποννήσου του Ακρωτηρίου Πούντα.

Παλαιότερες επιφάνειες παρατηρούνται στα 70-100m και 120-145m. Οι επιφάνειες αυτές διατηρούνται σαν υπολείμματα στα υψηλότερα σημεία του νησιού, παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές υψομέτρου από περιοχή σε περιοχή και αρκετές από αυτές εμφανίζονται με κλίση προς Α.-ΒΑ. Επίσης από τη μελέτη των αναβαθμίδων φαίνεται ότι οι νεότερες αναβαθμίδες δείχνουν μια στρέψη της νήσου προς ΒΔ, ενώ οι παλαιότερες δείχνουν στρέψη προς ΑΒΑ. Η νεότερη κίνηση, δηλαδή η ταχύτερη άνοδος του ΝΑ τμήματος σχετικά με το ΒΔ φαίνεται ότι συνεχίζονται γιατί οι βυθισμένες ακτές στο ΝΑ τμήμα δείχνουν βύθιση κατά 1,6m ενώ στο ΒΔ όπως φαίνεται από την ύπαρξη των αρχαίων κτισμάτων Flemming et al. (1983) φθάνει τα 3,5m.



Εικόνα 5:Θαλάσσιες αναβαθμίδες στον όρμο Παναγιά



Εικόνα 6: Θαλάσσιες αναβαθμίδες στον Όρμο Λεύκη

2.7. Χρήσεις γης

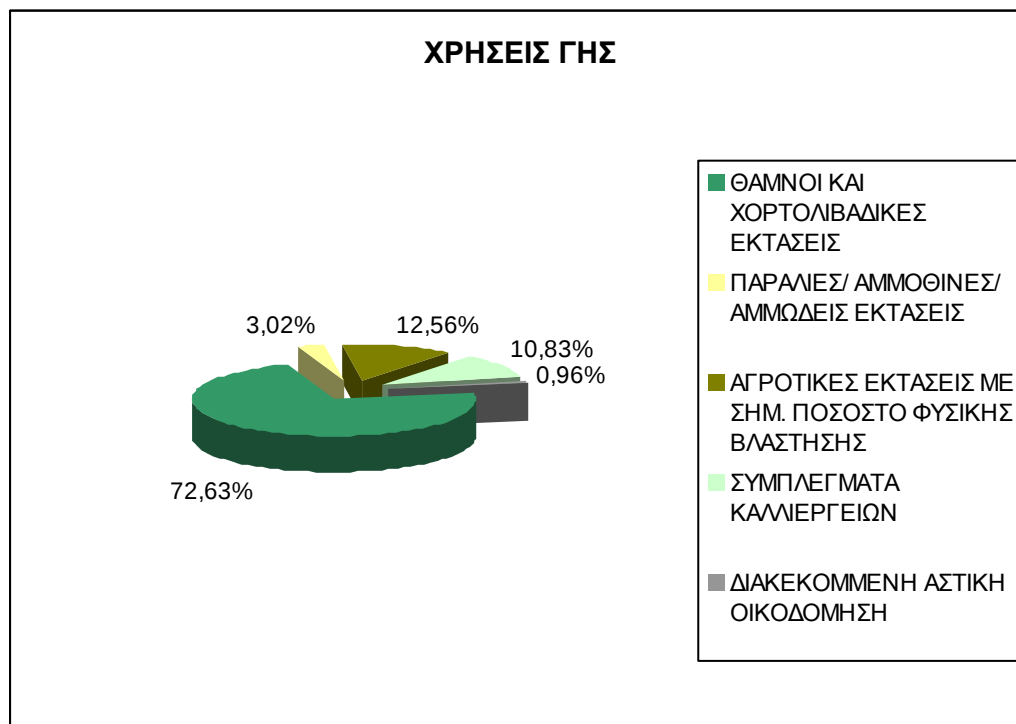
Στην παρούσα παράγραφο περιγράφονται οι χρήσεις γης ανά βασική κατηγορία που χαρακτηρίζουν την περιοχή μελέτης. Για τις χρήσεις γης που εμφανίζονται στην περιοχή χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα που αντλήθηκαν από το πρόγραμμα Corine 2000. Οι χρήσεις γης και πιστοποιήθηκαν και κατά την επίσκεψη στο νησί.

Ο χάρτης 6 της περιοχής απεικονίζει τις χρήσεις γης όπως χαρτογραφήθηκαν από το Corine 2000 και πιστοποιήθηκαν στο ύπαιθρο.

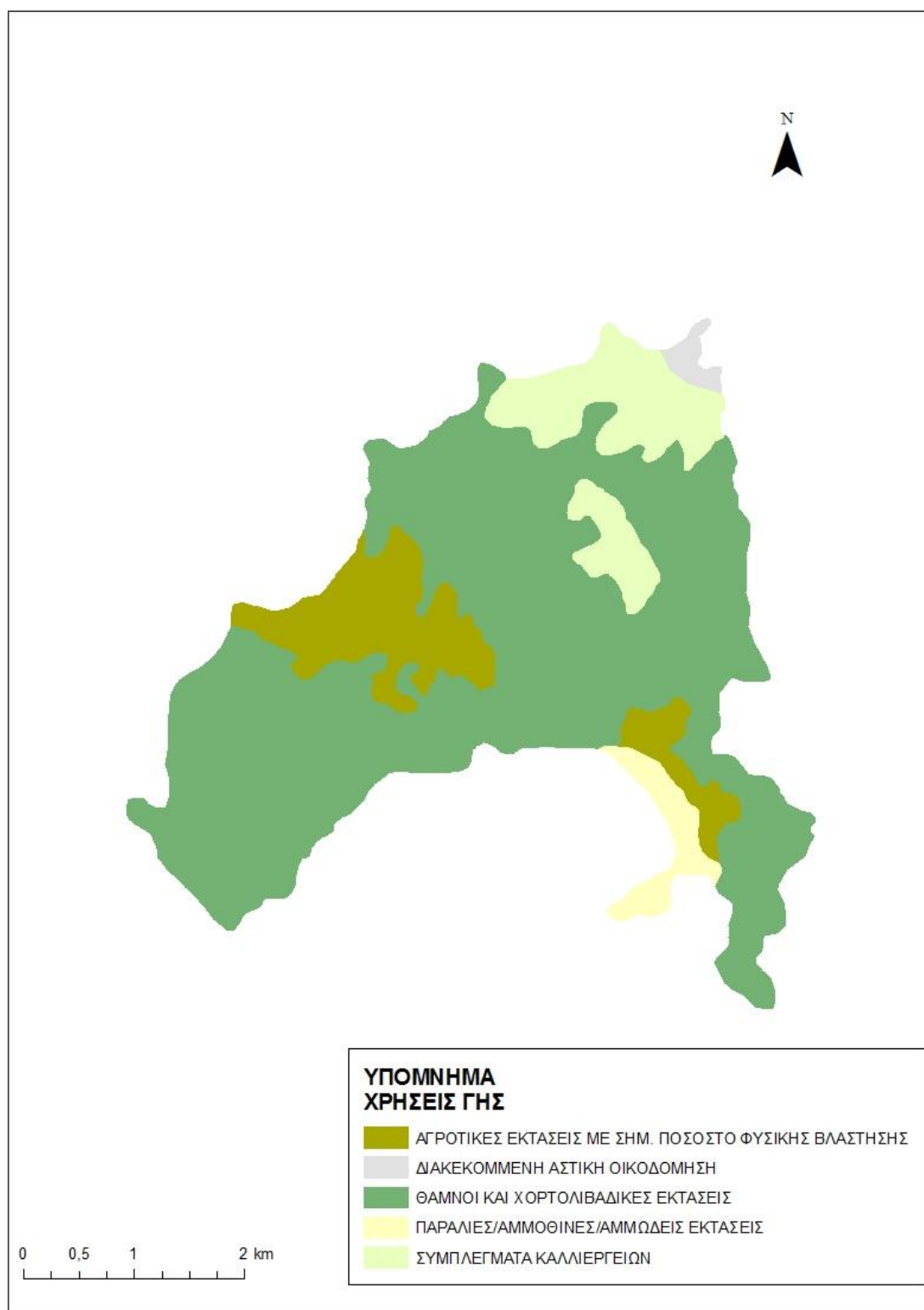
Η σχετική κατανομή των χρήσεων στη συνολική έκταση των 19 στρεμμάτων της περιοχής μελέτης φαίνεται στο διάγραμμα που ακολουθεί.

Όπως παρουσιάζεται και στο παρακάτω διάγραμμα το μεγαλύτερο ποσοστό του νησιού (72,63 %) καταλαμβάνεται από θάμνους και χορτολιβαδικές εκτάσεις. Πρόκειται για εκτάσεις που αποτελούνται από ιδιαίτερα χαμηλή βλάστηση, ακαλλιέργητες ως επί το πλείστον οι οποίες χρησιμοποιούνται από τους κτηνοτρόφους της περιοχής. Ακολουθούν οι αγροτικές εκτάσεις με σημαντικό ποσοστό φυσικής βλάστησης (12,56%) ενώ το 10,83 % του νησιού καταλαμβάνεται

από συμπλέγματα καλλιεργειών. Είναι χαρακτηριστικό ότι μόλις το 1% του νησιού καταλαμβάνεται από οικισμούς που ως επί το πλείστον περιλαμβάνουν τουριστικές εγκαταστάσεις.



Διάγραμμα 5: Κατανομή της έκτασης της περιοχής μελέτης κατά βασικές κατηγορίες χρήσης (πηγές Corine 2000, επιτόπια παρατήρηση)



Χάρτης 6: Χρήσεις γης στην περιοχή μελέτης (προσωπική επεξεργασία). Κλίμακα 1:50.000. Πηγές δεδομένων: Corine 2000, επιτόπια παρατήρηση

2.8. Χλωρίδα –Καθεστώς προστασίας

Λαμβάνοντας υπόψη το κλίμα, τη μορφολογία και τη θέση της περιοχής είναι προφανές ότι τα οικοσυστήματα στην περιοχή μελέτης ανήκουν στην κατηγορία των οικοσυστημάτων της μεσογειακής ζώνης ή διαφορετικά του μεσογειακού κλίματος.

Η αυτοφυής χλωρίδα του νησιού προσδιορισμένη από τον Δ. Γιαννίτσαρο (1969) αποτελείται από τα εξής είδη:

Juniperus macrocarpa (Κέδρος)

Poterium spinosum (Αστοιβή)

Anthyllis hermanniae (Αλογοθύμαρο)

Euphorbia peplis

Polygonum maritimum

Salsola kali

Heliotropium dolosum

Thymus capitatus (Θυμάρι)

Satureia thymbra (Θρούμπι)

Chondrilla ramosissima (Κόλλα)

Holoschoenus vulgaris var. *australis* (Κουφοβούρλος)

Andropogon hirtus (Ασπρόχορτο)

Agave americana (Αθάνατος)

Επίσης στο νησί υπάρχουν αρκετά ελαιόδεντρα (*Olea europaea*).

Η περιοχή ανήκει στο Ευρωπαϊκό Δίκτυο Προστατευόμενων Περιοχών NATURA 2000 με τον κωδικό GR2540002. Τα οικολογικά σημαντικότερα στοιχεία της περιοχής είναι ο υγρότοπος της Στρογγύλης, οι αμμοθίνες και τα ενδημικά είδη χλωρίδας που απαντούν μόνο στην Ελαφώνησο.

Οι αμμοθίνες είναι ιδιαίτερα δυναμικά και ευαίσθητα οικοσυστήματα. Οι "χαμηλές κινούμενες αμμοθίνες" με χαλαρό αμμόδεο υπόστρωμα και αραιή βλάστηση φιλοξενούν χαρακτηριστικά φυτά όπως η αμμόφιλα (*Ammophila arenaria*) ή Αγκαθιά (*Eryngium maritimum*)

και ο απειλούμενος με εξαφάνιση κρίνος της θάλασσας (*Pancratium maritimum*). Εσωτερικά προς την ξηρά αναπτύσσονται οι "λευκές αμμοθίνες" που τοπικά φτάνουν τα 10m ύψος στην Ελαφώνησο. Εδώ η Αμμόφιλα καταλαμβάνει την κορυφή των αμμόλοφων. Είναι πολυετές αγρωστώδες και αναπτύσσει ρίζωμα με μεγάλο μήκος και βάθος. Αυτό λειτουργεί στους αμμόδεις λοφίσκους ως εσωτερικό πλέγμα και επιφέρει το πρώτο σημαντικό βήμα στην διαδικασία σταθεροποίησης των θινών. Ο κρίνος της θάλασσας διαθέτει υπόγειο βολβό και εμφανίζεται σποραδικά σε ομάδες (natura 2000).

Οι "γκρίζες αμμοθίνες" είναι σταθεροποιημένες αμμοθίνες που διαδέχονται τις "λευκές" προς την πλευρά της χέρσου. Η σταθεροποίηση των θινών αυτών επιτυγχάνεται με την εγκατάσταση μόνιμης φυτοκάλυψης από ποώδη και ξυλώδη φυτά που εμπλουτίζουν το αμμόδες έδαφος με οργανικές ουσίες και το καθιστούν πιο σκοτεινόχρωμο και συνεκτικό. Στην Ελαφώνησο και μπροστά από την Στρογγύλη αντί για τον προηγούμενο τύπο κυριαρχούν οι "Λόχμες των παραλίων με αρκεύθους (κέδρα)". Η ζώνη των αμμοθινών στην Στρογγύλη είναι πολύ στενή και πρέπει να προστατεύεται. Αν η βλάστηση των αμμοθινών καταστραφεί ή διασπαστεί τοπικά με ανθρώπινη επέμβαση ο άνεμος παρασύρει την άμμο σε μεγάλες ποσότητες και σκεπάζει αγρούς, λιβάδια ή υγροτόπους. Στην περιοχή το κυρίαρχο είδος είναι το θαλασσόκεδρο *Juniperus oxycedrus* subsp. *Macrocarpa* που είναι από τα σπάνια του Αιγαίου και της Μεσογείου.

3. ΦΥΣΙΚΟΙ ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ

3.1. Φυσικές καταστροφές –Ορισμοί

Ο όρος "φυσική καταστροφή" έχει οριστεί με διαφορετικούς τρόπους ως (Λέκκας., 2000) :

"Τα στοιχεία εκείνα του φυσικού περιβάλλοντος που είναι βλαβερά για τον άνθρωπο και προκαλούνται από δυνάμεις ξένες και άγνωστες σε αυτόν".

"Η πιθανότητα εμφάνισης ενός δυνητικά καταστροφικού γεγονότος μέσα σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο και σε μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή".

"Μια φυσική ή ανθρωπογενής γεωλογική κατάσταση ή φαινόμενο κατά την οποία παρουσιάζεται πραγματικός ή δυνητικός κίνδυνος για την ανθρώπινη ζωή ή τις περιουσίες".

Η καταστροφή μπορεί να οριστεί και ως ο "βαθμός απώλειας" κάποιου αγαθού ή πολλών αγαθών που είναι αποτέλεσμα της δράσης ενός φυσικού φαινομένου δεδομένου μεγέθους και μετρίεται σε μια κλίμακα από το 0 (καθόλου απώλεια) έως το 1 (μέγιστη απώλεια)". Όταν ο κίνδυνος γίνει ορατός και επικείμενος τότε γίνεται σαφής διάκριση της απειλής. Έτσι λοιπόν η ακολουθία των καταστάσεων που αναφέρονται σε μια καταστροφή έχει ως εξής:

Καταστροφικό γεγονός → Κίνδυνος → Απειλή → Επιπτώσεις → Επακόλουθο

Οι καταστροφές ορίζονται επίσης ως απειλές στους ανθρώπους και σε ό,τι έχει αξία και οι κίνδυνοι ως οι ποσοτικές και περιστασιακές πιθανότητες που καθιστούν τις συνέπειες των καταστροφών επιβλαβείς (ibid).

Ο βασικός κίνδυνος με τον οποίο ασχολείται η παρούσα εργασία είναι η μελλοντική άνοδος της θαλάσσιας στάθμης εξαιτίας της έντασης του φαινομένου του θερμοκηπίου. Επιπλέον η ανάλυση που πραγματοποιείται και αφορά τα φυσικο-γεωγραφικά χαρακτηριστικά της παράκτιας ζώνης της Ελαφονήσου αποτελούν τη βάση για τη μελέτη και ανάλυση των επιπτώσεων στις ακτές από την παροδική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης που οφείλεται σε μετεωρολογικές αιτίες όπως η χαμηλή ατμοσφαιρική πίεση, τα ακραία ανεμογενή κύματα που προκαλούνται από καταιγίδες καθώς και ενδεχόμενα θαλάσσια κύματα βαρύτητας (τσουνάμι) αφού το νησί βρίσκεται σχετικά κοντά στη σεισμικά ενεργή ζώνη βύθισης της Αφρικανικής λιθοσφαιρικής πλάκας κάτω από την Ευρασιατική.

3.2.Το φαινόμενο του θερμοκηπίου – Ορισμός

Η ζωή στη γη είναι δυνατή χάρη στο λεγόμενο "φαινόμενο του θερμοκηπίου". Η μέση θερμοκρασία του αέρα στην επιφάνεια της γης χωρίς ατμόσφαιρα εκτιμάται στους -23°C . Η παρατηρούμενη μέση θερμοκρασία είναι $+15^{\circ}\text{C}$. Η διαφορά αυτή, δηλαδή η αύξηση κατά 38°C , οφείλεται στην ατμόσφαιρα της γης. Η ακτινοβολία από τον ήλιο (μικρού μήκος) φθάνει στο όριο της ατμόσφαιρας. Ένα μέρος της ανακλάται προς το διάστημα και το υπόλοιπο διατρέχει την ατμόσφαιρα. Από αυτό ένα μέρος απορροφάται από την ατμόσφαιρα και ένα μέρος φθάνει στην επιφάνεια της γης. Η ατμόσφαιρα απορροφά, άρα και εκπέμπει ακτινοβολία προς τη γη αλλά και προς το διάστημα. Ομοίως η γη απορροφά και εκπέμπει. Βάσει των νόμων της φυσικής κάθε σώμα απορροφά ακτινοβολία και εκπέμπει. Η εκπεμπόμενη ακτινοβολία είναι μεγαλύτερου μήκους από την απορροφούμενη. Έτσι, η γη εκπέμπει προς την ατμόσφαιρα μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία. Η ατμόσφαιρα είναι διαπερατή από την εισερχόμενη μικρού μήκους κύματος αλλά δεν επιτρέπει να διαφύγει η μεγάλου μήκους εκπεμπόμενη ακτινοβολία από τη γη. Αυτό ακριβώς αποτελεί το λεγόμενο φαινόμενο του θερμοκηπίου που έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα στην επιφάνεια. Τα κύρια στοιχεία της ατμόσφαιρας που απορροφούν την μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία της γης είναι το διοξείδιο του άνθρακα, οι υδρατμοί, το μεθάνιο, το όζον, τα οξείδια του αζώτου και γενικά όλα τα στοιχεία που το μόριο τους έχει περισσότερα από τρία άτομα (Νικολάκης 2002).

Η συστηματική παρακολούθηση της θερμοκρασίας σε ολόκληρο τον πλανήτη από τα μέσα του 19ου αιώνα αποδεικνύει ότι η μέση τιμή της έχει αυξηθεί κατά $0,6^{\circ}\text{C}$ τα τελευταία 100 χρόνια. Η μεταβολή αυτή είναι συμβατή με τη θέρμανση που θα προκαλούσε η παρατηρηθείσα αύξηση των αερίων θερμοκηπίου κατά την ίδια περίοδο. Ωστόσο κάποιοι επιστήμονες υποστηρίζουν ότι η διαπίστωση αυτή δεν είναι αρκετή για να αποδείξει ότι το ενισχυμένο φαινόμενο του θερμοκηπίου έχει ήδη εκδηλωθεί, διότι προς το παρόν οι μεταβολές βρίσκονται ακόμη στα πλαίσια του «κλιματικού θορύβου» και θα μπορούσαν να αποδοθούν σε φυσική διακύμανση. Σχετικά με το μέλλον, η εκδήλωση ενός ενισχυμένου φαινομένου θερμοκηπίου αποτελεί σοβαρή επιστημονική πρόβλεψη. Υπάρχουν όμως μεγάλες αβεβαιότητες ως προς τις αλλαγές που θα επιφέρει τόσο στο παγκόσμιο όσο, ακόμη περισσότερο, στο τοπικό κλίμα. Κύριοι παράγοντες αβεβαιότητας που εμποδίζουν μια ακριβέστερη πρόβλεψη για την αναμενόμενη κλιματική αλλαγή είναι:

- Η μελλοντική πορεία των συγκεντρώσεων των αερίων και συνεπώς η ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου.

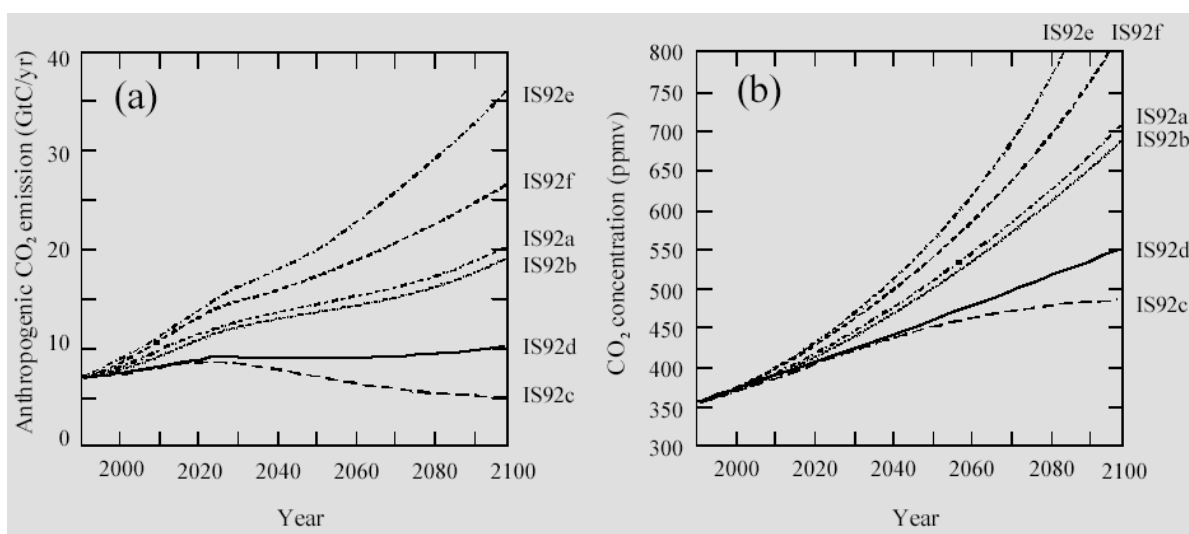
- Η ευπάθεια του κλιματικού συστήματος, δηλαδή ο βαθμός απόκρισής του στην αυξημένη ποσότητα παγιδευμένης ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα.
- Η θερμοχωρητικότητα της θάλασσας, η οποία επιβραδύνει το ρυθμό θέρμανσης της ατμόσφαιρας.

Τα περισσότερα αέρια θερμοκηπίου θα έχουν πιθανότατα αυξημένες συγκεντρώσεις στην ατμόσφαιρα τις επόμενες δεκαετίες. Όμως οι προβλέψεις είναι αβέβαιες, λόγω ανεπάρκειας γνώσεων σχετικά με τους βιογεωχημικούς κύκλους, αλλά κυρίως σχετικά με τις μελλοντικές πολιτικές για την ενέργεια, τη γεωργία και τα δάση. Ειδικότερη σημασία έχουν οι συγκεντρώσεις των CFCs, που ελπίζεται να μειωθούν μεσοπρόθεσμα με την εφαρμογή των διεθνών συμφωνιών για την προστασία της στοιβάδας του όζοντος. Οι προβλέψεις αναφέρονται συνήθως στην «ισοδύναμη» συγκέντρωση CO₂, η οποία συμπεριλαμβάνει και τις συνεισφορές των υπολοίπων αερίων θερμοκηπίου. Μία συμβολική χρονολογία είναι αυτή κατά την οποία το «ισοδύναμο» CO₂ θα διπλασιαστεί σε σχέση με τη συγκέντρωσή του πριν από τη βιομηχανική εποχή. Οι εκτιμήσεις τοποθετούν το συμβολικό αυτό γεγονός μεταξύ του 2015 και του 2050, με μεγαλύτερη πιθανότητα γύρω στο 2030 .

Η εκτίμηση της ευαισθησίας του κλίματος γίνεται μέσω των Μοντέλων Γενικής Κυκλοφορίας (General Circulation Models ή GCM) της ατμόσφαιρας, που αποτελούν απλοποιημένες αναπαραστάσεις της λειτουργίας του κλιματικού συστήματος και «τρέχουν» πάνω στους μεγαλύτερους σύγχρονους ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Με βάση αυτές τις τεχνικές προβλέπεται ότι ο διπλασιασμός του ισοδύναμου CO₂ θα προκαλέσει αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της Γης κατά 1,5° C έως 4,5° C (IPCC.,2001). Η περιορισμένη ακρίβεια αυτού του συμπεράσματος αντανακλά την υπάρχουσα αβεβαιότητα στις παραμέτρους και τους υπολογισμούς. Όσον αφορά στις προβλέψεις για τις υπόλοιπες κλιματικές μεταβλητές (βροχόπτωση, καταιγίδες κ.λπ.), η απροσδιοριστία είναι πολύ μεγαλύτερη. Το ίδιο συμβαίνει με τις προβλέψεις σχετικά με την κατανομή των αλλαγών στο χώρο. Θεωρείται πάντως ότι τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (βροχή, χιόνι, πάχνη κ.λπ.) συνολικά θα αυξηθούν και ότι η θερμοκρασία του αέρα θα ανέβει περισσότερο σε τόπους και χρόνους (υψηλά γεωγραφικά πλάτη, χειμώνες) που είναι χαμηλότερη, παρά εκεί που είναι υψηλότερη (Ισημερινός, καλοκαιρία).

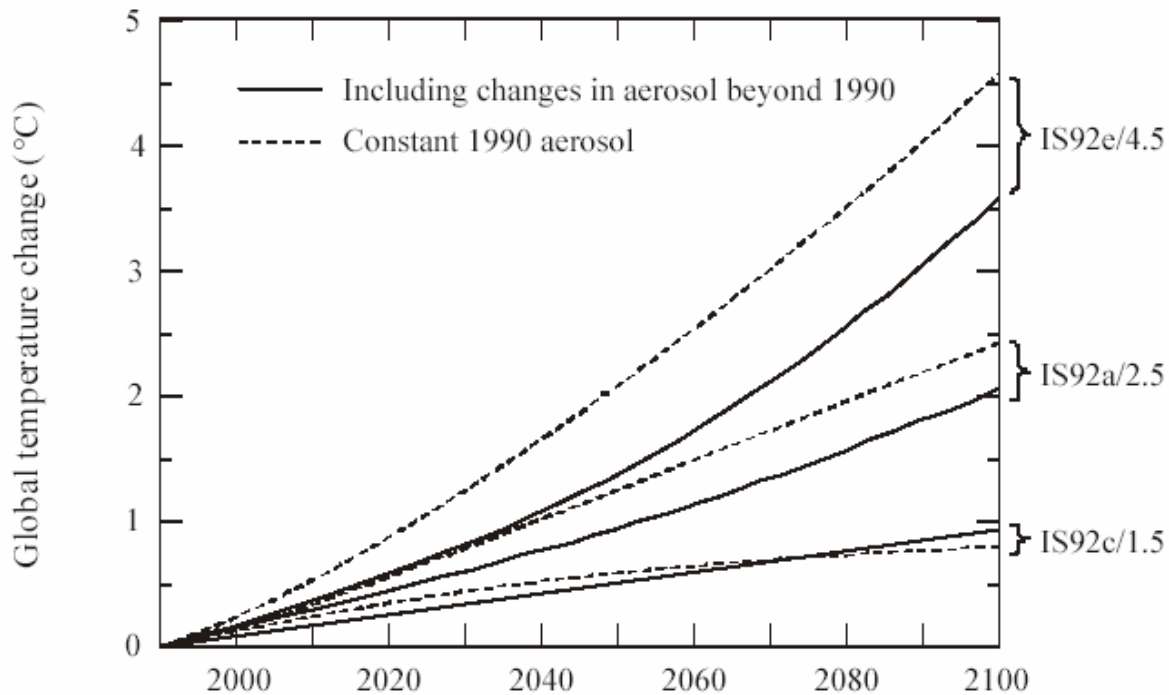
Οι μεταβολές στις κλιματικές παραμέτρους συμβαίνουν σταδιακά και με καθυστέρηση, σε σχέση με την αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου. Η ολοκλήρωσή τους θα απαιτήσει πιθανώς ορισμένες δεκαετίες, διότι ένα μέρος της θερμότητας απορροφάται από τη θάλασσα και η αργή διαδικασία θέρμανσής της καθυστερεί την τελική θέρμανση της ατμόσφαιρας. Έτσι το κλιματικό σύστημα αργεί να φτάσει σε ισορροπία και υπάρχει συνεχώς μία σημαντική διαφορά ανάμεσα

στην κλιματική μεταβολή (προσωρινή) που παρατηρείται και σε αυτήν στην οποία υπόκειται (μόνιμη, εφόσον αντιστοιχεί σε ισορροπία) το σύστημα την ίδια χρονική στιγμή. Π.χ. ο πλανήτης υπόκειται σε άνοδο θερμοκρασίας 0,3 - 1,9°C εάν τα αέρια θερμοκηπίου παραμείνουν σταθερά στις τιμές του 1990. Αντίστοιχα, κατά τη χρονολογία διπλασιασμού του ισοδύναμου CO₂ (άνοδος 1,5 - 4,5° C για κατάσταση ισορροπίας), η μεταβολή θερμοκρασίας που θα παρατηρηθεί (προσωρινή) θα κυμαίνεται από 0,5° C έως 2,5° C. Για να ισορροπήσει το κλιματικό σύστημα θα πρέπει να σταθεροποιηθούν οι συγκεντρώσεις των αερίων θερμοκηπίου και να περάσει αρκετός χρόνος, ώστε να ολοκληρωθεί η διαδικασία θέρμανσης του ζεύγους θάλασσα-ατμόσφαιρα (ibid).



Διάγραμμα 6,7: Αριστερό διάγραμμα: Συνολικές ανθρωπογενείς εκπομπές CO₂ σύμφωνα με την IPCC Δεξί διάγραμμα: Οι τελικές συγκεντρώσεις CO₂ στην ατμόσφαιρα σύμφωνα με την IPCC

Στα παραπάνω σχήματα φαίνονται οι προβλέψεις της IPCC και συγκεκριμένα το σενάριο IS92, σχετικά με τις ανθρωπογενείς εκπομπές CO₂ και τις τελικές συγκεντρώσεις CO₂ που θα επικρατήσουν στην ατμόσφαιρα. Το επόμενο σχήμα απεικονίζει τη μεταβολή της παγκόσμιας θερμοκρασίας σύμφωνα με το σενάριο IS92 της IPCC. Η διακεκομμένη γραμμή δείχνει την άνοδο της θερμοκρασίας σύμφωνα με τις συγκεντρώσεις CO₂ το 1990. Η συνεχής γραμμή δείχνει την άνοδο της θερμοκρασίας σύμφωνα με συγκεντρώσεις CO₂ μεγαλύτερες από του 1990.



Διάγραμμα 8: Μεταβολή της παγκόσμιας θερμοκρασίας σύμφωνα με το σενάριο IS92 της IPCC

Είναι χαρακτηριστικό ότι, το 1995, ύστερα από χρόνια εντατικών ερευνών, η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC) είδε με κάποια επιφύλαξη μια εμφανή επίδραση του ανθρώπινου παράγοντα στο κλίμα της Γης. Τότε, τα σενάρια για άνοδο της θερμοκρασίας έφταναν μέχρι τους 3,5° C. Η ίδια επιτροπή, παρουσίασε το 2001 σενάρια που προέβλεπαν μια άνοδο στην παγκόσμια θερμοκρασία μεταξύ των 1,4 και 5,8° C έως το 2100, ως αποτέλεσμα των ολοένα αυξανόμενων συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα.

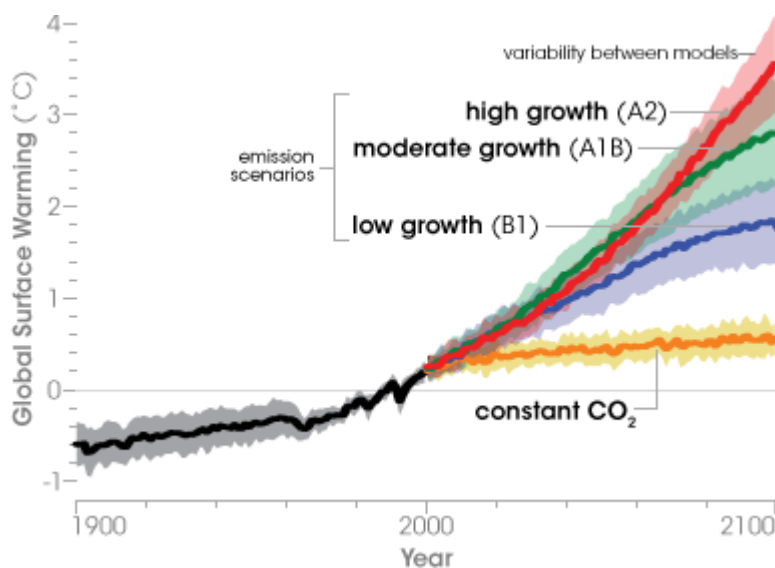
3.3. Σενάρια κλιματικής αλλαγής

Τα περισσότερα σενάρια κλιματικής αλλαγής προβλέπουν ότι οι συγκεντρώσεις των αερίων του θερμοκηπίου θα αυξηθούν μέχρι το 2100. Πόσο γρήγορα και με ποιο τρόπο θα αυξηθεί η θερμοκρασία της γης παραμένει άγνωστο δεδομένης της αβεβαιότητας των μελλοντικών συγκεντρώσεων αερίων του θερμοκηπίου, των εκπομπών αεροζόλ και την απόκριση της γης στις μεταβαλλόμενες συνθήκες. Επιπλέον, οι φυσικές μεταβολές όπως αυτές της ηφαιστειακής και της ηλιακής δραστηριότητας, μπορεί να επηρεάσουν τη μελλοντική θερμοκρασία, αν και η επιρροή αυτή είναι άγνωστη καθώς δεν είναι εφικτό να προβλεφθεί ο χρόνος και η ένταση των φυσικών επιρροών. Εξελίσξεις στα μοντέλα προσομοίωσης, σε

συνδυασμό με περισσότερα στοιχεία και παρατηρηθείσες αλλαγές στο κλίμα, οδήγησαν σε πιο αξιόπιστες προβλέψεις μελλοντικών αλλαγών της θερμοκρασίας. Το 2007, η Διακυβερνητική Επιτροπή για την αλλαγή του κλίματος (IPCC), ήταν για πρώτη φορά σε θέση να παρέχει τις καλύτερες δυνατές και πιθανές εκτιμήσεις για την παγκόσμια μέση αύξηση της θερμοκρασίας κάτω από κάθε ένα από τα σενάρια εκπομπών αερίων. Η τελευταία έκθεση της IPCC για την κλιματική αλλαγή αποτελούταν από τρία μέρη. Τα βασικότερα σημεία αυτής της έκθεσης παρουσιάζονται παρακάτω. Η επόμενη έκθεση της IPCC προγραμματίζεται να δημοσιευτεί σε τρεις τόμους τη διετία 2013-14.

Λόγω των αβεβαιοτήτων που αναφέρθηκαν παραπάνω, οι εκτιμήσεις των μελλοντικών αλλαγών της θερμοκρασίας είναι αβέβαιες. Με τους παραπάνω περιορισμούς η IPCC έκανε τις παρακάτω προβλέψεις (IPCC,2007): Αρχικά αναγνωρίζεται ότι η παγκόσμια θέρμανση είναι ένα αδιαμφισβήτητο γεγονός. Επιπλέον, θεωρεί ότι είναι «πολύ πιθανό» αυτό να οφείλεται στην ανθρώπινη δραστηριότητα, και με τον όρο «πολύ πιθανό» να αντιστοιχεί σε πιθανότητα τουλάχιστον 90%.

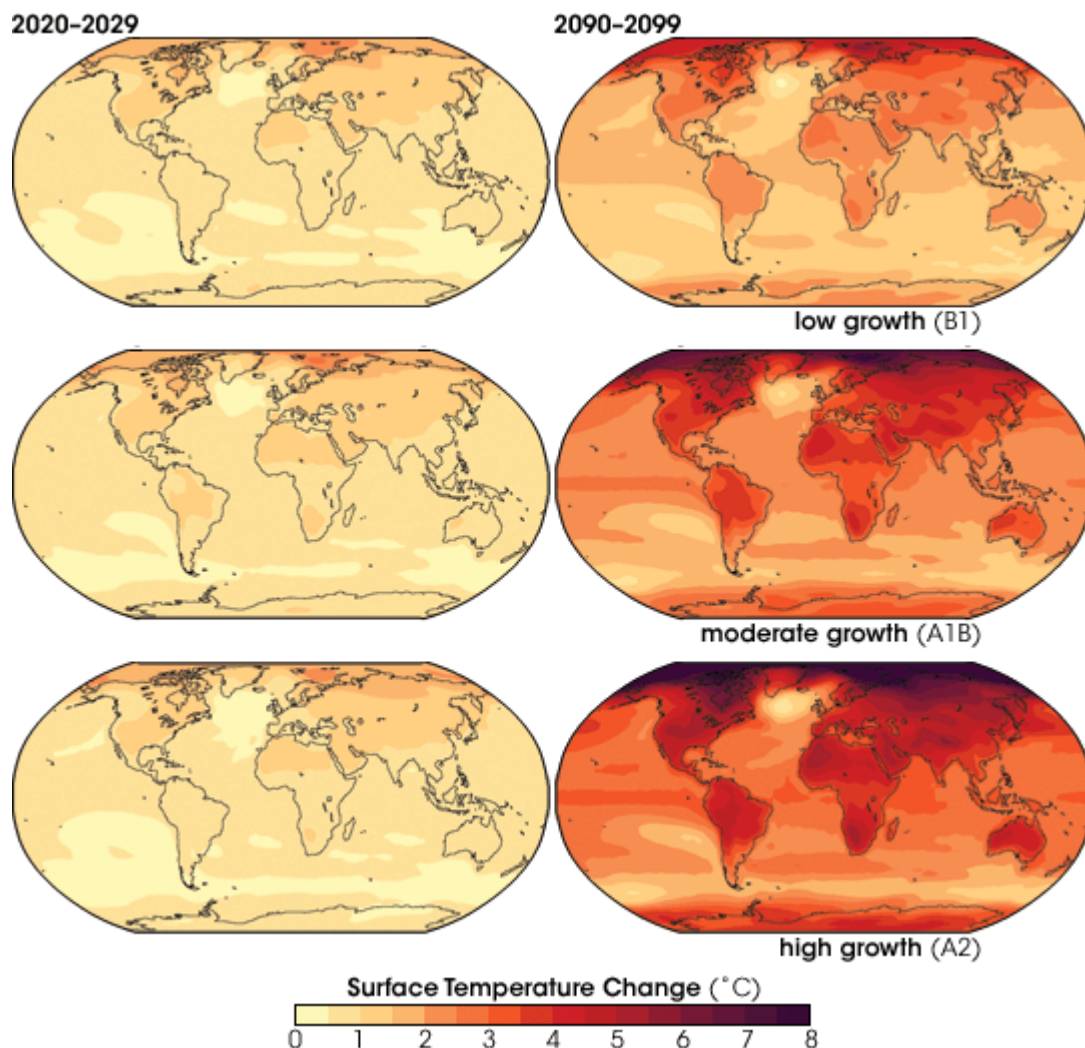
- Η μέση θερμοκρασία της γης είναι πιθανό να αυξηθεί κατά 1,1- 6,4° C μέχρι το τέλος του 21^{ου} αιώνα, σε σχέση με τη δεκαετία 1980-1990, με την καλύτερη εκτίμηση να κυμαίνεται ανάμεσα στους 1,8 και 4,0 ° C (βλ. διάγραμμα 9). Ο μέσος ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας πάνω από κάθε κατοικημένη ήπειρο είναι πολύ πιθανό να είναι τουλάχιστον διπλάσιος συγκριτικά με αυτόν του 20^{ου} αιώνα.



Διάγραμμα 9: Προβλέψεις για το έτος 2100, βασισμένες σε διάφορα σενάρια εκπομπών και παγκόσμιων κλιματικών μοντέλων. Τα σενάρια που καταλήγουν στη μεγαλύτερη αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου, παρέχουν τις εκτιμήσεις στο άνω άκρο του φάσματος θερμοκρασιών. Η πορτοκαλί γραμμή (σταθερό CO₂)

προβάλλει τις παγκόσμιες θερμοκρασίες με τις συγκεντρώσεις των θερμοκηπικών αερίων σταθεροποιημένες στα επίπεδα του 2000. Πηγή: NASA Earth Observatory, based on IPCC Fourth Assessment Report (2007)

- Η θέρμανση του πλανήτη δε θα είναι ομοιόμορφα κατανομημένη σε όλη την υδρόγειο (βλ. σχήμα 2). Οι ηπειρωτικές περιοχές θα θερμανθούν περισσότερο από τους ωκεανούς χάρη στην θερμοχωρητική ικανότητα των ωκεανών.



Σχήμα 2: Μελλοντικές προβλέψεις θέρμανσης του πλανήτη βασισμένες σε 3 σενάρια εκπομπών Πηγή: NASA Earth Observatory, based on IPCC Fourth Assessment Report (2007)

- Τα υψηλά γεωγραφικά πλάτη θα θερμανθούν περισσότερο από τα χαμηλά
- Η αύξηση της θερμοκρασίας θα διαφέρει από εποχή σε εποχή.
- Το μεγαλύτερο μέρος της Βόρεια Αμερικής, όλη η Αφρική, η Ευρώπη και η Βόρεια και Κεντρική Ασία είναι πιθανό να θερμανθούν περισσότερο από τον παγκόσμιο μέσο όρο.

- Οι προβλέψεις για τη Νότια Ασία, την Αυστραλία και τη Νέα Ζηλανδία καθώς και τη Νότια Αμερική δείχνουν ότι η αύξηση της θερμοκρασίας θα είναι κοντά στον παγκόσμιο μέσο όρο.
- Η στάθμη της θάλασσας θα ανυψωθεί στο ίδιο διάστημα από 18 έως 59 εκατοστά, χωρίς να λαμβάνεται όμως υπόψη ενδεχόμενη κατάρρευση του καλύμματος πάγου στη Γροιλανδία και την Ανταρκτική
- Το 20 με 30% των ζωικών και φυτικών ειδών θα αντιμετωπίσει αυξημένο κίνδυνο εξαφάνισης σε περίπτωση που η αύξηση της θερμοκρασίας υπερβεί τους 1,5 έως 2,5 βαθμούς Κελσίου.
- Τέλος για να περιοριστεί η αύξηση της θερμοκρασίας στους 2,0 έως 2,4 βαθμούς, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου πρέπει να πάντουν να αυξάνονται το 2015.

4.ΑΝΟΛΟΣ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΣΤΑΘΜΗΣ

4.1.Μεταβολές της θαλάσσιας στάθμης κατά το Τεταρτογενές

Το επίπεδο της θάλασσας παρουσίασε παγκοσμίως έντονες διακυμάνσεις στο πρόσφατο γεωλογικό παρελθόν. Όπως ήταν γενικά παραδεκτό εδώ και αρκετά χρόνια από όλους του επιστήμονες κατά τη διάρκεια του Τεταρτογενούς σημειώθηκαν τέσσερις κύριες μεγάλες παγετώδεις περιόδους, γνωστές στον ευρωπαϊκό χώρο από την παλαιότερη προς τη νεότερη με τις ονομασίες Γκίνζιο, Μινδέλιο, Ρίσσιο και Βούρμιο (Gunz, Mindel, Riss, Wurm). Ενδιάμεσα στις παγετώδεις περιόδους παρεμβάλλονται οι αντίστοιχες μεσοπαγετώδεις περιόδους. Εξαιτίας της δέσμευσης μεγάλων ποσοτήτων νερού από τους πάγους, κατά τη διάρκεια των παγετωδών περιόδων, η στάθμη των ωκεανών μειώνονταν σημαντικά (100-200m περίπου κατά 120m). Αντίθετα, κατά τη διάρκεια των μεσοπαγετωδών περιόδων, η στάθμη του νερού ανέβαινε.

Κατά τη διάρκεια της τελευταίας μεσοπαγετωδούς περιόδου 125.000 έτη BP (πριν από σήμερα) το επίπεδο της θαλάσσιας στάθμης έφθανε τα 4-6 m πάνω από το σημερινό, αν και αυτό αμφισβητείται σήμερα από αρκετούς ερευνητές που πιστεύουν ότι τότε η στάθμη ήταν στα σημερινά περίπου επίπεδα, ενώ κατά τη διάρκεια του μεγίστου της τελευταίας παγετωδούς περιόδου (18.000-20.000 έτη πριν) ήταν 120 m χαμηλότερα. Ογκώδη καλύμματα πάγου κάλυπταν περιοχές της Βορείου Αμερικής, της Βόρειας Ευρώπης, και αρκετών άλλων περιοχών κατά τη διάρκεια της τελευταίας παγετωδούς περιόδου. Αυτός ο τεράστιος όγκος πάγου ταπείνωσε το παγκόσμιο επίπεδο της θάλασσας κατά 120 m συγκριτικά με το σημερινό. Μετά το λιώσιμο αυτών των καλυμμάτων, το επίπεδο της θάλασσας αυξήθηκε ραγδαία και ειδικά σε ορισμένες χρονικές περιόδους με εξαιρετικά υψηλούς ρυθμούς. Είναι γνωστό ότι κατά τη διάρκεια του Ανώτερου Πλειστοκαίνου το επίπεδο της θάλασσας ποίκιλλε σημαντικά, καθώς ταπεινώνονταν κατά τις παγετώδεις περιόδους και αυξάνονταν κατά τις μεσοπαγετώδεις. Η πιο καλά μελετημένη περίοδος είναι 20.000 με 7000 έτη BP. Σύμφωνα με μελέτες που έχουν γίνει από τους Fairbanks, 1989 και Bard et al., 1990 το επίπεδο της θάλασσας στα 21.500 έτη BP ήταν χαμηλότερο κατά 120m συγκριτικά με το σημερινό και άρχισε να ανεβαίνει πάλι με ένα ρυθμό της τάξης των 5mm/yr στα 18.000 BP.

Μια τέτοια περίοδος ανύψωσης της θαλάσσιας στάθμης ξεκίνησε 19.000 έτη BP, κατά την οποία το επίπεδο των ωκεανών αυξήθηκε 10-15m σε λιγότερο από 500 έτη. Κάποια όμως τελευταία στοιχεία υποδεικνύουν πως ίσως το λιώσιμο των πάγων να είχε ξεκινήσει νωρίτερα. Μια πιο έντονη περίοδος ανόδου της στάθμης έλαβε χώρα 14.600 με 13.5000 έτη πριν από

σήμερα (Fairbanks,1989); όπου το επίπεδο αυξήθηκε κατά 16 με 24m. Αν και αρχικά οι επιστήμονες πίστευαν πως το νερό από το λιώσιμο των πάγων εκείνης της περιόδου προήλθε από την Ανταρκτική, έρευνες των Tarasov και Peltier (2003) απέδειξαν πως το νερό προέρχονταν κυρίως από τη Βόρεια Αμερική. Επιπλέον, απολιθώματα διατόμων σε ιζήματα από φιόρντ της Ανατολικής Ανταρκτικής δείχνουν ότι το λιώσιμο εκεί έλαβε χώρα 3.000 έτη αργότερα, με αποτέλεσμα να αποκλείεται η Ανταρκτική σαν πιθανή πηγή.

Ο ρυθμός ανύψωσης της θαλάσσια στάθμης επιβραδύνθηκε ανάμεσα στα 14.000 με 12.000 έτη πριν από σήμερα, κατά τη διάρκεια της young Dryas ψυχρής περιόδου και τη διαδέχτηκε μια άλλη περίοδος στα 11.500 με 11.000 έτη BP, όπου το επίπεδο αυξήθηκε κατά 28m σύμφωνα με τον Fairbanks.

Το Ολόκαινο αποτελεί την πιο πρόσφατη περίοδο στην ιστορία της γης, περιλαμβάνοντας τα τελευταία 10.000 χρόνια. Χαρακτηρίζεται από ένα κλιματικό καθεστώς αρκετά ηπιότερο από την προηγούμενη παγετώδη περίοδο, κατά την οποία τεράστια παγόβουνα κάλυψαν όχι μόνο την Ανταρκτική και τη Γροιλανδία (όπως σήμερα), αλλά και μέρος της Βόρειας Αμερικής και Βόρειας Ευρώπης, καθώς και διάφορες άλλες περιοχές υψηλού γεωγραφικού πλάτους και μεγάλου υψόμετρου.

Μια περίοδος ραγδαίας αύξησης της θαλάσσιας στάθμης στα 8.220 με 7.600 έτη BP ταυτοποιήθηκε αρχικά από μια ασυμφωνία (hiatus) σε κοραλλιογενείς ύφαλους στην Καραϊβική. Αυτό το γεγονός τεκμηριώνεται επίσης από στρωματογραφικά δεδομένα που εντοπίστηκαν στο Δέλτα του Μισισσιπή, τον Κίτρινο Ποταμό, και το φιόρντ Λιμ στη Βορειοδυτική Δανία. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου το επίπεδο της θάλασσας αυξήθηκε κατά 1m, πρόκειται για μια μικρή άνοδο εν συγκρίσει με αυτές των προηγούμενων περιόδων. Ακόμα όμως και αυτή η μικρή αύξηση άφησε το αποτύπωμα της στα στρωματογραφικά δεδομένα.

Πριν από 6.000-5.000 χρόνια, η τήξη των πάγων είχε ουσιαστικά σταματήσει, ενώ και η προσαρμογή της λιθόσφαιρας (ισοστασία) στην απομάκρυνση των καλυμμάτων πάγου σταδιακά μειώθηκε. Έτσι, το επίπεδο της θάλασσας συνέχισε να πέφτει σε προηγούμενες παγετώδεις περιοχές και να αυξάνει σε περιοχές που βρίσκονταν περιφερειακά σε προηγούμενα καλύμματα πάγου. Σε πολλά νησιά και παράκτιες περιοχές χαμηλού γεωγραφικού πλάτους που βρίσκονταν μακριά από τις επιπτώσεις των παγετώνων, το επίπεδο της θάλασσας ήταν αρκετά μέτρα υψηλότερο εκείνη την περίοδο και από τότε συνεχίζει να πέφτει (Gornitz.,2007).

Εκτός όμως από τη διακύμανση που αντιστοιχεί στο μεγάλο κλιματικό κύκλο, έχει διαπιστωθεί ότι το κλίμα στη διάρκεια της περιόδου του Ολοκαίνου παρουσίασε μια σειρά από

μικρότερες διακυμάνσεις. Πρόκειται για μία εναλλαγή θερμών – βροχερών και ψυχρών - ξηρών περιόδων, οι μέσες θερμοκρασίες των οποίων δε διέφεραν περισσότερο από 2° C. Η διαφορά αυτή ήταν ωστόσο αρκετή για να επηρεάσει σημαντικά τη βλάστηση, την πανίδα, το έδαφος, τα νερά, γεγονός που είχε και σημαντικό αντίκτυπο στις αντίστοιχες ιστορικές περιόδους. Σύμφωνα με ορισμένες απόψεις, οι θερμές περίοδοι ήταν εποχές ακμής και ευημερίας για την ανθρωπότητα, ενώ οι ψυχρές έφεραν χρόνια δυστυχίας και οικονομικής παρακμής. Ειδικότερα, η περίοδος μεταξύ 1350 και 1850, αναφέρεται ως Μικρή Παγετώδης Περίοδος και έγινε ιδιαίτερα αισθητή κυρίως στη Βόρεια και την Κεντρική Ευρώπη. Το χαρακτηριστικό αυτής της περιόδου αυτής ήταν ότι υπήρξαν τόσο ψυχρές, όσο και θερμές υποπερίοδοι. Η πιο ψυχρή περίοδος σε όλη αυτή την εποχή ήταν μετά το 1600. Ακολούθως, η θερμοκρασία παρουσίασε μια ιδιαίτερα σημαντική και συνεχή αύξηση από τις αρχές του 20ου αιώνα ως το 1950 κι έπειτα παρατηρείται πάλι μια τάση ψύξης, ώσπου να ξεκινήσει και πάλι η θέρμανση της ατμόσφαιρας, μετά το 1970.

4.2 Αίτια μεταβολών της θαλάσσιας στάθμης

Κατά καιρούς έχουν διατυπωθεί αρκετές απόψεις για την ερμηνεία των μεταβολών της θαλάσσιας στάθμης. Μια από αυτές θεωρεί υπεύθυνη την ανύψωση του θαλάσσιου πυθμένα εξαιτίας της ιζηματογένεσης (της απόθεσης δηλαδή ιζημάτων στο βυθό των ωκεανών) που έχει σαν αποτέλεσμα τη μεταβολή των διαστάσεων και συνεπώς του όγκου των ωκεάνιων και θαλάσσιων λεκανών. Ερμηνείες αυτού του είδους δεν μπορούν από μόνες τους να εξηγήσουν ικανοποιητικά της μεγάλης κλίμακας μεταβολές της θαλάσσιας στάθμης που συνέβησαν κατά το παρελθόν και που αποδεικνύεται σήμερα από τα ίχνη που έχουν αφήσει (απολιθωμένες ακτογραμμές π.χ. με τη μορφή θαλάσσιων αναβαθμίδων (marine terraces) ή διαβρωσιγενών γεωμορφών) σε διάφορες παράκτιες περιοχές της γης (Καρύμπαλης,2010).

Σήμερα θεωρείται ότι η αιτία που ευθύνεται σχεδόν αποκλειστικά για τις μεγάλης κλίμακας παγκόσμιες μεταβολές της θαλάσσιας στάθμης είναι η αυξομείωση του όγκου του θαλάσσιου νερού εξαιτίας των αλλαγών που σημειώθηκαν στις κλιματολογικές συνθήκες του πλανήτη. Όπως ήδη αναφέρθηκε έχει αποδειχθεί ότι η ιστορία της γης χαρακτηρίζεται από εναλλαγές παγετωδών (glacial) και μεσοπαγετωδών (interglacial) περιόδων. Κατά τη διάρκεια των παγετωδών περιόδων, όπως αναλύθηκε παραπάνω, μεγάλη ποσότητα του νερού των ωκεανών συσσωρεύεται και δεσμεύεται με τη μορφή πάγου στην επιφάνεια της ξηράς ,

προκαλώντας παγκοσμίως την πτώση της θαλάσσιας στάθμης. Αντίστροφα κατά τη διάρκεια των μεσοπαγετώδων περιόδων, που χαρακτηρίζονται από μια αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα σε παγκόσμια κλίμακα, οι πάγοι λιώνουν με αποτέλεσμα μεγάλη ποσότητα νερού να επιστρέφει από την ξηρά στη θάλασσα, ανεβάζοντας τη στάθμη. Η διεργασία αυτή ονομάζεται παγετό-ευστατισμός (glacio-eustatism) ή ευστατισμός (eustatism). Οι μεταβολές του επιπέδου της θαλάσσιας στάθμης που παρατηρούνται παγκοσμίως και οφείλονται στις διακυμάνσεις της ποσότητας του νερού των ωκεανών ονομάζονται ευστατικές μεταβολές (ibid).

Σε τοπική κλίμακα οι μεταβολές της θαλάσσιας στάθμης μπορεί εκτός από τον ευστατισμό να οφείλονται και σε τοπικά αίτια που έχουν σαν αποτέλεσμα τη μεταβολή (ανύψωση ή βύθιση) της ξηράς. Οι μεταβολές που οφείλονται στην ανύψωση ή βύθιση της ξηράς εξαιτίας τεκτονικών ή ισοστατικών ανοδικών ή καθοδικών κινήσεων θεωρούνται τοπικές. Ο όρος παγετό-ισοστασία (glacio-isostasy) αφορά τις ανοδικές και καθοδικές κινήσεις της ξηράς που οφείλονται στην αυξομείωση του βάρους των πάγων που την καλύπτουν κατά τις παγετώδεις και τις μεσοπαγετώδεις περιόδους. Η μεταφορά νερού από τους ωκεανούς στην επιφάνεια της ξηράς με τη μορφή πάγου έχει σαν αποτέλεσμα (εκτός από την πτώση της θαλάσσιας στάθμης παγκοσμίως) την ταπείνωση της επιφάνειας της ξηράς λόγω του μεγάλου βάρους των καλυμμάτων πάγου. Έχει διαπιστωθεί ότι η ταπείνωση αυτή ισούται με το ένα τρίτο του μεγίστου πάχους του πάγου που δημιουργείται. Αντίστροφα κατά την τήξη των πάγων σημειώνεται μια ανύψωση της ξηράς λόγω της μείωσης του βάρους των πάγων που την καλύπτουν.

Στις περισσότερες περιπτώσεις είναι δύσκολο να διευκρινιστεί αν οι παρατηρούμενες σε μια παράκτια περιοχή μεταβολές οφείλονται σε ευστατικά ή τοπικά αίτια. Συνήθως το τελικό αποτέλεσμα είναι συνδυασμός των δύο διεργασιών και δύσκολα απομονώνονται τα αποτελέσματα του ευστατισμού ή του τεκτονισμού και της ισοστασίας αντίστοιχα. Πρόσφατα η έρευνα έχει καταλήξει στη σχεδίαση καμπυλών που απεικονίζουν την παγκόσμια μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης συναρτήσει του χρόνου λόγω του ευστατισμού (eustatic sea-level curves) για την περίοδο του Τεταρτογενούς.

4.3. Ενδείξεις μεταβολών της θαλάσσιας στάθμης

Οι δείκτες μεταβολής της θαλάσσιας στάθμης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν (Laborel, J., & Manrique, F. A 1980) για να διαπιστωθούν τυχόν μεταβολές στο επίπεδο της θαλάσσιας στάθμης μπορούν να έχουν διαφορετικές μορφές:

Ιστορικά στοιχεία και καταγραφές: που συνήθως αποτελούν δείκτες πρόσφατων μεταβολών. Περιλαμβάνουν παλαιές καταγραφές μετρήσεων παλιρροιογράφων που αφορούν μια χρονική περίοδο διάρκειας μεγαλύτερης των 100 ετών και είναι διαθέσιμες για μερικές μόνο περιοχές της γης. Ανάμεσα στα αρχαιολογικά ευρήματα, τα πιο χρήσιμα είναι αυτά τα οποία υποδεικνύουν συγκεκριμένες δραστηριότητες όπως ομάδες ανθρώπων οι οποίοι ήταν άμεσα εξαρτώμενοι από τη θάλασσα (ναυτικοί, αλιείς κ.α.) (Flemming, 1979-80, Martin et al., 1986).

Χαρακτηριστικά παράκτια διάβρωσης όπως παράκτιοι πάγκοι, μικρού βάθους οπές (pools) και θαλάσσιες εγκοπές (Pirazzoli, 1986) παρέχουν σχετικά ακριβείς προσδιορισμούς παλαιότερων επιπέδων της θάλασσας, αν και συχνά κρίνονται ανεπαρκείς ως δείκτες σε περίπτωση απουσίας και άλλων πρόσθετων ενδείξεων.

Βιολογικοί δείκτες: όπως είναι διάφοροι οργανισμοί ή υπολείμματα οργανισμών (κοράλλια, διάφορα είδη οστράκων, κελύφη μαλακίων, σκώληκες) ή βιοδηλωτικά ίχνη οργανισμών, που όταν είναι ζωντανοί ζουν σε γνωστά παλιρροϊκά επίπεδα και σήμερα βρίσκονται απολιθωμένα σε διαφορετικό ύψος, λόγω των μεταβολών της θαλάσσιας στάθμης που συνέβησαν μετά το θάνατό τους. Η εμφάνιση στη σημερινή τους θέση σαν απολιθώματα είναι ένδειξη της θέσης της παλαιάς ακτογραμμής όταν δηλαδή οι οργανισμοί ήταν εν ζωή (Καρύμπαλης, 2010).

Οι μεταβολές της θαλάσσιας στάθμης διαμέσου του χρόνου μπορούν να αποτυπωθούν με διάφορους τρόπους στις παράκτιες περιοχές. Οι δείκτες που αποτελούν ενδείξεις του ύψους στο οποίο βρίσκονταν η στάθμη της θάλασσας στο παρελθόν μπορούν να έχουν τις ακόλουθες μορφές:

Γεωμορφές διάβρωσης που αναφέρθηκαν προηγουμένως ως δείκτες μεταβολής της θαλάσσιας στάθμης: όπως είναι οι θαλάσσιες εγκοπές (marine torches) που αναπτύσσονται στη βάση του μετώπου των παράκτιων κρημνών και έχουν δημιουργηθεί από τη συνδυασμένη δράση του κυματισμού και της βιολογικής δραστηριότητας οργανισμών, θαλάσσια σπήλαια (sea caves) και αψίδες (arches), παράκτιοι διαβρωσιγενείς πάγκοι (shore platforms) και θαλάσσιες αναβαθμίδες (marine terraces). Όταν οι διαβρωσιγενείς αυτές μορφές είναι ανενεργές (απολιθωμένες) εμφανίζονται δηλαδή πάνω ή κάτω από το επίπεδο στο οποίο ανάλογες γεωμορφές σχηματίζονται σήμερα, αποτελούν ένδειξη μεταβολής της θαλάσσιας στάθμης από την περίοδο σχηματισμού τους (Καρύμπαλης, 2010).

Γεωμορφές απόθεσης: όπως είναι οι ψηφιδωπαγείς αιγιαλοί ή ακτόλιθοι (beachrocks), οι παραλιακές ράχες (beach ridges), τα παλιρροϊκά πεδία (tidal flats) ή οι κοραλλιογενείς

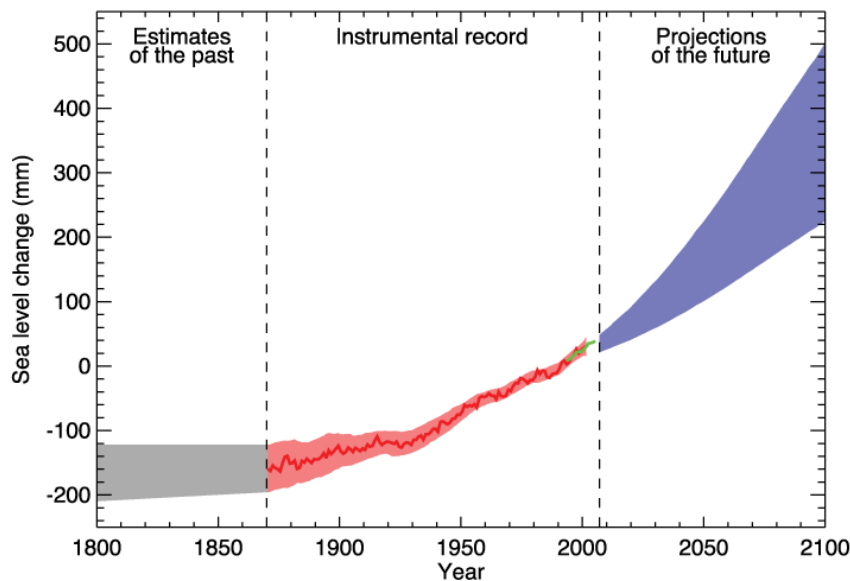
σχηματισμοί που όπως και οι γεωμορφές διάβρωσης που αναφέρθηκαν πριν, βρίσκονται πάνω ή κάτω από τη σημερινή θαλάσσια στάθμη.

4.4.Μελλοντική μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης

Οι υψηλότερες θερμοκρασίες, που όπως αναφέρθηκε είναι αποτέλεσμα της έντασης του φαινομένου του θερμοκηπίου, αναμένεται να αυξήσουν το επίπεδο της θάλασσας καθώς θα αυξηθεί το νερό των ωκεανών όταν οι παγετώνες και τα καλύμματα πάγου θα αρχίσουν να λιώνουν. Στα παράκτια καλύμματα πάγου, που αποτελούν τμήμα της παράκτιας ζώνης της Γροιλανδίας και της Ανταρκτικής, είναι πιθανό σενάριο το λιώσιμο ή και η αποκοπή και μετέπειτα διολίσθησή τους στον ωκεανό γεγονός που θα προκαλέσει επιπλέον άνοδο της θαλάσσιας στάθμης.

Οι υψηλότερες θερμοκρασίες είναι επίσης πιθανό να αυξήσουν την ποσότητα χιονόπτωσης πάνω από την κεντρική Γροιλανδία και Ανταρκτική. Η μεγαλύτερη χιονόπτωση είναι πιθανό να αντισταθμίσει μέρος της αύξησης της στάθμης της θάλασσας από άλλους παράγοντες, καθώς η πρόσθετη χιονόπτωση προέρχεται από νερό που κάτω από άλλες συνθήκες θα ήταν στον ωκεανό.

Λαμβάνοντας υπόψη όλες αυτές τις επιρροές, η Διεθνής Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC) εκτιμά ότι η παγκόσμια μέση στάθμη της θάλασσας θα αυξηθεί από 18 έως 59cm, μέχρι το 2100 (βλ. διάγραμμα 10) σε σχέση με το 1980-1999 σύμφωνα με μια σειρά από πιθανά σενάρια.



Διάγραμμα 10: Παλαιά και προβλεπόμενη παγκόσμια μέση στάθμη της θάλασσας. Η γκριζα σκιασμένη περιοχή δείχνει τις εκτιμήσεις της αλλαγής της στάθμης της θάλασσας από το 1800 -1870, όταν οι μετρήσεις δεν ήταν διαθέσιμες. Η κόκκινη γραμμή είναι μια αναπαράσταση της μεταβολής της στάθμης της θάλασσας που μετρήθηκε με παλιροιογράφους με τη γύρω σκιασμένη περιοχή να απεικονίζει την αβεβαιότητα. Η πράσινη γραμμή δείχνει τη μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης, όπως μετράται από το δορυφόρο. Η μωβ σκιασμένη περιοχή αντιπροσωπεύει μια σειρά μοντέλων με σενάριο μέτριας αύξησης εκπομπών (IPCC SRES A1B).

Σύμφωνα με την IPCC, οι τρέχουσες προβλέψεις δείχνουν ουσιαστικές διαφοροποιήσεις στην μελλοντική άνοδο της στάθμης της θάλασσας μεταξύ διαφόρων περιοχών. Κάποια μέρη ενδέχεται να αντιμετωπίσουν υψηλότερη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης από τον παγκόσμιο προβλεπόμενο μέσο όρο, ενώ άλλα μπορεί να έχουν πτώση της στάθμης. Οι ίδιοι παράγοντες που προκαλούν επί του παρόντος τη ταχύτερη άνοδο της στάθμης της θάλασσας στα μέσα του Ατλαντικού και των ακτών του Κόλπου, και τη βραδύτερη σε μέρη του Βορειοδυτικού Ειρηνικού είναι πιθανό να συνεχιστούν. Αλλαγές στους ανέμους, την ατμοσφαιρική πίεση και τα ωκεάνια ρεύματα, θα προκαλέσουν επίσης σε τοπικό επίπεδο άνοδο στη στάθμη της θάλασσας αλλά οι διακυμάνσεις αυτές δε μπορούν να προβλεφθούν αξιόπιστα.

Με την πάροδο του χρόνου, πιο ουσιαστικές μεταβολές στο επίπεδο της θάλασσας είναι πιθανές στην Δυτική Ανταρκτική και Γροιλανδία λόγω των τρωτών καλυμμάτων πάγου. Ωστόσο, υπάρχουν σημαντικές αβεβαιότητες σχετικά με το μέγεθος και την ταχύτητα των μελλοντικών αλλαγών (IPCC,2007).

Τα καλύμματα πάγου της δυτικής Ανταρκτικής περιέχουν αρκετό πάγο για να αυξήσουν το επίπεδο της θάλασσας κατά 5 με 6 m. Πιθανές αστάθειες των καλυμμάτων θα μπορούσαν να επιτρέψουν την αποκόλληση και την διολίσθηση τους στους ωκεανούς έπειτα από μια συνεχή αύξηση της θερμοκρασίας. Υπάρχει μικρή πιθανότητα για την κατάρρευση αυτού του

καλύμματος πάγου μέσα σε μερικούς αιώνες, αλλά η απόκριση των καλυμμάτων πάγου στην μελλοντική αλλαγή του κλίματος είναι αβέβαιη (IPCC 2007, NRC 2007).

Το στρώμα πάγου της Γροιλανδίας περιέχει αρκετό πάγο ώστε μια ενδεχόμενη τήξη του να αυξήσει το επίπεδο της θάλασσας κατά 7 μέτρα. Παρά το γεγονός ότι έχει ήδη συμβάλει στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας με το λιώσιμο των πάγων του, δεν συντρέχουν παράγοντες που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε μια ταχεία κατάρρευση όπως στην Ανταρκτική. Τα περισσότερα μοντέλα υποδεικνύουν μια σταδιακή τήξη σε αυτή τη χιλιετία που σχετίζεται με τη συνεχή αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα (IPCC 2007).

Σημειώνεται ότι αυτές οι εκτιμήσεις προϋποθέτουν ότι η ροή πάγου από τη Γροιλανδία και την Ανταρκτική θα συνεχίσει με τους ίδιους ρυθμούς που παρατηρήθηκαν τη δεκαετία 1993-2003. Η IPCC προειδοποιεί ότι τα ποσοστά αυτά θα μπορούσαν να αυξηθούν ή να μειωθούν μελλοντικά. Για παράδειγμα, εάν η ροή πάγου αυξηθεί παράλληλα με τη μέση θερμοκρασία του πλανήτη, το ανώτερο εύρος της προβλεπόμενης ανόδου της στάθμης της θάλασσας μέχρι το 2100 θα είναι 48 έως 79 cm. Αλλά η γνώση σχετικά με την απόκριση των παγετώνων καλυμμάτων είναι αρκετά περιορισμένη ώστε να εκτιμηθούν με ακρίβεια αυτές τις αλλαγές και να υπολογιστεί ένα αξιόπιστο ανώτατο όριο το οποίο δεν ενδέχεται να ξεπεραστεί.

4.5. Παράκτιες ζώνες και άνοδος της θαλάσσιας στάθμης

Οι παράκτιες ζώνες είναι ιδιαίτερα ευάλωτες στη μεταβλητότητα και την αλλαγή του κλίματος. Η άνοδος της θαλάσσιας στάθμης πρόκειται να οδηγήσει σε απώλεια γης, αλλαγές στη συμπεριφορά των ακραίων καιρικών φαινομένων και σε απώλειες υδατικών πόρων και οικολογικά σημαντικών περιοχών.

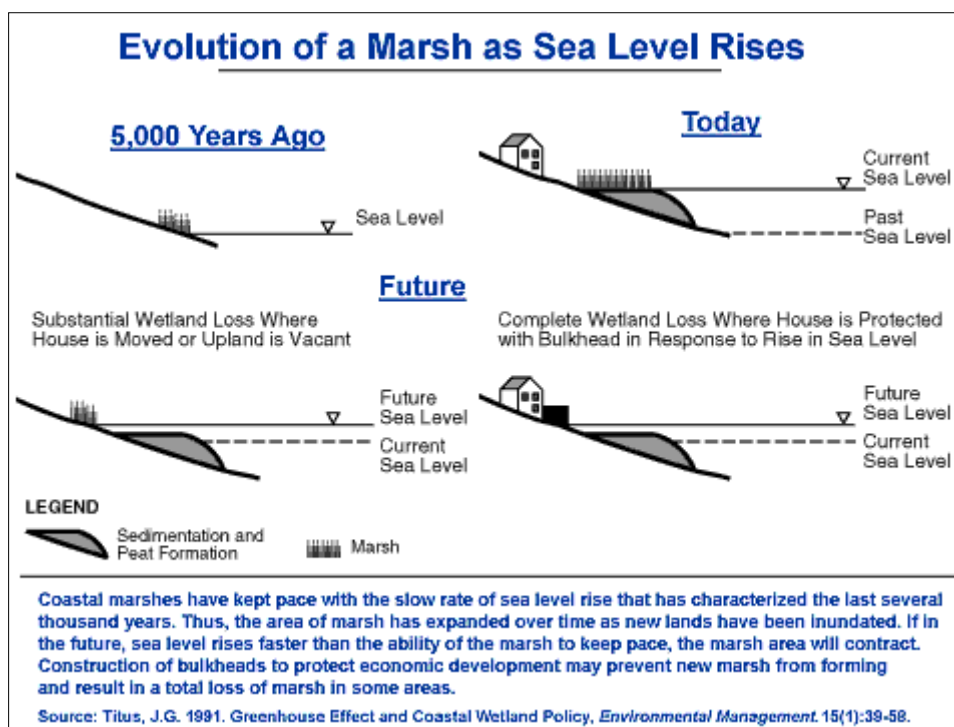
Τα κλιματικά μοντέλα, τα δορυφορικά δεδομένα και οι υδρογραφικές παρατηρήσεις υποδεικνύουν ότι το επίπεδο της θάλασσας δεν ανεβαίνει ομοιόμορφα σε όλο τον κόσμο. Ανάλογα με την περιοχή, το επίπεδο της θάλασσας πολλές φορές εμφανίζεται υψηλότερο ή χαμηλότερο από αυτό του παγκόσμιου μέσου όρου. Μολονότι οι τρέχουσες εκτιμήσεις των μοντέλων δείχνουν ουσιαστικές διαφοροποιήσεις στη μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης σε περιφερειακή και τοπική κλίμακα, η IPCC καταλήγει στο συμπέρασμα ότι οι επιπτώσεις είναι σχεδόν βέβαιο ότι θα είναι κατά συντριπτικό βαθμό αρνητικές (IPCC, 2007).

Η άνοδος της θαλάσσιας στάθμης θα πλημμυρίσει τους υδροβιότοπους και τις χαμηλές παράκτιες πεδινές εκτάσεις, θα διαβρώσει τις παραλίες και τους αιγιαλούς και θα αυξήσει την

αλατότητα των ποταμών, των όρμων καθώς και του υδροφόρου ορίζοντα. Κάποιες από αυτές τις συνέπειες μπορούν να συνδυαστούν περαιτέρω και με άλλες επιπτώσεις από την κλιματική αλλαγή. Επιπλέον, τα μέτρα που οι άνθρωποι ενδεχομένως παίρνουν για την προστασία της περιουσίας τους από την άνοδο της στάθμης της θάλασσας μπορεί να έχουν δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον και τη δημόσια χρήση των ακτών. Να σημειωθεί ότι ορισμένοι ιδιοκτήτες και τοπικές οργανώσεις έχουν ήδη αρχίσει να λαμβάνουν μέτρα προστασίας για να αντιμετωπίσουν τις συνέπειες της ανόδου της στάθμης της θάλασσας.

Η άνοδος της θαλάσσιας στάθμης θα οδηγήσει σε απώλεια γης. Τα παράκτια οικοσυστήματα υγροβιότοπων, όπως για παράδειγμα τα αλμυρά έλη είναι ιδιαίτερα ευάλωτα στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Οι υγροβιότοποι αποτελούν κατοικία για πολλά είδη πανίδας και χλωρίδας, παίζουν καθοριστικό ρόλο στην πρόσληψη τροφής τους και αποτελούν τη βάση για την οικονομική επιβίωση πολλών κοινοτήτων, παρέχουν ευκαιρίες αναψυχής και τέλος προστατεύουν τις περιοχές από πλημμύρες.

Καθώς η στάθμη ανεβαίνει, τα όρια των υγροβιότοπων θα διαβρωθούν, και νέοι υγροβιότοποι θα σχηματιστούν προς την ενδοχώρα, καθώς οι περιοχές που ήταν ξηρές θα πλημμυρίσουν από τα υψηλά επίπεδα νερού. Η συνολική έκταση των νεοσύστατων υγροβιότοπων, ωστόσο, θα είναι πολύ μικρότερη από τις εκτάσεις των υγροβιότοπων που καταστράφηκαν, ιδίως στις ανεπτυγμένες περιοχές που προστατεύονται με φράγματα, αναχώματα και άλλες κατασκευές. Τα προστατευτικά αυτά έργα αποτελούν το όριο μέχρι το οποίο μπορούν να μεταναστεύσουν οι φυσικοί υγρότοποι. Η IPCC αναφέρει ότι μέχρι το 2080 η άνοδος της θαλάσσιας στάθμης θα μπορούσε να μετατρέψει περίπου το 33% των υγροβιότοπων ανά τον κόσμο σε ανοικτή θάλασσα (IPCC,2007). Οι περιοχές με χαμηλό παλιρροιακό εύρος χαρακτηρίζονται ως πιο ευάλωτες. Μια έκθεση της EPA προς το Κογκρέσο εκτιμά ότι η άνοδος κατά 60cm θα μπορέσει να εξαλείψει το 17-43% των υγροβιότοπων της Αμερικάνικης ηπείρου, με τις περισσότερες απώλειες να λαμβάνουν χώρα στη Λουϊζιάνα (EPA,1989). Παγκοσμίως, περίπου 5.000 τετραγωνικά μίλια ξηράς βρίσκονται εντός του παλιρροιακού εύρους των 60cm. Αν και η πλειοψηφία αυτής της γης είναι σίγουρα ανεκμετάλλευτη, πολλές παράκτιες περιοχές αξιοποιούνται ραγδαία. Εκτάσεις που βρίσκονται εντός του παλιρροιακού εύρους λίγων μέτρων θα μπορούσε να πλημμυρίσει από την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης, αν δεν κατασκευαστούν επιπλέον αναχώματα και φράγματα. Μια άνοδος της στάθμης της θάλασσας της τάξης των 30 με 60cm θα καταργούσε περίπου 10.000 τετραγωνικά μίλια γης.



Σχήμα 3: Η εξέλιξη των αλμυρών ελών καθώς η στάθμη της θάλασσας ανεβαίνει. Πηγή: Titus J.G.1981, Environmental management 15(1):39-58.

Η άνοδος της θαλάσσιας στάθμης αυξάνει επίσης την επιδεκτικότητα των παράκτιων περιοχών σε πλημμύρες που προκαλούνται κατά τη διάρκεια ισχυρών καταιγίδων. Έκθεση της FEMA προς το Κογκρέσο το 1991 εκτιμούσε ότι με την υφιστάμενη ανάπτυξη της παράκτιας οικιστικής ζώνης των ΗΠΑ, θα εμφανίζονταν μελλοντικά αύξηση 36 με 58% σε ετήσιες αποζημιώσεις εξαιτίας της ανόδου της θαλάσσιας στάθμης ίση με 30cm, και 102 με 200% για μια υποτιθέμενη άνοδο 90cm. Η διάβρωση της ακτής αυξάνει και αυτή με τη σειρά της την έκθεση στον φυσικό κίνδυνο της κατάκλυσης από τη θάλασσα, καθώς διαβρώνει παραλίες και αμμοθίνες οι οποίες θα προστάτευαν διαφορετικά τις παράκτιες κατασκευές από τα κύματα θυέλλης (FEMA 2000). Η άνοδος της θαλάσσιας στάθμης επίσης αυξάνει τις παράκτιες πλημμύρες που προκαλούνται από βροχοπτώσεις, καθώς οι χαμηλές υψομετρικά περιοχές αποστραγγίζονται βραδύτερα καθώς το επίπεδο της θάλασσας ανεβαίνει.

Οι ιδιοκτήτες ακινήτων, οι ομοσπονδιακές, κρατικές και τοπικές κυβερνήσεις έχουν ήδη αρχίσει να λαμβάνουν μέτρα ώστε να προετοιμαστούν από τις συνέπειες της ανόδου της στάθμης της θάλασσας. Πολλές παράκτιες περιοχές εμπλουτίζουν τεχνητά με άμμο τις παραλίες τους για να αντισταθμίσουν τη διάβρωση της ακτής. Οι ιδιοκτήτες ακινήτων μετακινούν τις ήδη υπάρχουσες υποδομές σε μεγαλύτερα υψόμετρα, με απώτερο στόχο την μείωση των

ασφάλιστρων κατά της πλημμύρας. Μερικές πολιτείες απαγορεύουν την ανέγερση νέων κατοικιών σε περιοχές που ενδέχεται να διαβρωθούν τα επόμενα 30-60 χρόνια (π.χ. Βόρεια Καρολίνα). Ανησυχώντας για την ανάγκη κατοικίας καθώς και για την προστασία των δικαιωμάτων ιδιοκτησίας στο Μέιν, το Ρόουντ Άιλαντ, τη Νότια Καρολίνα και το Τέξας επιτρέπεται στους πολίτες να κτίσουν μόνο υπό την προϋπόθεση ότι θα μετακινήσουν ή και θα καταστρέψουν την υποδομή σε περίπτωση που απειλείται από τη μετακίνηση της ακτογραμμής (Titus, 1998). Σε πολλούς αμμώδεις αιγιαλούς, οι ιδιοκτήτες ακινήτων κατασκευάζουν προστατευτικά τείχη με σκοπό να μειώσουν τη διάβρωση. Αυτές οι σκληρές όμως τεχνικές λύσεις επηρεάζουν τη δυναμική των ιζημάτων και κατ' επέκταση τη σταθερότητα της ακτογραμμής.

Η άνοδος της θαλάσσιας στάθμης υποβαθμίζει επίσης τα παράκτια αποθέματα νερού καθώς αυξάνει την αλατότητα τόσο των επιφανειακών, όσο και των υπογείων υδάτων μέσω της εισροής θαλασσινού νερού. Αύξηση αλατότητας στα εκβολικά συστήματα των ποταμών μπορεί να βλάψει τα υδρόβια φυτά και ζώα που δεν μπορούν να επιβιώσουν σε υψηλά ποσοστά αλατότητας. Τα ανώτερα παράκτια υπόγεια υδροφόρα στρώματα διατρέχουν επίσης τον κίνδυνο (IPCC, 2007). Σε πολλές περιπτώσεις οι αρχές διαχείρισης των υδάτων μειώνουν τη υπερβολική περιεκτικότητα σε αλάτι με την απελευθέρωση γλυκού νερού από δεξαμενές. Μια πιθανή λύση στο συγκεκριμένο πρόβλημα θα μπορούσε να ήταν η αποθήκευση περισσότερου γλυκού νερού κατά τη διάρκεια των υγρών περιόδων. Ωστόσο άλλες ενέργειες προστασίας της ακτής (πλημμυρική προστασία) καθιστούν δύσκολη την εξοικονόμηση επιπλέον ποσότητας νερού για την περίπτωση περιστασιακής ξηρασίας.

5 ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑ

5.1. Η Παράκτια Τρωτότητα

Η τρωτότητα μπορεί να οριστεί ως η τάση ενός συστήματος να υποστεί απώλειες. Οι Klein και Nicholls όρισαν την παράκτια τρωτότητα ως τη σύνθεση της επικινδυνότητας του φυσικού παράκτιου συστήματος και της επικινδυνότητας του κοινωνικοοικονομικού παράκτιου συστήματος λόγω της κλιματικής αλλαγής. Αν και είναι διακριτοί όροι, σχετίζονται σε σημαντικό βαθμό. Στο πλαίσιο αυτό οι μελέτες παράκτιας επικινδυνότητας προσδιορίζουν την αντίδραση του φυσικού και ανθρωπογενούς παράκτιου περιβάλλοντος στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας ως συνέπεια των κλιματικών αλλαγών (Nicholls, 1998). Οι επιπτώσεις της ανόδου της στάθμης της θάλασσας σε ένα φυσικό παράκτιο σύστημα εξαρτώνται από την «ευαισθησία» του στις επιπτώσεις αυτές καθώς και από την προσαρμοστικότητα καθώς και την αντοχή του. Η «ευαισθησία» αντανακλά την πιθανότητα επίδρασης της στάθμης της θάλασσας στο παράκτιο σύστημα. Για παράδειγμα, μία παράκτια περιοχή ήπιων κλίσεων και χαμηλών υψομέτρων παρουσιάζει συγκριτικά με άλλες περιοχές μεγαλύτερη πιθανότητα να αντιμετωπίσει τις αρνητικές συνέπειες της ανόδου της στάθμης της θάλασσας. Η προσαρμοστικότητα και η αντοχή περιγράφουν την σταθερότητα ή μη του φυσικού συστήματος σε μεταβολές. Ειδικότερα, η αντοχή εκφράζει τη δυνατότητα του συστήματος να αντισταθεί στη διαταραχή π.χ. λόγω της κλιματικής αλλαγής ενώ η προσαρμοστικότητα εκφράζει την ταχύτητα με την οποία το παράκτιο σύστημα επιστρέφει στην αρχική του κατάσταση. Οι παραπάνω παράμετροι συνιστούν τη φυσική επικινδυνότητα του παράκτιου φυσικού συστήματος στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας (Nicholls, 1998).

Η αναμενόμενη επιταχυνόμενη άνοδος της στάθμης της θάλασσας έχει δημιουργήσει την ανάγκη προσδιορισμού της μεταβολής των ακτογραμμών ως φυσική αντίδραση. Η κατανόηση του τρόπου απόκρισης της ακτογραμμής σε ενδεχόμενες μεταβολές της στάθμης της θάλασσας είναι χρήσιμη για τη διατήρηση και προστασία των ευπαθών παράκτιων συστημάτων. Δεν υπάρχει, εν τούτοις, ακριβής και ποσοτικοποιημένη μεθοδολογία πρόβλεψης των παράκτιων μεταβολών, ενώ ακόμα και τα απαιτούμενα δεδομένα καθώς και η κλίμακα προσέγγισης της έρευνας αποτελούν αντικείμενο επιστημονικών διαφωνιών (Hammar-Klose, Thielert, 2001). Διεθνώς έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες προσεγγίσεις και μέθοδοι στο αντικείμενο της πρόβλεψης της φυσικής «αντίδρασης» των ακτογραμμών σε μεμονωμένους παράγοντες φυσικής πίεσης όπως η ενδεχόμενη άνοδος της στάθμης της θάλασσας. Κάθε μία από τις προσεγγίσεις αυτές έχει τις αδυναμίες της ή είναι κατάλληλη για συγκεκριμένες μόνο εφαρμογές. Άλλες αξιόλογες προσπάθειες αφορούν την ανάπτυξη μαθηματικοποιημένων δεικτών (π.χ. CVI- Coastal

Vulnerability Index ή δείκτης παράκτιας τρωτότητας, EVI- Environmental Vulnerability Index- δείκτης περιβαλλοντικής τρωτότητας για παράκτιες περιοχές) που στερούνται όμως, επαρκούς τυποποίησης και ανάλυσης των επιμέρους παραγόντων τρωτότητας.

5.2.Μοντέλο Παράκτιας Τρωτότητας για τον Ελληνικό χώρο

Ο ελληνικός χώρος διαθέτει μια εκτεταμένη παράκτια ζώνη με ποικίλες παράκτιες γεωμορφές και δυστυχώς χαρακτηρίζεται από εκτεταμένη και συνήθως ανεξέλεγκτη ανθρωπογενή δραστηριότητα. Οι ελληνικές ακτές έχουν πολύτιμη περιβαλλοντική, οικολογική και οικονομική αξία και είναι απαραίτητη η αειφόρος διαχείριση τους. Είναι αναγκαία λοιπόν αν όχι απαραίτητη η εφαρμογή ενός μοντέλου εκτίμησης της παράκτιας τρωτότητας κατά μήκος αυτών προκειμένου να αναπτυχθεί μια πρώτη εικόνα για την μακροπρόθεσμη εξέλιξη των ακτών και να τεθεί η βάση για την ορθή παράκτια διαχείρισή. Οι βασικές συνιστώσες ενός μοντέλου εκτίμησης της παράκτιας τρωτότητας είναι οι παράγοντες παράκτιας εξέλιξης που επηρεάζουν τη σταθερότητα των ακτογραμμών, δρώντας σε μεγάλο εύρος χρονικών και χωρικών κλιμάκων και εκφράζοντας έναν πολύπλοκο συνδυασμό ωκεανογραφικών, γεωλογικών, τεκτονικών, μετεωρολογικών, ανθρωπογενών και σε μικρότερο βαθμό βιολογικών διεργασιών. Οι παράγοντες αυτοί μπορεί να έχουν είτε ποσοτική είτε ποιοτική έκφραση. Από την αναγνώριση των βασικών αυτών παραγόντων παράκτιας εξέλιξης μπορούν να προκύψουν εκείνες οι μεταβλητές ή δείκτες (indicators) που θα συνεκτιμηθούν ώστε να προσδιοριστεί η παράκτια επικινδυνότητα απέναντι σε φυσικές αλλά και ανθρωπογενείς πιέσεις ή τάσεις. Η χρησιμοποιούμενη χωρική κλίμακα προσέγγισης είναι καθοριστική για την επιλογή και τα χαρακτηριστικά των επιλεγόμενων παραμέτρων που θα συνεκτιμηθούν για την εκτίμησης της τρωτότητας. Για τον ελλαδικό χώρο δυστυχώς δεν έχει εφαρμοστεί καμία ολοκληρωμένη μεθοδολογία εκτίμησης των επιπτώσεων από μια ενδεχόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης σε εθνική κλίμακα. Οι μόνες προσπάθειες αφορούν καθαρά ερευνητικές προσεγγίσεις μεμονωμένων επιστημονικών ομάδων και εστιάζουν σε συγκεκριμένες περιοχές.

5.3.Χρονική μεταβολή των παράκτιων συστημάτων

Τα φυσικά παράκτια συστήματα αποκρίνονται και τροποποιούνται συνεχώς στις μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες που επιβάλλονται από παράγοντες όπως οι παλιρροιακοί κύκλοι και η κυματική ενέργεια (Carter 1988) ώστε να βρίσκονται πάντα σε ισορροπία με τις φυσικές διεργασίες. Εφόσον διαταραχτεί ένα παράκτιο σύστημα που βρίσκεται

σε ισορροπία και δεν έχει υποστεί μόνιμες περιβαλλοντικές αλλοιώσεις θα επιστρέψει στην αρχική του κατάσταση. Ένα ήδη όμως υποβαθμισμένο παράκτιο οικοσύστημα, δε θα μπορέσει ποτέ να επιστρέψει στην αρχική του κατάσταση. Η περίοδος ανάκαμψης, που συχνά αναφέρεται σαν χρόνος αποκατάστασης, είναι καίριας σημασίας για την μακροπρόθεσμη αειφορία της ακτής. Η σχέση μεταξύ του χρόνου αποκατάστασης και του χρονικού διαστήματος επανάληψης (συχνότητας) των ακραίων γεγονότων που οδηγούν σε αλλαγές, αναφέρεται σαν δείκτης τρωτότητας, και παρέχει ένα σημαντικό μέτρο για τη εκτίμηση της απόκρισης των παράκτιων γεωμορφών στις περιβαλλοντικές αλλαγές και μπορούν να επιτρέψουν την εκτίμηση των πιθανών μακροπρόθεσμων προοδευτικών αλλαγών στο σύστημα:

Δείκτης τρωτότητας= χρόνος αποκατάστασης/ συχνότητα ακραίων γεγονότων

Παρά την καίρια σημασία της εκτίμησης των αλλαγών στα παράκτια συστήματα, καμία εκτεταμένη έρευνα δεν έχει πραγματοποιηθεί για την απόκριση των γεωμορφών στις περιβαλλοντικές αλλαγές. Στον πίνακα που ακολουθεί περιέχονται κάποιες καταγεγραμμένες εκτιμήσεις των συχνοτήτων των γεγονότων και των αντίστοιχων χρόνων αποκατάστασης μιας σειράς παράκτιων γεωμορφών. Τα στοιχεία αυτά συλλέχτηκαν από τοποθεσίες σε όλο τον κόσμο και πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η συχνότητα των γεγονότων ποικίλλει ανάλογα με τη γεωγραφική τοποθεσία της εκάστοτε περιοχής. Ο παρακάτω πίνακας παρέχει μια πρώτη ένδειξη για το δείκτη τρωτότητας για συγκεκριμένες παράκτιες γεωμορφές σε μικρές περιβαλλοντικές αλλαγές.

	Συχνότητα ακραίων καιρικών γεγονότων (έτη)	Χρόνος αποκατάστασης (έτη)	Δείκτης τρωτότητας	
Αλμυρά έλη	33	5	6	Pethick(1992)
Αμμοθίνες	8	4	2	Gunton(1997)
Ακτές	1	0,7	1,5	Gunton(1997)
Εκβολικά συστήματα	100.000	10.000	10	Metcalfetal. (2000)

Πίνακας 7: Παράκτιες γεωμορφές και οι δείκτες τρωτότητας τους. Στην τελευταία στήλη αναφέρονται τα ονόματα των ερευνητών που έχουν προτείνει τους δείκτες για την κάθε γεωμορφή.

Χρησιμοποιώντας τον παραπάνω δείκτη τρωτότητας, μελετήθηκαν τα αλμυρά έλη στη Νοτιοανατολική Αγγλία από τον Pethick (1992) και διαπιστώθηκε ότι διαβρώνονταν επιφανειακά κάτω από το κάλυμμα βλάστησης μόνο κατά τη διάρκεια σπάνιων ακραίων γεγονότων όπως κάτω από συνθήκες υψηλής παλίρροιας σε συνδυασμό με κύματα καταιγίδας. Η συχνότητα ενός τέτοιου γεγονότος είναι μεγαλύτερη των 30 ετών, και το έλος ανακάμπτει μετά από ένα τέτοιο γεγονός σε λιγότερο από 5 χρόνια με ταχεία απόθεση (ibid). Η τρωτότητα ενός αλμυρού έλους είναι 6.0 και αποδεικνύει ότι μόνο μια αύξηση της συχνότητας ενός τέτοιου γεγονότος ή η μείωση του ρυθμού απόθεσης θα καταλήξει στην προοδευτική υποβάθμιση του συστήματος των ελών.

Οι αμμοθίνες που τοποθετούνται σε περιβάλλοντα υψηλής ενέργειας και με ένα σχετικό αργό ρυθμό αποκατάστασης, έχουν δείκτη τρωτότητας κοντά στο 2.0. Αυτό συνεπάγεται ότι ακόμα και η μικρή τυχαία διακύμανση στη συχνότητα των διαβρωτικών κυματικών συνθηκών μπορεί να σημαίνει την εκ νέου διάβρωση της πλησιέστερης στη θάλασσα ράχης θινών πριν το σύστημα ανακάμψει πλήρως από τα προηγούμενα διαβρωτικά γεγονότα.

Μια απλή παρατήρηση της χρονικής μεταβλητότητας των παράκτιων γεωμορφών δεν είναι αρκετή ώστε να επιτρέψει μακροπρόθεσμες εκτιμήσεις σχετικά με την υποβάθμιση του συστήματος. Οι χρονικές μεταβολές σε κάθε γεωμορφή πρέπει να εκτιμώνται σε συνδυασμό με την αναμενόμενη απόκριση της, όπως υποδεικνύεται από το δείκτη τρωτότητας. Για παράδειγμα η παρατήρηση της διάβρωσης της επιμήκους ράχης θινών σε ένα σύστημα αμμοθινών δεν πρέπει να λαμβάνεται ως ένδειξη μιας μακροπρόθεσμης υποβάθμισης του συστήματος. Η ευαισθησία των αμμοθινών σε μικρές τυχαίες αλλαγές των περιβαλλοντικών συνθηκών σημαίνει ότι μια τέτοια αλλαγή είναι αναμενόμενη και μπορεί να συνεχιστεί για αρκετά χρόνια πριν εμφανιστεί η προέλαση της ακτογραμμής. Για παράδειγμα οι Richie και οι Penland (1990) κατέγραψαν καταιγίδες που προκαλούσαν διάβρωση στις αμμοθίνες της Λουϊζιάνα κάθε 8 χρόνια, παρόλαυτα οι αμμοθίνες είχαν χρόνο αποκατάστασης τα 4 χρόνια. Παρομοίως, οι Orford et al. (1999) διέγνωσαν μακροχρόνια διάβρωση στην περιοχή Inch Spit, στη Νοτιοδυτική Ιρλανδία, λόγω ακραίων εκδηλώσεων καταιγίδας (συχνότητας 30-50 έτη) με ενδιάμεσες περιόδους ανάκαμψης. Η έρευνα σε αυτή την περιοχή επισήμανε ότι τα μικρά, ετήσια μικρής κλίμακας διαβρωτικά γεγονότα δεν επηρεάζουν σημαντικά τη σταθερότητα του συστήματος αμμοθινών. Αυτά τα παραδείγματα σημειώνουν την εξάρτηση του δείκτη τρωτότητας από τη γεωγραφική τοποθεσία της εκάστοτε περιοχής και τη σημασία της επιτόπιας παρατήρησης.

Η παρατήρηση της συνεχούς διάβρωσης ενός αλμυρού έλους πρέπει να προκαλεί μεγαλύτερη ανησυχία από αυτή του συστήματος των αμμοθινών, καθώς ο υψηλός δείκτης τρωτότητας αυτής της γεωμορφής υποδεικνύει ότι μόνο σχετικά μεγάλες αλλαγές στη συχνότητα των γεγονότων ή στην ικανότητα αποκατάστασης του έλους, μπορεί να οδηγήσει σε προοδευτική απώλεια της επιφάνειας του έλους. Το να καθορίσει κανείς εάν οι παρατηρήσεις της διάβρωσης είναι προοδευτικές ή απλά μέρος της περιοδικής προσαρμογής μετά τα ακραία γεγονότα, είναι παρόλαυτα ιδιαίτερα δύσκολο. Η πιθανότητα να μετρηθεί μείωση της επιφανειακής έκτασης ενός αλμυρού έλους σε περίοδο αποκατάστασης λόγω ακραίων γεγονότων καταιγίδας είναι 0,16 (5έτη στα 30 έτη; Pethick, 1992). Η σύγκριση μιας μέτρησης που έχει ληφθεί αυτή την περίοδο των 5 ετών, όπου η επιφάνεια του έλους είναι μειωμένη, με μια μέτρηση που λήφθηκε σε μια προηγούμενη σταθερή περίοδο, όπου η επιφάνεια του έλους ήταν στο μέγιστο, θα οδηγήσει σε λανθασμένα συμπεράσματα όπως η ενδεχόμενη υποβάθμιση του έλους. Για να αποδειχτεί μια προοδευτική αλλαγή στην έκταση του έλους πρέπει να γίνονται επαναλαμβανόμενες ετήσιες παρατηρήσεις για τουλάχιστον 10 έτη.

Είναι σαφές ότι η παρακολούθηση των παράκτιων γεωμορφών όπως τα αλμυρά έλη απαιτεί η περιοδικότητα των μετρήσεων να προσαρμόζεται ανάλογα με το δείκτη τρωτότητας και το χρόνο αποκατάστασης της κάθε γεωμορφής. Προγράμματα παρακολούθησης, τα οποία δεν είναι σωστά σχεδιασμένα μπορεί να καταλήξουν σε λανθασμένα συμπεράσματα και να οδηγήσουν τους διαχειριστές σε εντελώς ακατάλληλες τεχνικές προστασίας.

Ο δείκτης τρωτότητας των ακτών υποδεικνύει την ανθεκτικότητα των ακτών στις περιβαλλοντικές αλλαγές. Η ανάκαμψη των ακτών έπειτα από ακραία γεγονότα μπορεί να διαρκέσει ώρες και έτσι προκύπτει μια εμφανής σταθερότητα σε αυτό το ευμετάβλητο περιβάλλον. Περιοδικές αλλαγές στην παράκτια γεωμορφολογία μπορούν να λάβουν χώρα ανάλογα με την εποχή. Παράκτια διάβρωση που δε σχετίζεται με αυτή την εποχικότητα μπορεί να υποδεικνύει μια σημαντική περιβαλλοντική αλλαγή που μπορεί να οδηγήσει σε υποβάθμιση της ακτής. Τέτοιες αλλαγές συχνά αποδίδονται στην ανθρωπογενή παρέμβαση, και κυρίως σε παρεμβάσεις στο ιζηματολογικό καθεστώς από τεχνικά έργα προστασίας των ακτών (Cooper et al, 2000).

5.4.Αειφορική διαχείριση των ακτών

Οι ακτές αποτελούν ιδιαίτερα δυναμικά και γεωμορφολογικά πολύπλοκα συστήματα, τα οποία ανταποκρίνονται με έναν μη γραμμικό τρόπο σε ακραία γεγονότα. Έτσι στη διαχείριση

της παράκτιας ζώνης υπάρχει η ανάγκη κατανόησης των γεωμορφολογικών χωρικών και χρονικών διαστάσεων της απόκρισης του παράκτιου συστήματος. Μόνο αν γίνει δυνατή η εκτίμηση της τρωτότητας είναι εφικτή η ενημέρωση των αρμόδιων φορέων και η μετρίαση των αρνητικών αποτελεσμάτων (Adger, 1999).

Επικεντρώνοντας στις ακτές συγκεκριμένα, η παράκτια διαχείριση στοχεύει μέσω της ολοκληρωμένης διαχείρισης στη βιώσιμη ανάπτυξη, τη διατήρηση των κοινωνικών υπηρεσιών τόσο για τις σύγχρονες, όσο και για τις μελλοντικές γενεές (Bower & Turner 1998). Ταυτόχρονα μέσω κατάλληλου προγραμματισμού και ελέγχου, η παράκτια διαχείριση πρέπει να συνδυάζει τη διατήρηση στο υψηλότερο δυνατό επίπεδο της περιβαλλοντικής ακεραιότητας, τη λειτουργία και την προσαρμοστικότητα, μειώνοντας το επίπεδο της τρωτότητας των παράκτιων συστημάτων και ως εκ τούτου των τοπικών πληθυσμών, στα καταστροφικά φυσικά γεγονότα. Έτσι, ο σχεδιασμός και η αξιολόγηση για την ελαχιστοποίηση της τρωτότητας είναι ένα κρίσιμο και κεντρικό στοιχείο στο πλαίσιο της ορθής παράκτιας διαχείρισης (Townend 1990).

Η προσέγγιση της εκτίμησης της Ελαφονήσου στην ενδεχόμενη μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης αποσκοπεί στην ανάπτυξη και προσαρμογή της μεθοδολογίας στο περιβάλλον των ελληνικών ακτών. Η εφαρμογή της μεθοδολογίας αυτής σκοπό έχει την αναζήτηση των κλιμάκων και των επιμέρους εργαλείων που θα μπορούσαν να εφαρμοστούν για την εκτίμηση των επιμέρους παραγόντων σε εθνική κλίμακα στα πλαίσια της εφαρμογής μιας Ολοκληρωμένης Διαχείρισης της Ελληνικής Παράκτιας Ζώνης.

Για την αξιολόγηση των κινδύνων και της τρωτότητας της παράκτιας ζώνης ως προς την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης η IPCC προτείνεται μια κοινή μεθοδολογία βασισμένη σε μια διαδικασία που περιλαμβάνει τα παρακάτω βήματα (IPCC, CZMS 1992):

- Οριοθέτηση της μελέτης περίπτωσης και καθορισμός της ανόδου της στάθμης της θάλασσας σε οριακές συνθήκες
- Απογραφή των χαρακτηριστικών της περιοχής μελέτης.
- Προσδιορισμός των σχετικών παραγόντων ανάπτυξης.
- Αξιολόγηση των φυσικών αλλαγών και των αποκρίσεων του φυσικού συστήματος στις αλλαγές αυτές.
- Αξιολόγηση του προφίλ τρωτότητας και ερμηνεία των αποτελεσμάτων.
- Προσδιορισμός της μακροπρόθεσμης διαχείρισης της παράκτιας ζώνης.

Η διαδικασία αυτή, ιδιαίτερα το τέταρτο βήμα, είναι συχνά δύσκολο να ολοκληρωθεί πλήρως καθώς είναι ιδιαίτερα δύσκολο να αξιολογηθεί η αντίδραση/απόκριση του φυσικού συστήματος. Όπως οι Carobianco et al. (1999) εκτιμούν;" Είναι πολύπλοκο να εκτιμηθούν οι επιπτώσεις στην παράκτια ζώνη σε μεγάλη κλίμακα ειδικά όταν αφορούν συστήματα όπως εκβολές ποταμών και δέλτα καθώς η ποσότητα του ιζήματος που κυκλοφορεί στα συστήματα αυτά είναι συχνά μεγάλη συγκριτικά με την ανταλλαγή ιζήματος με τα γειτονικά συστήματα". Μπορεί να εφαρμοστεί ένας μεγάλος αριθμός διαφορετικών μοντέλων στα συστήματα αυτά παρέχοντας χρήσιμα αποτελέσματα. Ωστόσο, η προγνωστική τους αξία παραμένει περιορισμένη, είτε γιατί περιγράφουν μόνο την μεταφορά ιζήματος και αγνοούν της μορφοδυναμικές αλληλεπιδράσεις, είτε γιατί περιλαμβάνουν μερικές μόνο από τις σχετικές φυσικές διεργασίες. Με τον τρόπο αυτό η μοντελοποίηση, που σχετίζεται με τη φυσική εξέλιξη του συστήματος, αποτυγχάνει σε μεγάλη χωρική και χρονική κλίμακα.

6.ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΚΤΕΣ ΤΗΣ ΕΛΑΦΟΝΗΣΟΥ

6.1. Ο Δείκτης Παράκτιας Τρωτότητας

Ένα από τα πιο σημαντικά εφαρμοσμένα προβλήματα στην παράκτια γεωμορφολογία σήμερα είναι η φυσική απόκριση της ακτογραμμής στην άνοδο της θαλάσσιας στάθμης (Gaki – Papanastasiou et al.,1997; Karymbalis & Gaki-Papanastassiou, 2008). Η ένταση και το εύρος της παράκτιας διάβρωσης αναμένεται να ενταθεί εξαιτίας της ανόδου της θαλάσσιας στάθμης αλλά οι τάσεις της διάβρωσης δεν είναι εύκολο να προβλεφθούν εξαιτίας της αλληλεπίδρασης διαφόρων παραγόντων όπως το ιζηματολογικό ισοζύγιο και η παράκτια υδροδυναμική σε συνάρτηση με τις κλιματικές παραμέτρους (Gornitz, 1991). Η πρόβλεψη της μελλοντικής παράκτιας εξέλιξης δεν είναι απλή. Έτσι, δεν υπάρχει πρότυπη μεθοδολογία και μερικές φορές δεν είναι διαθέσιμα ούτε τα κατάλληλα δεδομένα που απαιτούνται για να γίνει μια τέτοια πρόβλεψη. Ποίκιλλες προσεγγίσεις έχουν προταθεί προκειμένου να προβλεφθεί η εξέλιξη της παράκτιας ζώνης κάτω από την επιρροή της αναμενόμενης ανόδου της θαλάσσιας στάθμης. Καθεμία από αυτές έχει τις ελλείψεις της ή δε μπορεί να εφαρμοστεί σε ορισμένες περιπτώσεις.

Ο σκοπός αυτής της έρευνας είναι η ταξινόμηση της παράκτιας ζώνης της Ελαφονήσου σε σχέση με την τρωτότητα της σε μια αναμενόμενη μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης. Για αυτό το σκοπό εφαρμόστηκε ο Δείκτης Παράκτιας Τρωτότητας όπως προτάθηκε από τον Thieler & Hammar –Klose (1999) χρησιμοποιώντας δεδομένα πεδίου, διαθέσιμη τοπογραφική και γεωπεριβαλλοντική πληροφορία και αξιοποιώντας την τεχνολογία των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS). Αυτή η προσέγγιση συνιστά έναν σχετικά απλό και αντικειμενικό τρόπο για να ποσοτικοποιηθεί η τρωτότητα της ακτογραμμής. Η μέθοδος έχει εφαρμοστεί στις ακτές του Πόρτο Χελίου και Ερμιόνης (Seni,2007), στην κλίμακα της ακτής του Αιγαίου (Alexandrakis et al.,2008) καθώς ακόμα για τις Α/ΒΑ ακτές της Αττικής (Chatzieleftheriou et al.,2010) και στον Αργολικό κόλπο (Gaki-Papanastassiou et al., 2010).

Ο Δείκτης Παράκτιας Τρωτότητας αποτελεί ένα δυναμικό, απλό, αντικειμενικό και εύχρηστο μαθηματικό εργαλείο προσδιορισμού της επικινδυνότητας των παράκτιων ζωνών σε σχέση με μελλοντικές μεταβολές της στάθμης της θάλασσας. Η προσέγγιση αυτή συνδυάζει την "ευαισθησία" του παράκτιου συστήματος στις μεταβολές λόγω ανόδου της στάθμης της θάλασσας, με τη φυσική δυνατότητά του για προσαρμογή στις μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές και κλιματικές συνθήκες.

Στη συνέχεια παρατίθενται μερικές από τις εξισώσεις που έχουν προταθεί κατά καιρούς και χρησιμοποιούνται διεθνώς για τον υπολογισμό του δείκτη παράκτιας τρωτότητας:

Γεωμετρικός μέσος:

$$CVI_1 = \frac{(a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot e \cdot f)}{6}$$

Τροποποιημένος γεωμετρικός μέσος:

$$CVI_2 = \frac{0.25 \cdot a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot (e+f)}{4}$$

Μέσος όρος αθροίσματος τετραγώνων:

$$CVI_3 = \frac{(a^2+b^2+c^2+d^2+e^2+f^2)}{6}$$

Τροποποιημένος γεωμετρικός μέσος:

$$CVI_4 = \frac{(a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot e \cdot f)}{52}$$

Τετραγωνική ρίζα του γεωμετρικού μέσου:

$$CVI_5 = \sqrt{\frac{a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot e \cdot f}{6}}$$

Άθροισμα γινομένων:

$$CVI_6 = 4 \cdot a + 4 \cdot b + 2 \cdot c + 4 \cdot d + 2 \cdot (e + f)$$

Στις εξισώσεις των δεικτών $CVI_{1,3,4,5}$ θεωρείται ισοδύναμη η επιρροή των παραμέτρων κινδύνου ενώ οι δείκτες $CVI_{2,6}$ εισάγουν ένα είδος υποκειμενικής βαρύτητας (επιρροής) των παραμέτρων κινδύνου χωρίς (προφανή) φυσική έννοια.

Ο δείκτης παράκτιας τρωτότητας που εφαρμόζεται στην παρούσα εργασία προτάθηκε από τους Hammar-Klose & Thieler (2001) οι οποίοι τροποποίησαν τον αρχικό δείκτη που είχε παραχθεί από τους Gornitz et al. (1994). Μια παρόμοια φόρμουλα η οποία ονομάζονταν δείκτης ευαισθησίας προτάθηκε από τους Shaw et al. (1998). Ο δείκτης παράκτιας τρωτότητας υπολογίζεται ως η τετραγωνική ρίζα του γινομένου 6 μεταβλητών, οι οποίες παίρνουν τιμές από 1 έως 5 όπως στον πίνακα 1 και διαιρούνται από το συνολικό αριθμό τους:

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

Όπου:

a: η γεωμορφολογία της παράκτιας ζώνης

b: η παράκτια κλίση

- c: Σχετική μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης
- d: ρυθμός διάβρωσης/προέλασης της ακτογραμμής
- e: μέσο παλιρροιακό εύρος και
- f: μέσο σημαντικό ύψος κύματος.

Για τους σκοπούς της εργασίας συλλέχθηκαν δεδομένα σχετικά με την τοπογραφία, τη γεωλογία του νησιού καθώς και τα ωκεανογραφικά χαρακτηριστικά του ευρύτερου θαλάσσιου χώρου. Όλα τα δεδομένα επεξεργάστηκαν με τη χρήση του λογισμικού ArcGIS9.1.3. Συγκεκριμένα για την κατασκευή του ψηφιακού υποβάθρου της περιοχής μελέτης χρησιμοποιήθηκαν 6 τοπογραφικά διαγράμματα κλίμακας 1:5.000 της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (Γ.Υ.Σ). Η εισαγωγή του υποβάθρου πραγματοποιήθηκε με τη σάρωση των παραπάνω και τη μετατροπή τους σε ψηφιακά αρχεία τύπου tif. χρησιμοποιώντας συσκευή σάρωσης. Η εισαγωγή των αρχείων και η οπτικοποίηση τους έγινε με τη χρήση του λογισμικού ArcGis 9.1.3. Οι χάρτες γεωαναφέρθηκαν με βάση το ελληνικό γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς (Ε.Γ.Σ.Α. 87) έτσι ώστε όλα τα χωρικά δεδομένα να βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο αναφοράς.

Τα χωρικά δεδομένα εισάγονται στο Γ.Σ.Π. μέσω μιας διαδικασίας που αποτελείται από τρία στάδια (Burrough P.A., 1986, Longley et. al., 2005):

- Το στάδιο της σάρωσης των δευτερογενών χωρικών δεδομένων (scanning)
- Το στάδιο της γεωαναφοράς των σαρωμένων δευτερογενών δεδομένων (georeferencing)
- Το στάδιο της ψηφιοποίησης των σαρωμένων δεδομένων (digitizing).

Για τη διαδικασία της γεωαναφοράς εντοπίστηκαν και αριθμήθηκαν για κάθε τοπογραφικό διάγραμμα ξεχωριστά τέσσερα τουλάχιστον ευκρινή σημεία ελέγχου τα οποία είχαν από ένα ζεύγος συντεταγμένων X,Y σε αζιμουθιακή προβολή HATT ελλειψοειδούς Bessel βάσει του διαγράμματος της Γ.Υ.Σ. Εν συνεχεία, με τη χρήση του προγράμματος COORD-GR έγινε η μετατροπή των ζευγών αυτών (X,Y) από αζιμουθιακή προβολή HATT σε ΕΓΣΑ 87. Ακολούθησε η εισαγωγή κάθε διαγράμματος χωριστά και η οπτικοποίησή του στο ArcMap του ArcGis με τη χρήση της εντολής File~>Add Data. Έπειτα για τη γεωαναφορά έπρεπε να χρησιμοποιηθεί το εργαλείο Georeferencing ακολουθώντας την παρακάτω σειρά επιλογών View~> Toolbars~> Georeferencing.

Στο τέλος του πίνακα της γεωαναφοράς υπάρχει το μέγεθος Total RMS Error (Συνολικό Τυχαίο Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα) το οποίο συγκεντρώνει τις αποκλίσεις του κάθε ενός σημείου αναφοράς σε ένα ενιαίο στατιστικό μέγεθος. Το μέγεθος αυτό πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερο ώστε η γεωαναφορά να είναι ακριβής. Ένας τέλειος μετασχηματισμός θα έδινε τιμή ίση με το μηδέν.

Τα περισσότερα πακέτα Γ.Σ.Π. περιλαμβάνουν δύο βασικές τεχνικές ψηφιοποίησης: τη σημειακή (point mode) και την αλυσιδωτή (stream mode). Η σημειακή μέθοδος αφορά την εισαγωγή συντεταγμένων για κάθε ένα σημείο ξεχωριστά. Τα σημεία αυτά μπορούν να αποτελούν από μόνα τους ένα σημειακό στοιχείο (π.χ υψομετρικά σημεία), ενώ μπορούν επίσης να είναι μέρος μιας γραμμής (ισοϋψής καμπύλη) είτε ενός πολυγώνου (γεωλογικός σχηματισμός). Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν και οι δύο τεχνικές ανάλογα την περίπτωση και εν συνεχεία πραγματοποιήθηκε ανάθεση των τιμών στον πίνακα περιγραφικών χαρακτηριστικών (attribute table).

Παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας με τα γεωγραφικά δεδομένα της περιοχής όπου και προσδιορίζεται η μορφή τους (σημειακά, γραμμικά, πολυγωνικά), τα περιγραφικά χαρακτηριστικά τους και η πηγή απ' όπου και αντλήθηκαν οι πληροφορίες. Όπως ήδη αναφέρθηκε τα δεδομένα επεξεργάστηκαν και αναλύθηκαν με τη χρήση του λογισμικού ArcGis 9.1.3.

ΘΕΜΑΤΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ	ΜΟΡΦΗ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΠΗΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ
Ακτογραμμή	Γραμμή	Κωδικός, Μήκος	Τοπογραφικός 1:5.000 (Γ.Υ.Σ.)
Ισουψείς	Γραμμή	Κωδικός, μήκος, υψόμετρο	Τοπογραφικός 1:5.000 (Γ.Υ.Σ.)
Υδρογραφικό δίκτυο	Γραμμή	Κωδικός, μήκος	Τοπογραφικός 1:5.000 (Γ.Υ.Σ.)
Υψομετρικά σημεία	Σημεία	Κωδικός, ύψος	Τοπογραφικός 1:5.000 (Γ.Υ.Σ.)
Γεωλογικοί σχηματισμοί	Πολύγωνα	Κωδικός, σχηματισμός	Γεωλογικός χάρτης Ι.Γ.Μ.Ε. 1:50.000
Χρήσεις γης	Πολύγωνα	Κωδικός, χρήση,	Corine, επιτόπια παρατήρηση

Πίνακας 8: Τα γεωγραφικά δεδομένα της περιοχής.

Τα δεδομένα που αφορούν την παράμετρο της γεωμορφολογίας εξήχθησαν από μια λεπτομερή (κλίμακας 1:5.000) υπαίθρια γεωμορφολογική χαρτογράφηση κατά μήκος της ακτογραμμής. Καθώς ο τύπος της ακτής και των παράκτιων γεωμορφών έχει άμεση σχέση με την παράκτια λιθολογία, κατά τη διάρκεια της υπαίθριας χαρτογράφησης συγκεντρώθηκαν επίσης ποιοτικές παρατηρήσεις όσον αφορά τη σχετική διαβρωσιμότητα των γεωλογικών σχηματισμών που αναπτύσσονται κατά μήκος της ακτογραμμής. Επιπλέον καταγράφηκαν οι γεωλογικοί σχηματισμοί κατά μήκος της ακτογραμμής οι οποίοι ταυτοποιήθηκαν με τη χρήση του γεωλογικού χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε. κλίμακας 1:50.000.

Η τοπική κλίση της παράκτιας ζώνης υπολογίστηκε με τη χρήση του Ψηφιακού Υψομετρικού Μοντέλου (DEM) της περιοχής που δημιουργήθηκε από τα τοπογραφικά διαγράμματα κλίμακας 1:5.000 ισοδιάστασης 4m που είχαν διατεθεί από την Ελληνική Γεωγραφική Υπηρεσία Στράτου. Προκειμένου να εκτιμηθεί η κλίση της παράκτιας ζώνης υπολογίστηκε η κλίση κάθε κυψελίδας (grid cell) με μέγεθος 15*15.

Αν και η σχετική αλλαγή του θαλάσσιου επιπέδου/στάθμης είναι ο συνδυασμός και της παγκόσμιας ευστατικής ανόδου αλλά και της τοπικής ισοστασίας και των τεκτονικών κινήσεων,

για την έρευνα αυτή ελήφθη υπόψη μόνο ο ευστατικός παράγοντας καθώς δεν υπάρχουν σχετικά ιστορικά στοιχεία που αναφέρουν στους πρόσφατους ιστορικούς χρόνους μια σχετική αλλαγή της θαλάσσιας στάθμης στην περιοχή της Ελαφονήσου λόγω τοπικών αιτιών όπως ο τεκτονισμός. Επιπλέον είναι δύσκολη η εκτίμηση της επίδρασης των μελλοντικών τεκτονικών κινήσεων λαμβάνοντας υπόψη το παρελθόν καθώς οι ρυθμοί αυτοί δεν είναι σταθεροί.

Οι ρυθμοί παράκτιας διάβρωσης ή προέλασης υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας και συγκρίνοντας την ακτογραμμή που προέκυψε από την ψηφιοποίηση των τοπογραφικών χαρτών του Γ.Υ.Σ. χρονολογίας 1975 με την ακτογραμμή που δημιουργήθηκε από τις ορθοφωτογραφίες του κτηματολογίου. Οι ορθοφωτογραφίες αυτές, προέκυψαν από πρόσφατες φωτοληψίες της περιόδου 2007-2009. Η συγκριτική παρατήρηση των δύο ακτογραμμών παρέχει μια ένδειξη των μεταβολών της ακτογραμμής για μια σειρά 33 ετών που θεωρείται ικανοποιητική για την εξαγωγή αξιόπιστων συμπερασμάτων.

Το παλιρροιακό εύρος προέκυψε από δημοσιευμένες πληροφορίες που αφορούν την ευρύτερη θαλάσσια περιοχή (Tsimplis,1994; Tsimplis & Blackman ,1997).

Το μέσο σημαντικό ύψος κύματος χρησιμοποιείται σαν ένας δείκτης της προσπίπτουσας στην ακτογραμμή ενέργειας των κυμάτων. Οι μέσες ετήσιες τιμές του σημαντικού ύψους κύματος αντλήθηκαν από τον Άτλαντα ανέμου και κύματος των Ελληνικών θαλασσών (Soukisian et al., 2007) ο οποίος έχει εκδοθεί από το Ελληνικό Κέντρο Θαλασσίων Ερευνών και βασίζεται σε μετρήσεις που αφορούν την περίοδο 1999-2007 (οι μετρήσεις έχουν πραγματοποιηθεί στα πλαίσια του προγράμματος Ποσειδώνας).

Κάθε παράμετρος για κάθε επιμέρους τμήμα της ακτογραμμής έχει ταξινομηθεί από το 1 (πολύ χαμηλή) έως το 5 (πολύ υψηλή) τρωτότητα, σύμφωνα με τις τιμές που παρέχονται από τους Thieler & Hammar Klose (1999). Ακολούθως ο δείκτης τρωτότητας (CVI) για κάθε παράκτιο τμήμα υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας τη γνωστή εξίσωση. Ακολουθούν οι παράγοντες που συνεκτιμήθηκαν για τον υπολογισμό του Δείκτη της Παράκτιας Τρωτότητας και η κατηγοριοποίηση της ακτογραμμής της Ελαφονήσου για κάθε μια από τις έξι παραμέτρους.

6 .2. Γεωμορφολογία

Η παράμετρος της γεωμορφολογίας στο δείκτη παράκτιας τρωτότητας εκφράζει ουσιαστικά την απόκριση διαφόρων τύπων ακτών στη δράση του κύματος και τη διάβρωση γενικότερα. Ουσιαστικά στο CVI η παράμετρος αυτή κατατάσσει τις ακτές σε κατηγορίες με κοινά

χαρακτηριστικά όσον αφορά την μορφολογία τους, την κοκκομετρία τους και την σύσταση των πετρωμάτων τους. Η πρακτική σημασία αυτής της κατάταξης είναι η άμεση διάκριση ανάμεσα σε σημεία μικρής επικινδυνότητας όπως κάθετες βραχώδεις ακτές που αποτελούνται από συμπαγή ανθεκτικά στη διάβρωση πετρώματα ή μια ανοικτή αμμώδης παραλία όπου θα ευνοούσε τη δημιουργία επικίνδυνων καταστάσεων.

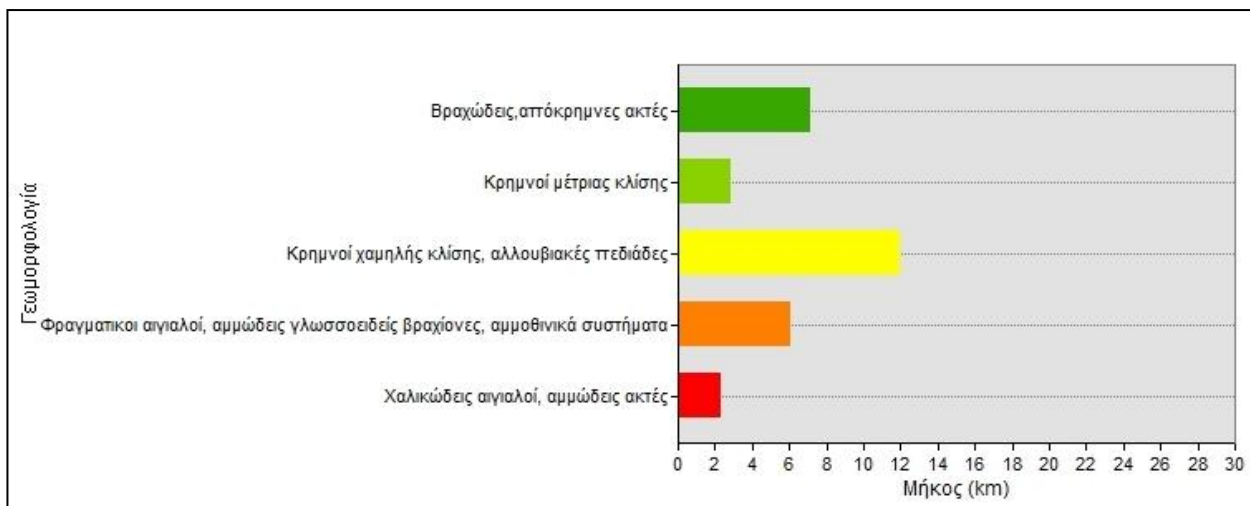
Για τον εντοπισμό και την καταγραφή των παράκτιων γεωμορφών κατά μήκος της ακτογραμμής του νησιού, πραγματοποιήθηκε υπαίθρια παράκτια γεωμορφολογική χαρτογράφηση. Για την ένταξη της πληροφορίας του είδους των παράκτιων γεωμορφών καθώς και τα αποτελέσματά της δημιουργήθηκε ένα γραμμικό θεματικό επίπεδο (βλ. χάρτη 7). Οι γεωμορφές κατηγοριοποιήθηκαν σε 5 κατηγορίες που περιλαμβάνουν από βραχώδεις, απόκρημνες ακτές έως αμμώδεις επίπεδες ακτές και φραγματικούς αιγιαλούς.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ				
	1	2	3	4	5
Γεωμορφολογία	Βραχώδεις, Απόκρημνες Ακτές	Κρημνοί μέτριας κλίσης	Κρημνοί χαμηλής κλίσης, Αλλουβιακές Πεδιάδες	Χαλικώδεις Αιγιαλοί, Λιμνοθάλασσες Αμμώδεις γλωσσοειδείς βραχίονες	Φραγματικοί Αιγιαλοί Αμμώδεις Ακτές
	Πολύ Χαμηλή	Χαμηλή	Μέτρια	Υψηλή	Πολύ Υψηλή

Πίνακας 9: Βαθμονόμηση της γεωμορφολογίας για την περιοχή μελέτης. Στον πίνακα φαίνεται η τιμή (μεταξύ 1 και 5) που δίνεται σε κάθε μια από τις γεωμορφές που αναπτύσσονται κατά μήκος της ακτογραμμής.



Χάρτης 7: Χάρτης για τη βαθμονόμηση της γεωμορφολογίας της περιοχής (προσωπική επεξεργασία)



Διάγραμμα 11: Ιστόγραμμα με την κατηγοριοποίηση της γεωμορφολογίας. Στον οριζόντια άξονα απεικονίζεται το μήκος της ακτογραμμής σε km, στον κάθετο άξονα απεικονίζεται ομαδοποιημένος ο γεωμορφολογικός τύπος της ακτής σε 5 κλάσεις επικινδυνότητας (κόκκινο:πολύ υψηλή, πορτοκαλί:υψηλή, κίτρινο: μέτρια, ανοικτό πράσινο:χαμηλή, πράσινο:πολύ χαμηλή).

Από τον χάρτη στον οποίο απεικονίζεται η κατηγοριοποίηση της ακτογραμμής ανάλογα με τις γεωμορφές που αναπτύσσονται καθώς και από το διάγραμμα με το μήκος της κάθε ομάδας γεωμορφών διαπιστώνεται ότι το μεγαλύτερο μήκος του νησιού χαρακτηρίζεται ως χαμηλής τρωτότητας δεδομένου ότι καταλαμβάνεται από παράκτιους κρημνούς που αναπτύσσονται σε σκληρά ανθεκτικά πετρώματα (βλ. γεωλογικό χάρτη).

6.3.Παράκτια κλίση

Η γνώση της παράκτιας κλίσης μιας περιοχής επιτρέπει όχι μόνο μια εκτίμηση του σχετικού κινδύνου κατάκλυσης της περιοχής αλλά και της ενδεχόμενης υποχώρησης της ακτογραμμής αφού περιοχές με μικρή κλίση τείνουν να διαβρώνονται με μεγαλύτερο ρυθμό (Thieler, Hammar-Klose, 1999). Η μικρή κλίση της ακτής καθιστά τις περιοχές πιο ευάλωτες στη δράση του κυματισμού και στον κίνδυνο κατάκλυσης από την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης τόσο σε μεγάλες κλίμακες χρόνου, όσο και σε τοπικά μικρής χρονικής περιόδου φυσικές διεργασίες ανύψωσης της θάλασσας (π.χ. κύματα καταιγίδας και γενικότερα παροδική ανύψωση στάθμης από μετεωρολογικά αίτια). Από άποψη επικινδυνότητας της ακτής η παράκτια κλίση παρουσιάζει ενδιαφέρον γιατί εκτός από το γεγονός ότι η μικρή κλίση ευνοεί την αναρρίχηση του κυματισμού συνήθως στις χαμηλές περιοχές αναπτύσσονται οι ανθρώπινες υποδομές και

είναι έντονες οι κοινωνικοοικονομικές δραστηριότητες (οικισμοί, υπηρεσίες, τουρισμός κ.α) δίνοντας έτσι και μια άλλη κοινωνική διάσταση στην επικινδυνότητα.

Η κλίση της γήινης επιφάνειας σε κάθε θέση του γήινου ανάγλυφου, είναι ο ρυθμός μεταβολής του υψομέτρου στην περιοχή αυτή. Μετράται σε μοίρες ή σε ποσοστό μεταβολής επί τις εκατό (%).

Για την εκτίμηση της παράκτιας κλίσης κατά μήκος της ακτογραμμής της περιοχής μελέτης και την αντίστοιχη κατηγοριοποίηση της ακτογραμμής χρειάστηκε να δημιουργηθεί το Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο (Digital Elevation Model) του νησιού. Η κατασκευή του πραγματοποιήθηκε εντάσσοντας τα παρακάτω δεδομένα:

Ισοϋψείς καμπύλες (contour_lines.shp)

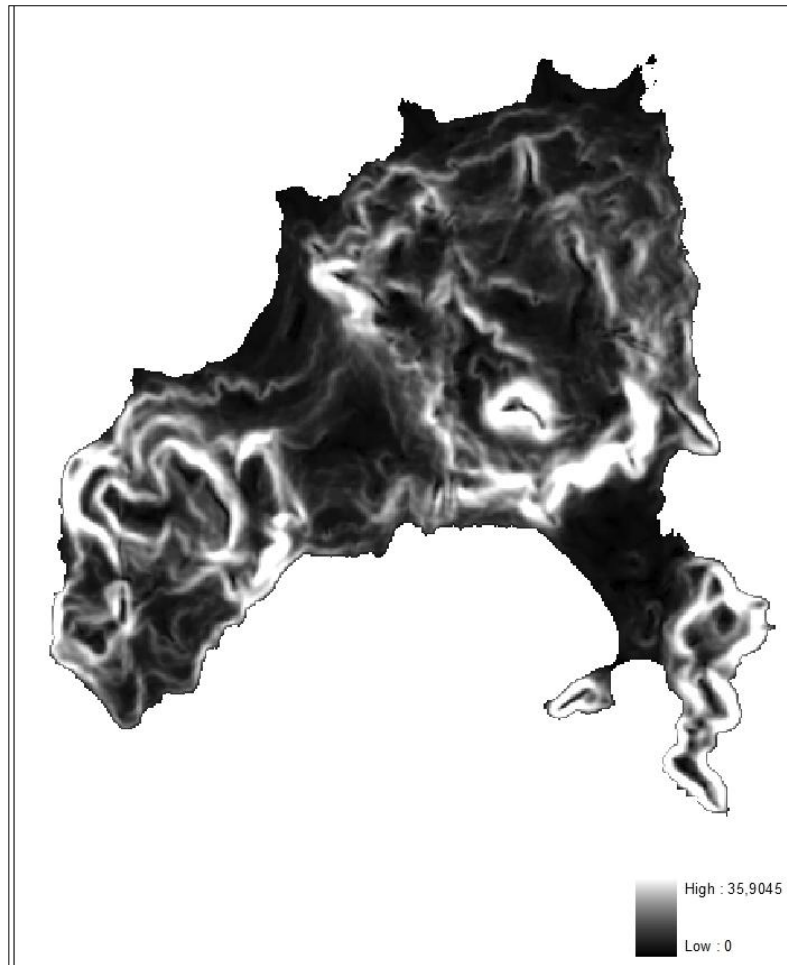
Ακτογραμμή (coast_line.shp)

Υψομετρικά σημεία (elevation_points.shp)

Τα δύο πρώτα shapefiles αποτελούν γραμμικά αρχεία ενώ το τρίτο σημειακό αρχείο.

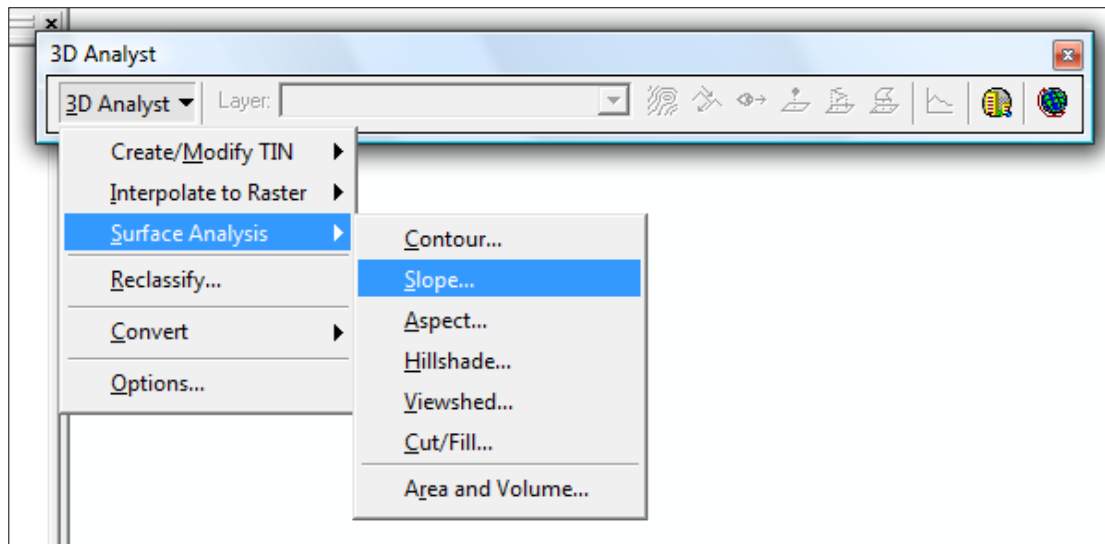
Το αρχείο των ισοϋψών δημιουργήθηκε από τοπογραφικά διαγράμματα της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού κλίμακας 1:5.000, με 4m ισοδιάσταση.

Το DEM δημιουργήθηκε μέσα από το πρόγραμμα ArcMap και με τη χρήση του Toolbox~> Spatial Analyst~> Interpolation~> Topo to Raster. Εκεί εισήχθησαν και τα παραπάνω αρχεία.



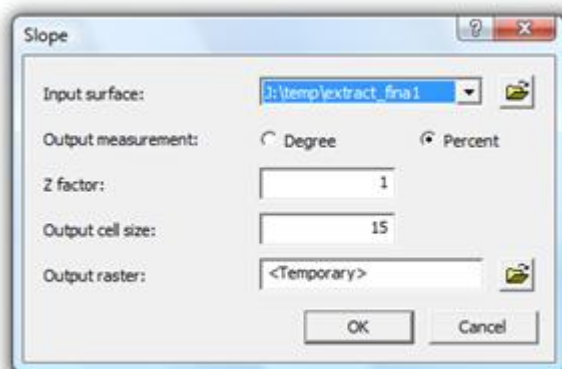
Εικόνα 7: Στάδιο δημιουργίας του DEM

Εν συνεχεία από την εργαλειοθήκη του 3D Analyst έγινε επιλογή του Surface Analysis και από το αναδιπλωμένο μενού επιλέχτηκε η εντολή slope.



Εικόνα 8: Η διαδρομή που ακολουθήθηκε για την επιλογή της εντολής slope

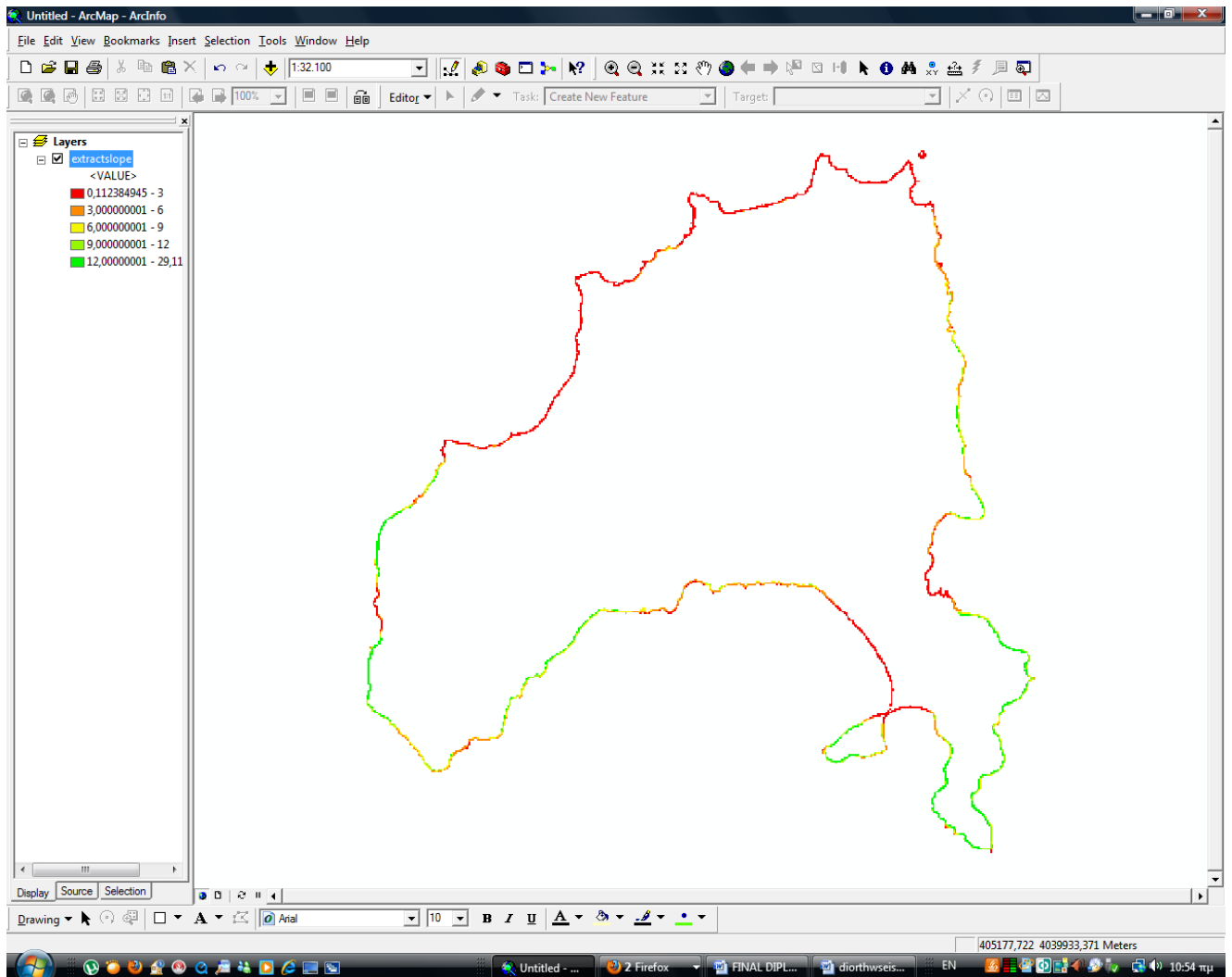
Στην οθόνη διαλόγου της εντολής slope που εμφανίζεται αρχικά επιλέγεται η επιφάνεια από την οποία θέλουμε να παράγουμε ένα raster τιμών της κλίσης που δεν είναι άλλο από το ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο εδάφους. Στην συνέχεια επιλέγεται η μορφή των τιμών της κλίσης δηλαδή σε μοίρες ή τιμές επί της εκατό (%). Η τιμή του κελιού, δηλαδή η τιμή των πλευρών του pixel είναι ίση με 15m, όση και η διακριτική ικανότητα του αρχικού DEM.



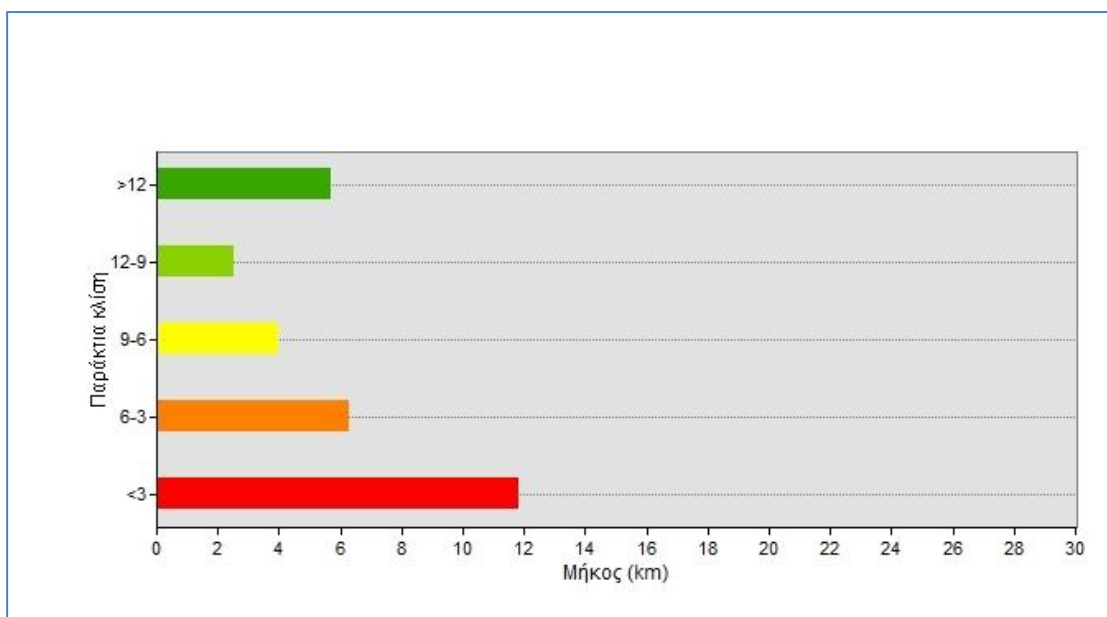
Εικόνα 9: Οθόνη διαλόγου της εντολής slope.

Τέλος ο παράγοντας z είναι μια τιμή η οποία υπολογίζεται αυτόματα από το λογισμικό όταν οι μονάδες του υψομέτρου είναι διαφορετικές από της αντίστοιχες μονάδες των συντεταγμένων x και y. Για παράδειγμα αν οι μονάδες των x και y είναι σε μέτρα και του υψομέτρου z σε πόδια

(feet) τότε στο πλαίσιο του z factor μπαίνει η τιμή 0.3048 για να μετατραπούν τα πόδια σε μέτρα. Στην συνέχεια ορίζεται το όνομα του raster το οποίο παράγεται και επιλέγεται το OK.



Εικόνα 10: Στάδια δημιουργίας κλάσεων των παράκτιων κλίσεων για την περιοχή της Ελαφονήσου



Διάγραμμα 12: Ιστόγραμμα με την κατηγοριοποίηση της παράκτιας κλίσης. Στον οριζόντιο άξονα απεικονίζεται το μήκος της ακτογραμμής σε km. Στον κάθετο άξονα απεικονίζεται ομαδοποιημένο το μέγεθος της παράκτιας κλίσης σε ποσοστά % σε 5 κλάσεις επικινδυνότητας (κόκκινο:πολύ υψηλή, πορτοκαλί:υψηλή, κίτρινο: μέτρια, ανοικτό πράσινο:χαμηλή, πράσινο:πολύ χαμηλή).

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ				
	1	2	3	4	5
Παράκτια Κλίση(%)	>12	12-9	9-6	6-3	<3
	Πολύ Χαμηλή	Χαμηλή	Μέτρια	Υψηλή	Πολύ υψηλή

Πίνακας 10: Βαθμονόμηση της παράκτιας κλίσης για την περιοχή μελέτης.



Χάρτης 8. Χάρτης με τη βαθμονόμηση της παράκτιας κλίσης.

Μεταξύ των μεταβλητών του δείκτη, η παράκτια κλίση αποτελεί την κύρια παράμετρο που εκφράζει τον πλημμυρικό κίνδυνο από μια ενδεχόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης καθώς οι άλλες μεταβλητές της βάσης δεδομένων συνδέονται με τον κίνδυνο διάβρωσης της ακτογραμμής. Ο προσδιορισμός της τοπικής παράκτιας κλίσης αντικατοπτρίζει τη σχετική τρωτότητα του εκάστοτε τμήματος της παράκτιας ζώνης στην πλημμύρα και την δυνητική ταχύτητα της υποχώρησης της ακτογραμμής. Οι παράκτιες περιοχές με ήπιες κλίσεις θεωρητικά υποχωρούν ταχύτερα από τις απόκρημνες. Περιοχές με παράκτιες κλίσεις χαμηλότερες του 3,2% που χαρακτηρίζονται ως πολύ υψηλής τρωτότητας, ενώ οι παράκτιοι λόφοι με κλίσεις μεγαλύτερες του 11,6% και μικρότερες του 17,7% είναι χαμηλής τρωτότητας. Ο χάρτης και ο αντίστοιχος πίνακας κατηγοριοποίησης της ακτογραμμής της Ελαφονήσου και χαρακτηρισμού της σε πολύ χαμηλής έως πολύ υψηλής τρωτότητας ως προς την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης για την παράμετρο της μορφολογικής κλίσης δείχνει ότι ένα μήκος μεγαλύτερο των 11 km της ακτής του νησιού χαρακτηρίζεται ως πολύ υψηλής τρωτότητας καθώς εμφανίζει μικρές τιμές παράκτιας κλίσης. Γεωγραφικά οι τρωτές περιοχές εντοπίζονται στις βόρειες και τοπικά τις νότιες και ανατολικές ακτές του νησιού. Οι χαμηλές κλίσεις χαρακτηρίζουν τις περιοχές των αμμωδών αιγιαλών. Το μικρότερο ποσοστό της ακτογραμμής έχει πολύ μεγάλη κλίση και συνεπώς χαρακτηρίζεται ως πολύ χαμηλής τρωτότητας ως προς την παράμετρο αυτή και εντοπίζεται στις δυτικές και τοπικά στις νότιες και ανατολικές ακτές του νησιού.

6.4.Σχετική μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης

Δεδομένα για τη σχετική άνοδο της στάθμης της θάλασσας αποτελούν ο ρυθμός της μεταβολής της στάθμης σε τοπικό επίπεδο κατά τη διάρκεια των ιστορικών χρόνων και συνήθως προέρχονται από ιστορικά δεδομένα όπως μετρήσεις παλιρροιογράφων που αφορούν μακρές χρονικές περιόδους. Ο ρυθμός ανόδου της θαλάσσιας στάθμης καθορίζεται από την αλληλεπίδραση του ευστατισμού με την ισοστασία και/ή τον τεκτονισμό. Εδώ καθώς δεν είναι διαθέσιμα ιστορικά στοιχεία θα ληφθεί υπόψη μόνο ο παράγοντας του ευστατισμού. Η σχετική μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης θεωρείται ενιαία για όλη την περιοχή μελέτης. Η παράμετρος αυτή παίρνει τιμή 1,8mm/yr (χαμηλή τρωτότητα - τιμή τρωτότητας 2). Η τιμή αυτή αποτελεί το ρυθμό της μέσης ευστατικής παγκόσμιας ανόδου της θαλάσσιας στάθμης για την περίοδο 1850 έως 1950 όπως έχει εκτιμηθεί από την Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή και

βασίζεται σε μετρήσεις παλιρροιογράφων από διάφορες περιοχές της γης (IPCC, 2007). Για την ανάλυση της συγκεκριμένης μεταβλητής δημιουργήθηκε ενιαίο γραμμικό θεματικό επίπεδο (βλ. χάρτη 9). Η ενιαία τιμή της παραμέτρου αυτής για το σύνολο της ακτογραμμής οδηγεί στη διαπίστωση ότι η σχετική άνοδος της θαλάσσιας στάθμης δεν παίζει καθοριστικό ρόλο στη διαφοροποίηση της ακτογραμμής της Ελαφονήσου ως προς την τρωτότητά της στην ενδεχόμενη μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης.

Σχετική άνοδος θαλάσσιας στάθμης(mm/yr)	Περιοχή	Τιμή
1,8 mm/ yr	Όλη η περιοχή μελέτης	2

Πίνακας 11: Βαθμονόμηση της σχετικής ανόδου της θαλάσσιας στάθμης για την περιοχή μελέτης.



Χάρτης 9: Χάρτης με τη βαθμονόμηση της σχετικής ανόδου θαλάσσιας στάθμης στην περιοχή μελέτης

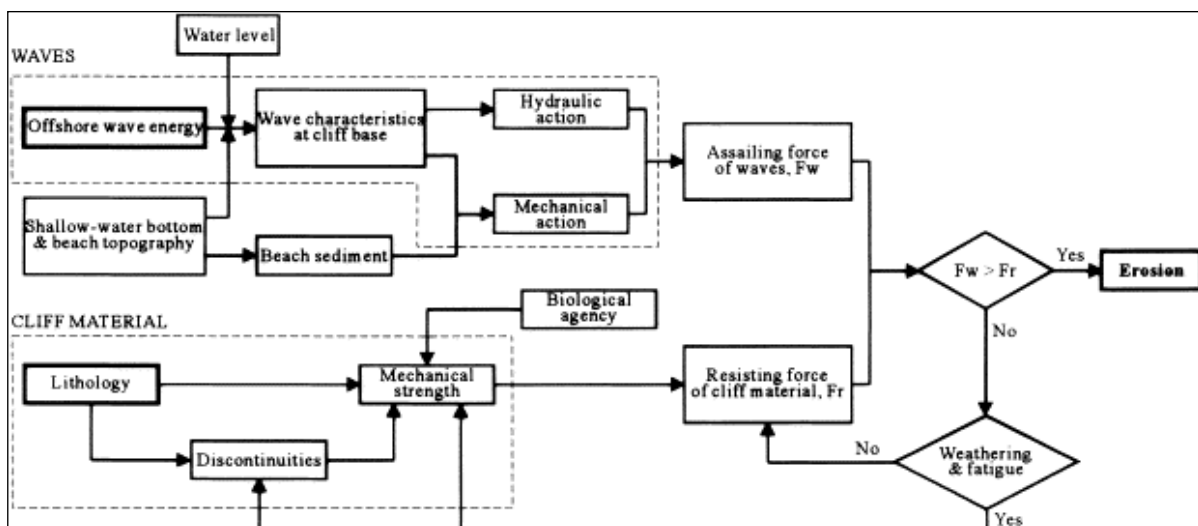
6.5.Διάβρωση/ Προέλαση Ακτογραμμής

Η παράκτια διάβρωση ορίζεται σαν την μακροπρόθεσμη απώλεια υλικών από την ακτογραμμή με σημείο αναφοράς την αρχική της θέση (Basco.,1999). Το φαινόμενο συνοδεύεται πάντα με μετατοπίσεις της ακτογραμμής και απώλεια χέρσου. Στην περίπτωση της Ελλάδας το 28,6% του συνόλου της ακτογραμμής υπολογίζεται ότι υπόκειται σε διαβρωτικές εργασίες (Coastal Practice Network Newsletter No2, 2004) γεγονός που κατατάσσει τη χώρα τέταρτη στη σχετική λίστα της Ευρωπαϊκής Ένωσης σχετικά με τις ακτές που διαβρώνονται. Αυτός ο υψηλός ρυθμός διάβρωσης οφείλεται μερικώς στους σχετικά ισχυρούς κυματισμούς που αναπτύσσονται στις ελληνικές θάλασσες καθ' όλη τη διάρκεια του έτους καθώς και στην αμμώδη φύση των ακτών. Άλλη αιτία είναι οι ανθρωπογενείς επεμβάσεις κατά μήκος των ακτογραμμών τουριστικά κυρίως αξιοποιημένων περιοχών και η κατασκευή μεγάλου αριθμού φραγμάτων στις κοίτες των ποταμών που καταλήγουν στις ακτές περιορίζοντας σημαντικά την τροφοδοσία τους με ίζημα.

Για έναν πρώτο προσδιορισμό και εντοπισμό των μεταβολών της ακτογραμμής, της Ελαφονήσου χρησιμοποιήθηκαν και αξιοποιήθηκαν οι ορθοφωτογραφίες του κτηματολογίου απ' όπου και χαράχθηκε η πρόσφατη ακτογραμμή του νησιού. Η πρόσβαση έγινε μέσω WMS (Web Map Service) εξυπηρετητή (σύνδεσμος :<http://gis.ktimanet.gr/wms/wmsopen/wmsserver.aspx?>). Οι ορθοφωτογραφίες αφορούν στο σύνολο της ελληνικής επικράτειας, με εξαίρεση ορισμένες παραμεθόριες περιοχές, καθώς και ορισμένες διαβαθμισμένες εγκαταστάσεις, για τις οποίες ισχύουν περιορισμοί και απαγορεύσεις από τις αρμόδιες αρχές και υπηρεσίες της χώρας. Η χωρική ανάλυση των εικόνων είναι 20cm για τις αστικές περιοχές και 50cm για τις υπόλοιπες περιοχές της χώρας. Οι ορθοφωτογραφίες αυτές προέκυψαν από φωτοληψίες της περιόδου 2007-2009 και αποτελούν το πλέον πρόσφατα ενημερωμένο χαρτογραφικό υλικό με τη μεγαλύτερη δυνατή ανάλυση. Η ακτογραμμή αυτή συγκρίθηκε με την ακτογραμμή που προέκυψε από την ψηφιοποίηση των τοπογραφικών διαγραμμάτων της Γ.Υ.Σ. η σχεδίαση των οποίων αφορά το έτος 1975. Η παράκτια χαρτογράφηση που πραγματοποιήθηκε πιστοποίησε και επιτόπου τη διάβρωση ή μη της ακτογραμμής.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ				
	1	2	3	4	5
Ρυθμός διάβρωσης/ προέλασης ακτογραμμής (mm/yr)	$>(+2,0)$ Πολύ Χαμηλή	$(+1,0)-(+2,0)$ Χαμηλή	$(-1,0)-(+1,0)$ Μέτρια	$(-2,0)-(-1,0)$ Υψηλή	$<(-2,0)$ Πολύ Υψηλή

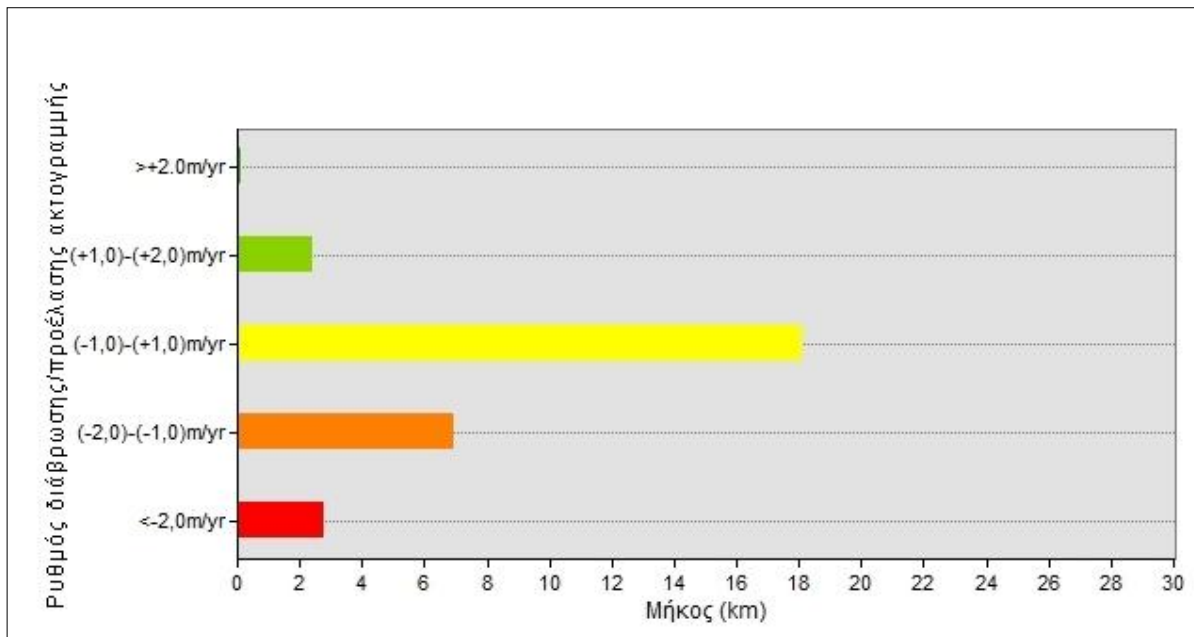
Πίνακας 12: Βαθμονόμηση του ρυθμού διάβρωσης/προέλασης της ακτογραμμής για την περιοχή μελέτης.



Σχήμα 4: Παράγοντες που επηρεάζουν τη διάβρωση των παράκτιων κρημνών (Sunamura.,1992)



Χάρτης 10. Χάρτης με τη βαθμονόμηση του ρυθμού μεταβολής (διάβρωσης/προέλασης) της ακτογραμμής της περιοχής μελέτης



Διάγραμμα 13: Ιστόγραμμα με την κατηγοριοποίηση του ρυθμού διάβρωσης/ προέλασης της ακτογραμμής. Στον οριζόντιο άξονα απεικονίζεται το μήκος της ακτογραμμής σε km ενώ στον κάθετο άξονα απεικονίζεται ομαδοποιημένος ο ρυθμός διάβρωσης/προέλασης της ακτογραμμής σε 5 κλάσεις επικινδυνότητας (κόκκινο:πολύ υψηλή, πορτοκαλί:υψηλή, κίτρινο: μέτρια, ανοικτό πράσινο:χαμηλή, πράσινο:πολύ χαμηλή).

Από τον χάρτη που σχεδιάστηκε με την κατηγοριοποίηση των ακτών του νησιού σε κατηγορίες τρωτότητας ως προς την παράμετρο προέλασης/υποχώρησης καθώς και από το αντίστοιχο διάγραμμα γίνεται φανερό ότι το μεγαλύτερο μήκος της ακτογραμμής της Ελαφονήσου χαρακτηρίζεται από σταθερότητα για την χρονική περίοδο παρατήρησης. Κυρίως οι βραχώδεις ακτές που αποτελούνται από συνεκτικά πετρώματα είναι προφανές ότι δεν υποχωρούν με μεγάλους ρυθμούς που να είναι εμφανείς στο διάστημα των 33 ετών. Αντίθετα ένα μήκος περίπου 10km χαρακτηρίζεται από υποχώρηση. Οι περιοχές αυτές εντοπίζονται κυρίως εκεί που αναπτύσσονται οι αιγιαλοί (στο βόρειο και νότιο τμήμα του νησιού) και εν μέρει στις Νεογενείς αποθέσεις.



Εικόνα 11: Ενδείξεις διάβρωσης στη χώρα της Ελαφονήσου.

6.6. Μέσο Παλιρροιακό Εύρος

Λαμβάνοντας υπόψη τα διαθέσιμα στοιχεία της Υδρογραφικής Υπηρεσίας για τον Ελλαδικό χώρο, το μέσο παλιρροιακό εύρος για την περιοχή της Ελαφονήσου θεωρήθηκε το ίδιο κατά μήκος όλης της ακτογραμμής και ότι αυτό δεν ξεπερνά τα 0,15m. Όπως και για την παραμέτρο του ρυθμού μεταβολής της θαλάσσιας στάθμης έτσι και για την παράμετρο αυτή πραγματοποιήθηκε η ίδια ακριβώς διαδικασία μετατροπής του διανυσματικού αρχείου σε ψηφιδωτό με μια ενιαία ακτογραμμή όπου σε ένα πεδίο έχει δοθεί η τιμή για την παράμετρο της παλίρροιας και στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η βαθμονόμηση σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα 13. Σύμφωνα με τον πίνακα των THIELER & HAMMAR- KLOSE,1999 η τιμή αυτή του εύρους έχει δυναμικό 5.

Είναι προφανές ότι το μικρό εύρος παλίρροιας εστιάζει τη δράση του κυματισμού σε συγκεκριμένα επίπεδα καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας και του έτους με αποτέλεσμα η δράση του να είναι περισσότερο αποτελεσματική. Αντίθετα το μεγάλο εύρος παλίρροιας προκαλεί το διασκορπισμό της κυματικής δράσης.

Εύρος τιμών μέσου παλιρροιακού εύρους(m)	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΤΙΜΗ
0,15	Όλη η περιοχή μελέτης	5

Πίνακας 13: Βαθμονόμηση του μέσου παλιρροιακού εύρους για την περιοχή μελέτης.



Χάρτης 11: Χάρτης με τη βαθμονόμηση του Μέσου Παλιρροιακού εύρους για την περιοχή

6.7. Μέσο σημαντικό ύψος κύματος

Οι προγνώσεις σε πραγματικό χρόνο (real time forecasts) φασματικών παραμέτρων και οι μεταγενέστερες εκτιμήσεις οι οποίες είναι προσομοιώσεις κυματικών χαρακτηριστικών που λαμβάνονται μέσω μεθόδων ανασύνθεσης του κυματικού κλίματος με την βοήθεια ιστορικών μετεωρολογικών δεδομένων δίνουν τα υπάρχοντα αποτελέσματα κυματικών μοντέλων για τον ελληνικό θαλάσσιο χώρο (Σουκισιαν.Τ.Χ., Προσπαθόπουλος., Α.Μ.,2003).

Το μέσο σημαντικό ύψος κύματος είναι ένας δείκτης της κυματική ενέργειας που προσπίπτει και καταναλώνεται κατά μήκος της ακτογραμμής. Λόγω έλλειψης στοιχείων μέσου σημαντικού ύψους κύματος για τις αντίστοιχες χρονολογίες λειτουργίας των μετεωρολογικών σταθμών της ευρύτερης περιοχής μελέτης προκειμένου να διαπιστωθούν πιθανές διαφοροποιήσεις των κυματικών χαρακτηριστικών στα επιμέρους τμήματα της ακτογραμμής χρησιμοποιήθηκαν τα μόνα διαθέσιμα στοιχεία. Για το μέσο σημαντικό ύψος κύματος τα δεδομένα για την Ελαφόνησο αντλήθηκαν από τον Άτλαντα Ανέμου και Κύματος των Ελληνικών Θαλασσών hindcast κυματικά δεδομένα για την περίοδο 1997-2007. Τα δεδομένα αυτά έχουν παραχθεί από αριθμητικά μοντέλα υψηλής χρονικής και χωρικής ανάλυσης και έχουν χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία της 10ετους βάσης δεδομένων και παρουσιάζονται στην έκδοση του ΕΛΚΕΘΕ “Άτλαντας ανέμου και κύματος των ελληνικών θαλασσών” (Soukissian et al. 2007). Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η κατανομή του μέσου ετήσιου σημαντικού ύψους κύματος με βάση τα αποτελέσματα του μοντέλου WAM και του συστήματος καιρικής πρόγνωσης ΠΟΣΕΙΔΩΝ.

Το WAM-cycle 4 (ή WAM για συντομία) είναι ένα φασματικό κυματικό μοντέλο τρίτης γενιάς, που υπολογίζει την εξέλιξη του δισδιάστατου φάσματος της κυματικής ενέργειας με μία σαφή αναλυτική μέθοδο, χωρίς καμία a priori υπόθεση για τη μορφή του. Επιλύει την εξίσωση μεταφοράς για βαθύ και ρηχό νερό, συμπεριλαμβάνοντας διάθλαση λόγω βάθους και παρουσίας ρευμάτων (σταθερού βάθους και πεδίου ρευμάτων μόνο). Η εξίσωση μεταφοράς είναι εκφρασμένη σε όρους του φάσματος πυκνότητας κυματικής δράσης (στην περίπτωση παρουσίας ρευμάτων διατηρείται η κυματική δράση και όχι η κυματική ενέργεια)

$$N(x,\sigma,\theta) = E(x,\sigma,\theta) / \sigma$$

όπου N είναι η πυκνότητα κυματικής δράσης,

E είναι η πυκνότητα κυματικής ενέργειας,

$x=(x,y)$ είναι το διάνυσμα θέσης,

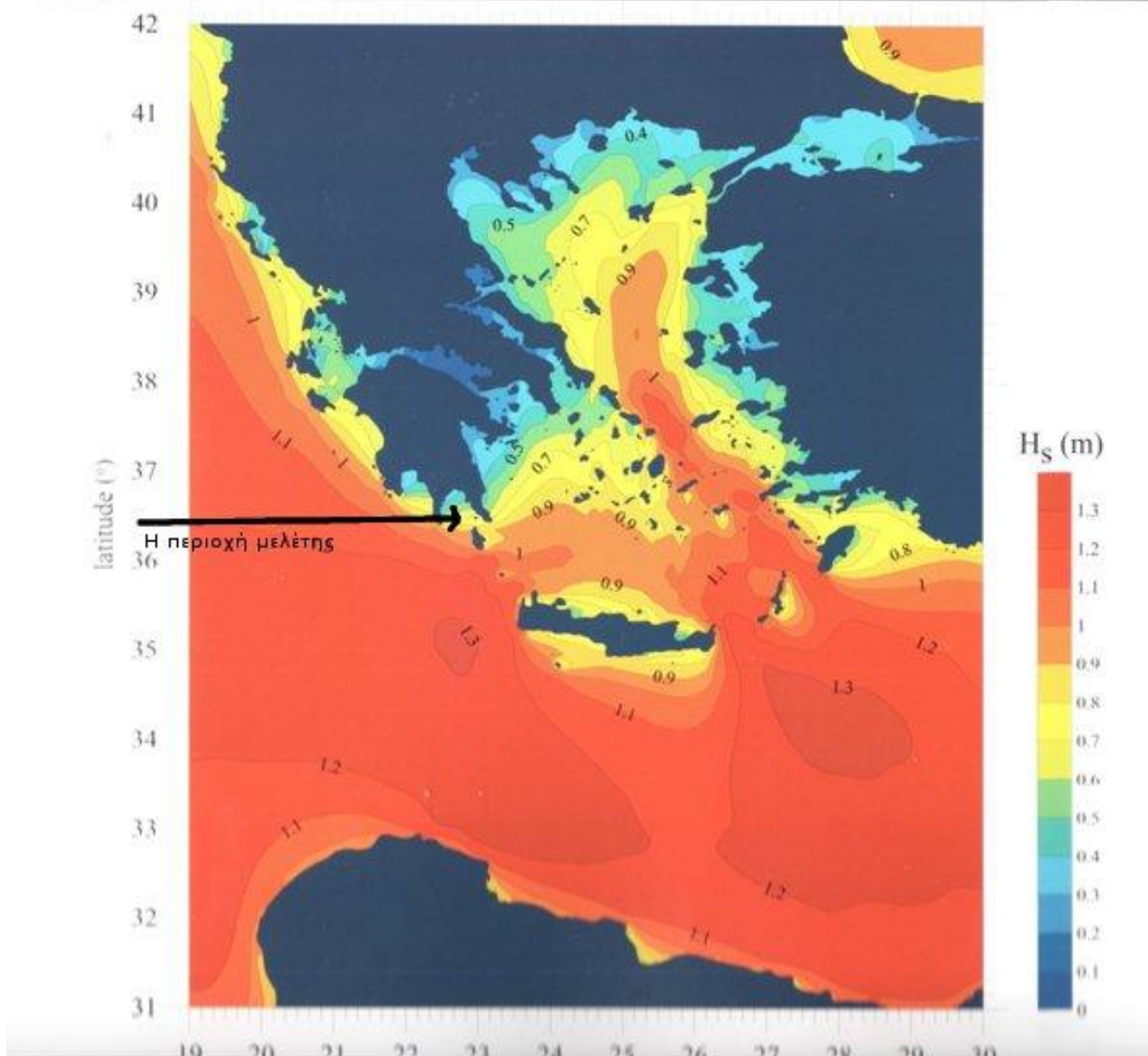
θ η κατεύθυνση του κύματος και

$\sigma=\omega-\vec{k}\cdot\vec{U}$ η σχετική συχνότητα.

Η ενεργοποίηση του μοντέλου WAM μπορεί να γίνει για οποιοδήποτε πλέγμα (τοπικό ή μεγαλύτερο) με προκαθορισμένα τοπογραφικά δεδομένα. Ενσωμάτωση πλέγματος σε άλλο είναι επίσης δυνατή, ενώ επιτρέπονται διακοπές και επανεκκινήσεις προσομοιώσεων. Το μοντέλο εξάγει πολλές φασματικές κυματικές παραμέτρους, όπως το σημαντικό ύψος κύματος, τη μέση κυματική κατεύθυνση και συχνότητα, το ύψος και τη μέση κατεύθυνση της αποθάλασσας, τα πεδία τάσης του ανέμου διορθωμένα κατά τον παράγοντα της επαγόμενης κυματικής τάσης (wave-induced wind stress) και το συντελεστή σύρσης (drag coefficient) σε κάθε κομβικό σημείο του πλέγματος για επιλεγμένες χρονικές στιγμές, καθώς και το δισδιάστατο φάσμα του κυματισμού σε επιλεγμένα σημεία και χρονικές στιγμές.

Όπως φαίνεται στο χάρτη μέσω των τιμών σημαντικού ύψους κύματος όπου η εξεταζόμενη παράμετρος είναι το σημαντικό ύψος κύματος H_s η τιμή για την περιοχή μελέτης είναι 0,7m-0,8m.

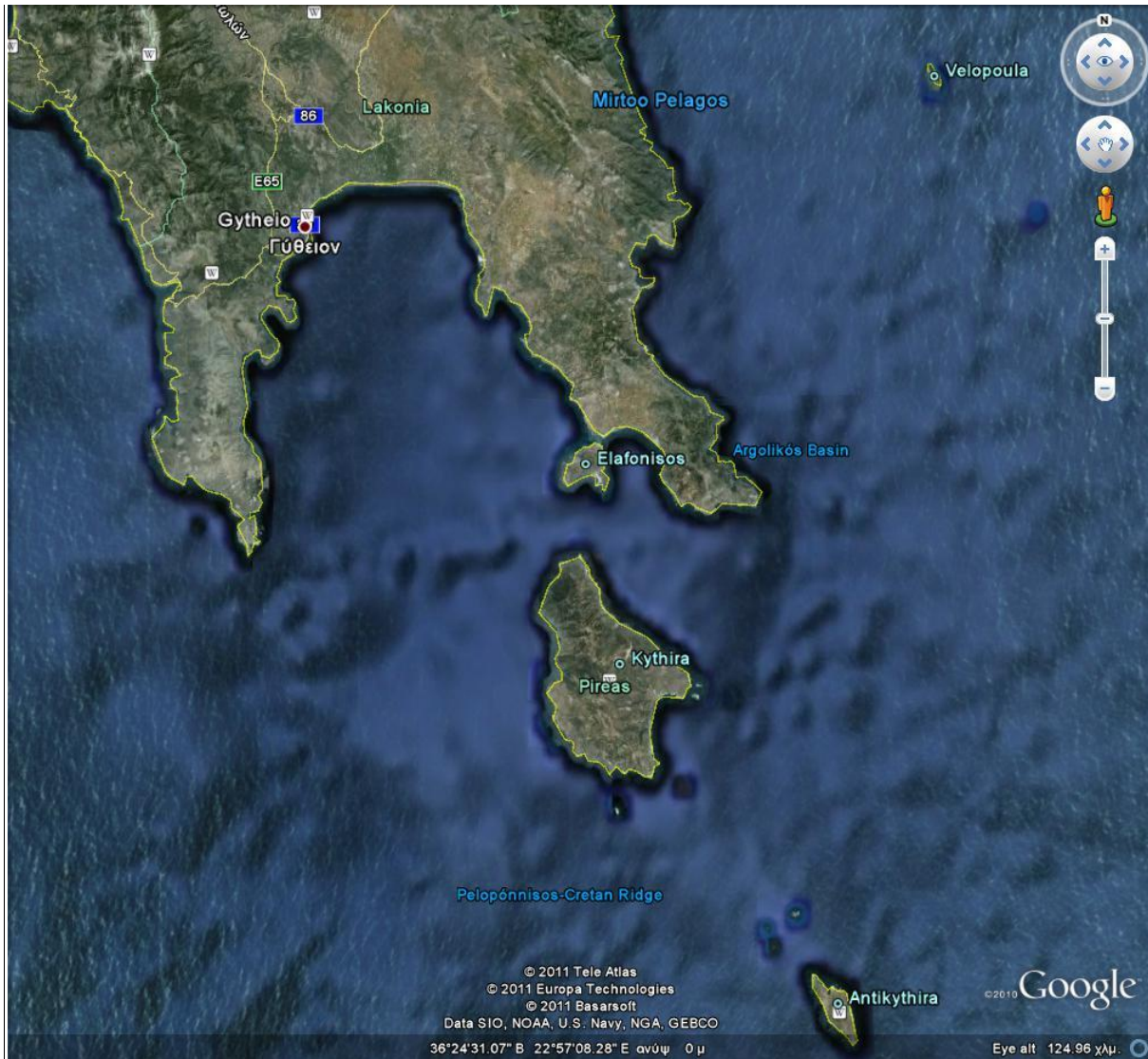
ΜΕΣΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ ΥΨΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ MEAN SIGNIFICANT WAVE HEIGHT



Χάρτης 12: Κατανομή του μέσου ετήσιου σημαντικού ύψους κύματος στο Αιγαίο πέλαγος με βάση τα αποτελέσματα του μοντέλου WAM και του συστήματος καιρικής πρόγνωσης ΠΟΣΕΙΔΩΝ. Το τόξο υποδεικνύει την περιοχή μελέτης. Πηγή: Άτλαντας ανέμου και κύματος των Ελληνικών θαλασσών.

Για την ανάλυση της συγκεκριμένης μεταβλητής επιλέγεται η δημιουργία ενιαίου γραμμικού θεματικού επιπέδου για την ένταξη της πληροφορίας του μέσου σημαντικού ύψους κύματος και δεν κρίθηκε αναγκαία η διαίρεση της ακτογραμμής για την περιοχή μελέτης, κάνοντας την παραδοχή ότι η κυματική ενέργεια είναι ίδια κατά μήκος της ακτογραμμής καθώς

η νήσος όπως μπορούμε να δούμε και στη δορυφορική εικόνα που ακολουθεί προστατεύεται από το νοτιοανατολικό άκρο της Πελοποννήσου και το νησί Κύθηρα που βρίσκεται νοτιότερα.



Χάρτης 13: Γεωγραφική τοποθέτηση της περιοχής μελέτης. Νοτιότερα αυτής τοποθετούνται τα Κύθηρα ενώ στα ανατολικά προστατεύεται από το νοτιοανατολικότερο άκρο της Πελοποννήσου.

ΕΥΡΟΣ ΤΙΜΩΝ ΜΕΣΟΥ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΥ ΥΨΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ(m)	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΤΙΜΗ
<0,55		1
0,55-0,8	Όλη η περιοχή μελέτης	2
0,85-1,05		3
1,05-1,25		4
>1,25		5

Πίνακας 14: Εύρος τιμών για κατάταξη της ακτογραμμής ως προς την τρωτότητά της σε ότι αφορά τη μεταβλητή του μέσου σημαντικού ύψους κύματος που χρησιμοποιείται στην εξίσωση του δείκτη παράκτιας τρωτότητας πηγή: THIELER & HAMMAR- KLOSE,1999.

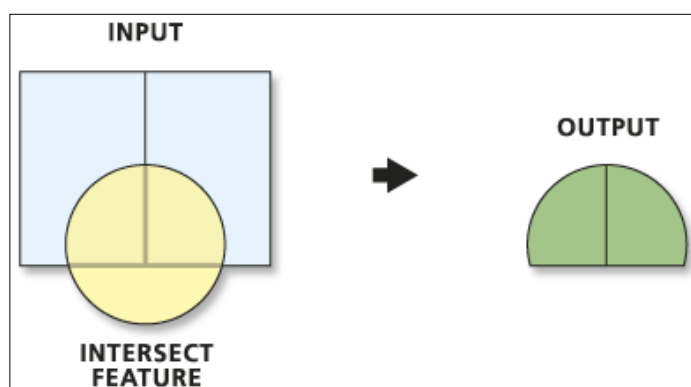
Η περιοχή μελέτης με μέσο ετήσιο σημαντικό ύψος κύματος από 0,7 έως 0,8m ανήκει στη δεύτερη ομάδα τα εύρη του οποίας κυμαίνονται μεταξύ 0,55 και 0,8. Φαίνεται πως η παράμετρος αυτή δεν διαφοροποιεί σημαντικά την τιμή του τελικού δείκτη κατά μήκος της υπό μελέτη ακτογραμμής καθώς έχει την ίδια χαμηλή τιμή για όλο το νησί.



Χάρτης 14: Χάρτης με τη βαθμονόμηση του μέσου σημαντικού ύψους κύματος για την περιοχή μελέτης,

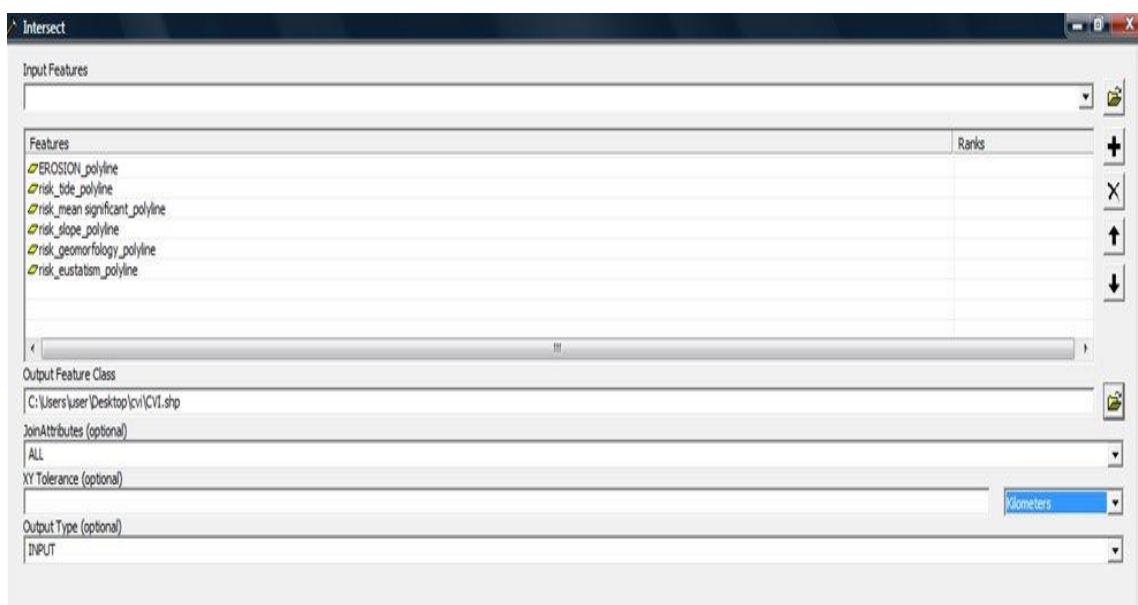
6.8.Υπολογισμός του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας

Σε κάθε πίνακα περιγραφικών χαρακτηριστικών που δημιουργήθηκε για κάθε παράμετρο του δείκτη C.V.I. προστέθηκε μια στήλη με την ονομασία risk η οποία περιέχει την πληροφορία της επικινδυνότητας με τιμές από 1 έως 5 όπως φαίνεται και στους παραπάνω πίνακες και χάρτες. Έπειτα δόθηκε η εντολή χωρικής ανάλυσης INTERSECT, η εντολή αυτή δημιουργεί ένα νέο επίπεδο με την τομή των επιπέδων που εισάγονται, διατηρώντας την πληροφορία όλων των επιπέδων, για τα δεδομένα του αποτελέσματος.



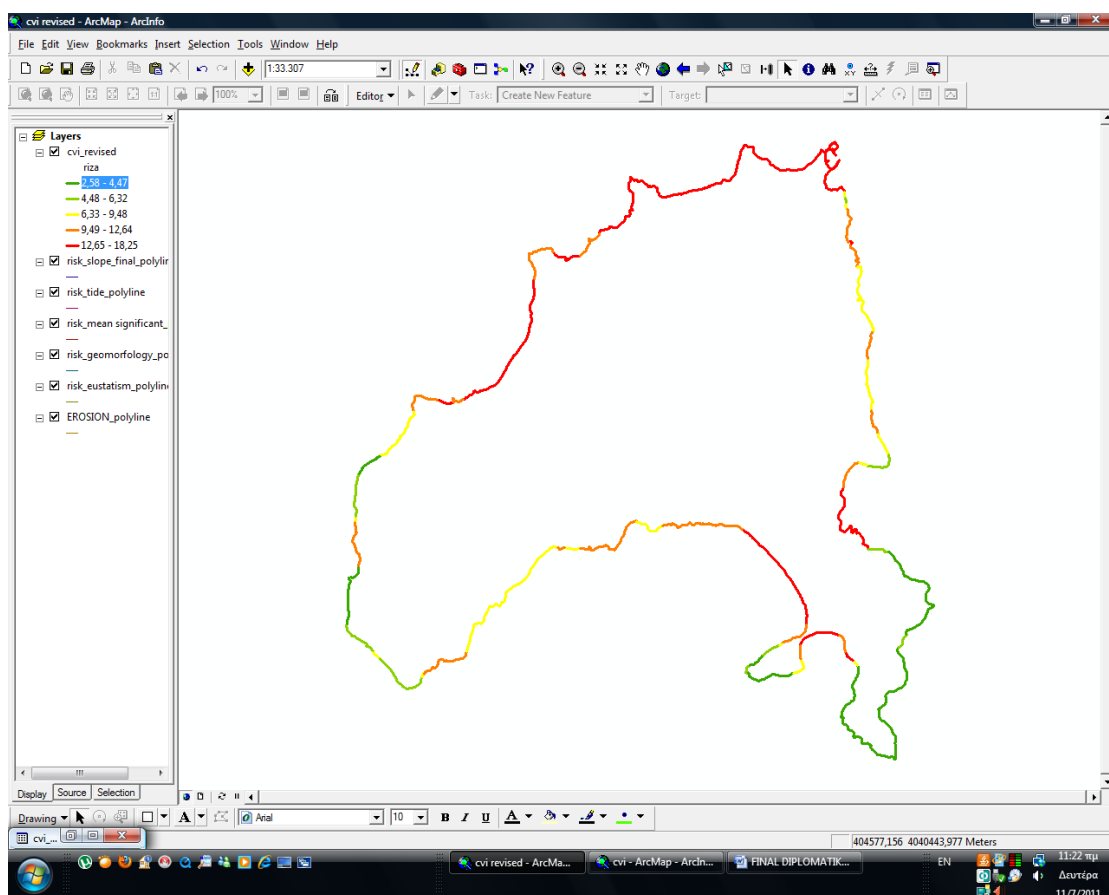
Σχήμα 5: Απεικόνιση της εντολής της χωρικής ανάλυσης. Πηγή: ArcGis help.

Η διαδρομή για την ενεργοποίηση αυτής της εντολής είναι Toolbox~>Analysis Tools~>Overlay~>Intersect. Εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο διαλόγου όπου και εισάγονται όλες οι παράμετροι: risk_erosion, risk_tide, risk_meansignificantwave, risk_slope, risk_geomorphology, risk_eustatism.

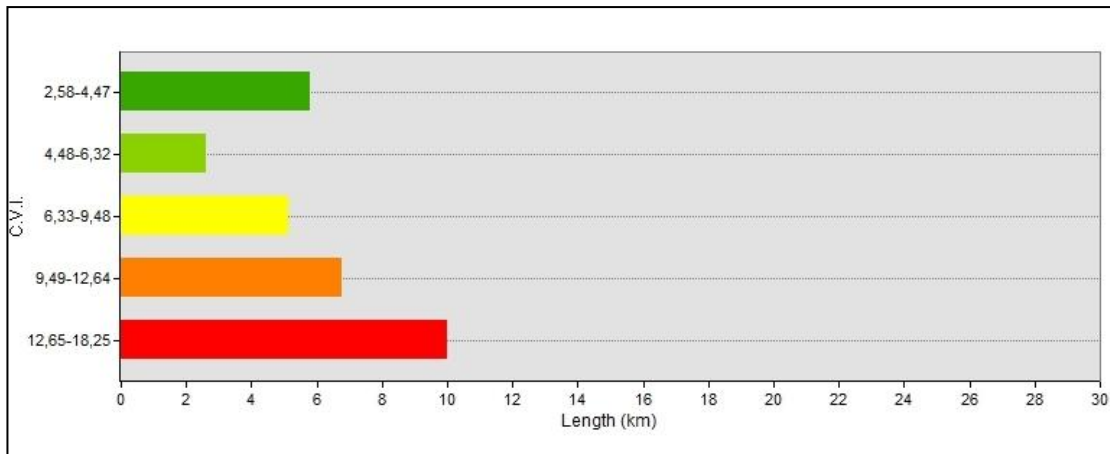


Εικόνα 12: Παράθυρο διαλόγου της εντολής Intersect.

Οι τιμές του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας κυμαίνονται από 2,58 έως 20,41. Έπειτα κατηγοριοποιούνται οι τιμές αυτές σε 5 κλάσεις (βλ. εικόνα 7). Τα τμήματα της ακτογραμμής με τιμές δείκτη από 2,58 έως 5,47 χαρακτηρίζονται ως πολύ χαμηλής τρωτότητας, από 5,48 έως 8,16 χαμηλής, από 8,17 έως 10,95 μέτριας, από 10,96 έως 14,14 υψηλής και τέλος από 14,15 έως 20,41 πολύ υψηλή τρωτότητας ως προς την αναμενόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης.



Εικόνα 13: Κατηγοριοποίηση των τιμών του C.V.I. της ακτογραμμής της Ελαφονήσου σε 5 κλάσεις.



Διάγραμμα 14: Ιστόγραμμα με την κατηγοριοποίηση της τρωτότητας. Στον οριζόντιο άξονα απεικονίζεται το μήκος της ακτογραμμής σε km. Στον κάθετο άξονα ο δείκτης τρωτότητας ομαδοποιημένος σε πέντε κλάσεις επικινδυνότητας (κόκκινο:πολύ υψηλή, πορτοκαλί:υψηλή, κίτρινο: μέτρια, ανοικτό πράσινο:χαμηλή, πράσινο:πολύ χαμηλή).



Χάρτης 15: Χάρτης με τη βαθμονόμηση της Παράκτιας Τρωτότητας για την περιοχή μελέτης

Ο στόχος αυτής της εργασίας είναι ο εντοπισμός των τρωτών έναντι της ανόδου της θαλάσσιας στάθμης τμημάτων της ακτογραμμής στην περιοχή της Ελαφονήσου. Ο εντοπισμός αυτός αποτελεί ένα πρώτο στάδιο χάραξης πολιτικών διαχείρισης της παράκτιας ζώνης με σκοπό τη μελλοντική προστασία των ακτών που χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής λόγω του σημαντικού κοινωνικοοικονομικού τους ρόλου. Η εφαρμογή της μεθοδολογίας μπορεί να αναδείξει τις ιδιαιτερότητες των επιμέρους τμημάτων της ακτογραμμής του νησιού με σκοπό να ληφθούν υπόψη κατά την παράκτια διαχείριση. Θα πρέπει να τονιστεί ότι ο Δείκτης Παράκτιας Τρωτότητας είναι απλώς μια ένδειξη ενδεχόμενης επικινδυνότητας βασισμένη στα ιδιαίτερα φυσικά γεωλογικά και μορφολογικά – περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά της εκάστοτε ακτής.

Στην περίπτωση της Ελαφονήσου όπως φαίνεται και στο χάρτη 15 υπάρχουν περιοχές μεγάλης επικινδυνότητας. Τα τμήματα αυτά γεωγραφικά εντοπίζονται κυρίως στα βόρεια και βορειοδυτικά του νησιού, αλλά και ένα μεγάλο μέρος του όρμου Σαρακίνικο στα νότια. Τα κοινά χαρακτηριστικά των επικίνδυνων ζωνών είναι η γεωμορφολογία τους (σχεδόν το σύνολο αποτελεί αμμώδεις παραλίες) και η μικρή τους μορφολογική κλίση.

Η εφαρμογή του δείκτη έδειξε ότι οι σημαντικότερες παράμετροι που καθορίζουν και διαμορφώνουν τις τιμές του και την κατηγοριοποίηση του νησιού σε περιοχές υψηλής και χαμηλής τρωτότητας είναι η γεωμορφολογία και η παράκτια κλίση.

Όπως αναφέρθηκε για την εκτίμηση του δείκτη χρησιμοποιήθηκαν τα φυσικο-γεωγραφικά χαρακτηριστικά της παράκτιας ζώνης. Σε μια προσπάθεια εκτίμησης των επιπτώσεων από την άνοδο της στάθμης θάλασσας στο ανθρωπογενές περιβάλλον εκτιμήθηκαν τα μήκη των χρήσεων γης κατά μήκος της ακτογραμμής του νησιού και συσχετίστηκαν με τις περιοχές υψηλής τρωτότητας όπως εντοπίστηκαν από τον υπολογισμό του δείκτη.

Όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα η οικιστική περιοχή της Ελαφονήσου εμφανίζει υψηλή έως και πολύ υψηλή τρωτότητα. Αυτό συμβαίνει γιατί το τμήμα αυτό εμφανίζει πολύ μικρή κλίση ενώ παράλληλα βρίσκεται πάνω σε ένα σύστημα παράκτιων αμμοθινών. Ένα πολύ μεγάλο ποσοστό επικινδυνότητας παρουσιάζεται και στα συμπλέγματα καλλιεργειών όπου τα $\frac{3}{4}$ αυτών αναπτύσσονται σε περιοχές που χαρακτηρίζονται ως πολύ υψηλής τρωτότητας.

	ΤΡΩΤΟΤΗΤΑ									
	Πολύ χαμηλή		Χαμηλή		Μέτρια		Υψηλή		Πολύ Υψηλή	
ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ	km	(%)	km	(%)	km	(%)	km	(%)	km	(%)
Διακεκομμένη Αστική Δόμηση	0,00	0	0,045	1,72	0,147	2,83	0,00	0	1,969	25,81
Αγροτικές εκτάσεις με σημ. ποσοστό φυσικής βλάστησης	0,00	0	0,00	0	0,067	1,29	0,571	6,33	1,194	15,65
Θάμνοι και Χορτολιβαδικές εκτάσεις	5,09	87,76	2,262	86,27	4,714	90,9	5,72	63,44	2,721	35,67
Παραλίες/Αμμοθίνες/Αμμώδεις Εκτάσεις	0,71	12,24	0,315	12,01	0,258	4,97	0,552	6,12	1,736	22,76
Συμπλέγματα Καλλιεργειών	0,00	0	0,00	0	0,00	0	2,174	24,11	0,0085	0,11
Σύνολο	5,8	100	2,622	100	5,186	100	9,017	100	7,628	100

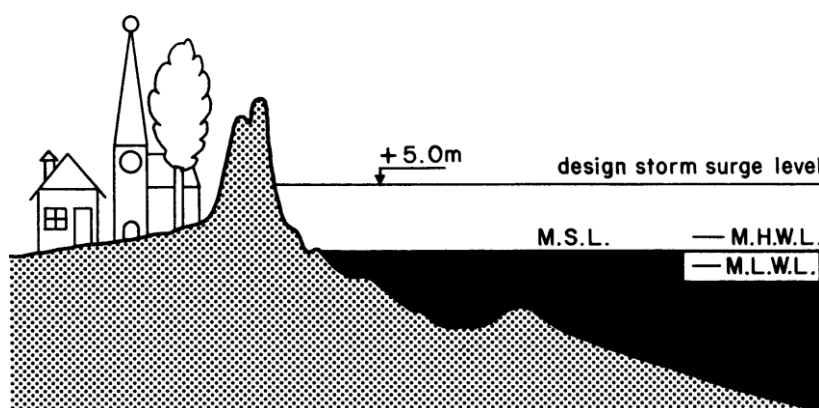
Πίνακας 15: Μήκος ακτογραμμής και τα αντίστοιχα ποσοστά(%) των χρήσεων γης, σε σχέση με τις 5 κατηγορίες του δείκτη παράκτιας τρωτότητας

7. ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΑΜΜΟΘΙΝΩΝ

Δεδομένου ότι ένα από τα κύρια μορφολογικά χαρακτηριστικά της Ελαφονήσου είναι η παρουσία των αμμωδών παράκτιων θινών πίσω από τους αμμώδεις αιγιαλούς στο βόρειο και νότιο τμήμα της ακτογραμμής της κρίθηκε αναγκαία η αναφορά στο ρόλο των θινών ως βασικών γεωμορφών προστασίας των πίσω από αυτές περιοχών από ενδεχόμενες ακραίες ανυψώσεις της θαλάσσιας στάθμης. Επιπλέον παρατίθενται παραδείγματα διατήρησης και διαχείρισης των παράκτιων αυτών γεωμορφών κάνοντας αναφορά σε παραδείγματα από διάφορες περιοχές της Ευρώπης.

7.1.Ο ρόλος των θινών στην αντιπλημμυρική προστασία των παράκτιων περιοχών

Οι παράκτιες αμμοθίνες παίζουν συχνά σημαντικό ρόλο ως φυσικά αντιπλημμυρικά φράγματα. Ενεργούν ως ελαστικά εμπόδια/ φράγματα (barrier) στις καταστροφικές δυνάμεις των κυμάτων και του ανέμου. Οι θίνες απορροφούν την επίδραση των ισχυρών καταιγίδων και των κυμάτων θυέλλης προλαμβάνοντας ή καθυστερώντας την διείσδυση των υδάτων σε περιοχές της ενδοχώρας. Σε πολλά μέρη της δυτικής Ολλανδίας, για παράδειγμα, όπου εκτεταμένες περιοχές γεωργικής γης και αστικής ανάπτυξης βρίσκονται στο ή κάτω από το μέσο επίπεδο της θαλάσσιας στάθμης, το πρωταρχικό αμυντικό σύστημα αποτελείται από αμμώδεις παραλίες και αμμοθίνες (σχήμα 6)



Σχήμα 6: Σχηματική αναπαράσταση ενός τυπικού προφίλ Ολλανδικής Ακτής (Vellinga., 1978).

Μία συνεχής ζώνη των παράκτιων θινών ενεργεί ως εμπόδιο και αποτρέπει την πλημμύρα της περιοχής της ενδοχώρας. Σε πολλές περιπτώσεις οι παράκτιες αμμοθίνες έχουν πολλά πλεονεκτήματα εν συγκρίσει με τα προστατευτικά τείχη:

- Είναι λιγότερο δαπανηρή η διατήρησή τους
- Οι θίνες ενεργούν σαν αποθήκη άμμου που μπορεί να απελευθερώσει άμμο στην ακτή κατά την περίοδο καταιγίδας, βοηθώντας έτσι τη διάχυση της ενέργειας των κυμάτων (Leatherman 1979)
- Είναι πιο ευέλικτες από τα τείχη και μπορούν και προσαρμόζονται σε μεταβαλλόμενες συνθήκες, όπως μια μακροπρόθεσμη πτώση της θαλάσσιας στάθμης.
- Είναι αισθητικά καλύτερες.

Επιπλέον, μολονότι οι θίνες ανακλούν μέρος της κυματικής ενέργειας κατά τη διάρκεια καταιγίδων, ο βαθμός της ανάκλασης των κυμάτων και συνεπώς ο βαθμός έκπλυσης της ακτής είναι λιγότερο σοβαρός από εκείνον που προκαλείται από τα προστατευτικά τείχη (Leatherman.,1979). Η χρήση των παράκτιων αμμοθινών για την θαλάσσια αντιπλημμυρική προστασία απαιτεί να έχουν διατηρηθεί όσο το δυνατό πιο σταθερές. Ως εκ τούτου, συγκρούσεις συμφερόντων συχνά προκύπτουν ανάμεσα στις περιβαλλοντικές ομάδες και τις ομάδες αναψυχής, καθώς για να επιτευχθεί η σταθερότητα των θινών πρέπει να τεθούν περιορισμοί στις ψυχαγωγικές δραστηριότητες.

7.2.Τεχνικές αποκατάστασης των παράκτιων θινών

Η σημερινή υποβάθμιση πολλών αμμοθινικών συστημάτων μπορεί να οφείλεται σε φυσικά αίτια (πλάτος παραλίας, ένταση ανέμου και κυμάτων κ.ά.), αλλά κυρίως αποδίδεται σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες (ποδοπατήματα σε μόνιμα μονοπάτια, συχνή διέλευση τροχοφόρων, τουριστική αξιοποίηση, εκχερσώσεις). Παρακάτω ακολουθούν κάποιες τεχνικές για την αποκατάσταση των παράκτιων θινών.

7.2.1.Η αναπλήρωση του υλικού του αιγιαλού (beach nourishment)

Για την αποκατάσταση των αποθεμάτων άμμου και τη διακοπή της διάβρωσης, τεχνητός εμπλουτισμός δύναται να εφαρμοστεί. Στη Βόρεια Ευρώπη εφαρμόζεται εδώ και 10 χρόνια. Υπάρχουν επίσης παραδείγματα από Πορτογαλία και κάποιες Ισπανικές ακτές (για να

προστατευτούν κτίρια και τουριστικές εγκαταστάσεις). Ο τεχνητός εμπλουτισμός είναι μια ήπια παρέμβαση (συγκριτικά με τις σκληρές τεχνικές λύσεις όπως piers). Οι εμπλουτισμοί ταιριάζουν περισσότερο στο φυσικό δυναμικό χαρακτήρα των αμμωδών ακτών. Όταν ο τεχνητός εμπλουτισμός εφαρμόζεται πρέπει να χρησιμοποιηθεί άμμος με τα ίδια φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά σαν αυτά που ήδη υπάρχουν στο παρόν σύστημα θινών. Στην πράξη η επιλογή του υλικού γίνεται με βάση τη διαθεσιμότητα και το κόστος εξόρυξης και μεταφοράς του υλικού και με βάση τη γενική αρχή τα ίζημα εμπλουτισμού να έχει ένα μέσο κοκκομετρικό μέγεθος (Mz) ίσο ή και μεγαλύτερο από το ίζημα της παραλίας στην οποία θα μεταφερθεί. Η είσοδος (input) φρέσκιας άμμου από την παραλία στις θίνες αποτελεί ένα ζωτικό οικολογικό παράγοντα για τη βλάστηση των θινών.

7.2.2.Η αναδάσωση των θινών

Σε ολόκληρο τον κόσμο η κινητικότητα/mobility των αμμοθινών έχει συχνά θεωρηθεί ως απειλή για τα ανθρώπινα συμφέροντα, και η περιοχή της Μεσογείου δεν αποτελεί εξαίρεση στο θέμα αυτό. Όπως στα περισσότερα μέρη του κόσμου, το αρχικό Μεσογειακό σύστημα θινών περιλαμβάνει μια ποικιλία χαρακτηριστικών, από εμβρυακές θίνες έως ώριμα δάση θινών. Οι θίνες και εδώ πληρώνουν το κόστος της ανθρώπινης υπερεκμετάλλευσης. Αυτόχθονα δάση θινών έχουν καθαριστεί, πεδία αμμοθινών καλλιεργήθηκαν προσωρινά και υπερβοσκήθηκαν. Ως αποτέλεσμα αυτού, το εύθραυστο /fragile σύστημα των θινών εκτίθεται σε έναν πολύ μεγαλύτερο ρυθμό αιολικής διάβρωσης .

Σε ορισμένα μέρη μάλιστα παρατηρείται μετακίνηση των θινών προς την ενδοχώρα , στην γεωργική γη και τα χωριά. Σε τέτοιες περιπτώσεις οι θίνες σταθεροποιήθηκαν με την φύτευση πεύκων (*Pinus Pinea*). Η σχετική επιτυχία αυτών των αναδασώσεων οδήγησε στο συμπέρασμα ότι οι θίνες πρέπει να σταθεροποιούνται με δέντρα, είτε είναι κινητές ή μη. Ως εκ τούτου, περίπου 35000 εκτάρια αμμωδών θινών αναδασώθηκαν στις Μεσογειακές χώρες.

Υπάρχουν 2 σημαντικές απόψεις πάνω στο θέμα της αναδάσωσης που χρειάζονται επανεξέταση. Κατ' αρχάς η πεποίθηση ότι οι αμμόλοφοι πρέπει να είναι πλήρως σταθεροποιημένοι. Η αλήθεια είναι ότι οι αμμοθίνες είναι ένα φυσικό και δυναμικό σύστημα στο οποίο υπάρχει πάντα μια κινητικότητα. Αν η αστάθεια αρχίσει ξαφνικά να αυξάνεται, αυτό είναι το αποτέλεσμα της ανθρώπινης υπερεκμετάλλευσης, ως επί το πλείστον από την υπερβόσκηση ή εξόρυξη άμμου. Η απάντηση σε έναν αυξημένο ρυθμό ανάπτυξης είναι η μείωση της εκμετάλλευσης. Πρακτικά, όμως τις περισσότερες φορές είναι η τεχνητή σταθεροποίηση.

Το δεύτερο είναι η παρανόηση ότι η φυσική βλάστηση των θινών δεν είναι σε θέση να σταθεροποιήσει τις κινητές θίνες. Ως εκ τούτου, τεχνητή σταθεροποίηση συχνά πραγματοποιήθηκε με εξωτικά είδη δένδρων. Για παράδειγμα στην Πορτογαλία άρχισε να γίνεται αναδάσωση με εξωτικά είδη όπως Αυστραλιανά είδη *Eucalyptus* και *Acacias*. Να σημειωθεί ότι αυτές οι αναδασώσεις αποτελούν απειλή για την πανίδα της περιοχής. Μόνο σε λίγα από τα έργα σταθεροποίησης χρησιμοποιήθηκαν γηγενή είδη δέντρων (Meulen, 1996).

7.2.3. Αμμοφράκτες (sand fences)

Αμμοφράκτες διαφόρων τύπων έχουν κατασκευαστεί εδώ και αιώνες για τον έλεγχο της αιολικής διάβρωσης και την προώθηση του σχηματισμού θινών. Να σημειωθεί ότι η αποτελεσματικότητά τους αμφισβητείται από πολλούς γεωμορφολόγους. Οι φράκτες κατασκευάζονται από υλικά όπως ξύλο καστανιάς, ιτιάς ξύλινους πασσάλους, και τα συνθετικά υφάσματα (Savage και Woodhouse 1969). Η επιλογή των υλικών για περιφράξεις θα εξαρτηθεί από την απαιτούμενη διάρκεια, το μήκος της πρόσοψης, τη συντήρηση και τον ενδεχόμενο βανδαλισμό.



Εικόνα 14: Φράκτες (παράλληλοι προς την ακτογραμμή) στο νησί Timbalier

Οι φράκτες αυτοί έχουν τη δυνατότητα επίσης να διατηρήσουν την άμμο μέσα στην περιοχή έπειτα από έργα τεχνητού εμπλουτισμού. Οι φράκτες πρέπει να εγκαθίστανται αμέσως

μετά την κατασκευή ώστε να "αιχμαλωτίσουν " την άμμο, να βοηθήσουν τη δημιουργία αμμοθινών και να μειώσουν την αιολική διάβρωση.

7.3.Προβλήματα διαχείρισης και τεχνικές αποκατάστασης θινών στην Ισπανία

Τα συστήματα θινών είναι η πιο αποτελεσματική και λιγότερο δαπανηρή άμυνα ενάντια στη διάβρωση της ακτογραμμής. Ωστόσο, η απώλεια της βλάστησης που παγιδεύει και συγκρατεί την άμμο κάνει τις θίνες και τον αιγιαλό πιο ευπαθή στην αιολική διάβρωση. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν δυσμενείς συνέπειες στις θίνες με τον τουρισμό, τις οδικές κατασκευές, την καλλιέργεια, την υπερβόσκηση επιταχύνοντας ή επιδεινώνοντας την φυσική φθορά των θινών και καταστρέφοντας τη φυτοκάλυψη.

Τα αίτια υποβάθμισης των θινών στην Ισπανία έχουν αναλυθεί από διάφορους ερευνητές. Οι κύριες αιτίες για την υποβάθμιση των θινών στην Ισπανία είναι οι παρακάτω:

Μαζική τουριστική ανάπτυξη

Κατασκευές δρόμων και λεωφόρων

Εξόρυξη θινών

Διάσπαση της συνέχειας τους (κατακερματισμός των περιοχών των θινών)

Πίεση από τις ψυχαγωγικές δραστηριότητες

Ανθρώπινη καταπάτηση

Οχήματα off road και χώροι στάθμευσης

Γεωργικές πρακτικές και αναδάσωση

Απόρριψη σκουπιδιών και μπάζων

Άντληση νερού

Έργα πολιτικού μηχανικού

Στρατιωτική χρήση

Στην Ισπανία , η μεγάλης κλίμακας αστική ανάπτυξη που πραγματοποιήθηκε στις αμμώδεις θίνες κατά τη διάρκεια της τουριστικής ανάπτυξης της δεκαετίας του 60 και 70 προκάλεσε την

καταστροφή πολλών συστημάτων θινών. Ως αποτέλεσμα αυτής της μαζικής "κατάληψης" των θινών, το μεγαλύτερο μέρος της Ισπανικής ακτογραμμής άρχισε να δείχνει σημάδια εκτενούς διάβρωσης, ιδίως στα περισσότερα τουριστικά σημεία.

Πριν το 1988 οι παράκτιες θίνες της Ισπανίας ήταν τελείως απροστάτευτες. Το 1988 ο Ισπανικός νόμος για τις ακτές ("Ley de Costas") ψηφίστηκε με στόχο τη ρύθμιση των παράκτιων δραστηριοτήτων και να εμποδίσει όσο το δυνατόν περισσότερο την καταστροφή. Ο ισπανικός νόμος για τις ακτές προστατεύει όλες τις παράκτιες θίνες, απογορεύοντας ουσιαστικά την εξόρυξη άμμου, ανάπτυξη δημοσίου και ιδιωτικού τομέα και επίσης αλλάζει τις χρήσεις γης. Εντούτοις, ο νόμος αυτός δεν εμποδίζει κάποιες από τις παραπάνω δραστηριότητες να εμφανιστούν. Επιπλέον, η πολυπλοκότητα των ορίων των διαφορετικών αρχών που εμπλέκονται στην παράκτια πολιτική διαχείρισης των ζωνών (Πολιτειακή Κυβέρνηση, Επαρχιακή Κυβέρνηση, Δήμος, Στρατός) καθιστά δύσκολη την ολοκληρωμένη διαχείριση των θινών.

Σε γενικές γραμμές, τη στιγμή που οι κύριες αιτίες της υποβάθμισης των θινών αρχίζουν να μετριάζονται, ήπιες τεχνικές όπως παγίδευση άμμου, φύτευση κατάλληλων γηγενών ειδών, φράκτες και τέλος περιβαλλοντική ενημέρωση, φαίνεται να είναι πολύ αποτελεσματικές ενάντια στην υποβάθμιση των θινών.

Οι εικόνες που ακολουθούν από τους GÓMEZ-PINA(1999) είναι αντιπροσωπευτικές της υποβάθμισης των θινών στην ακτή La Bota. Στην εικόνα 10 φαίνεται η καταστροφή της αμμοθίνας από off road οχήματα και την χρήση της ως μονοπάτι για τους παραθεριστές.



Εικόνα15:τυπική καταστροφή θίνας από off road οχήματα και πεζούς (Huelva, Spain) Gomez –Pina 1997

Στην εικόνα 5 φαίνεται ο δημόσιος δρόμος που διασχίζει τις θίνες κάθετα. Η κατάργηση αυτού του δρόμου είναι μέρος ενός πολύ φιλόδοξου ολοκληρωμένης διαχείρισης των θινών σχεδίου που πραγματοποιείται από την Εθνικής Ισπανικής Διεύθυνσης Ακτών του Υπουργείου Περιβάλλοντος.



Εικόνα 16: Δρόμος κατά μήκος της παραλίας La Bota (Huelva, Spain), Gomez –Pina 1997 Αυτή η εικόνα δείχνει το δημόσιο δρόμο να διασχίζει τις θίνες κάθετα.

Παραδείγματα έργων αποκατάστασης θινών στην Ισπανία

Πολλά έργα για την αποκατάσταση των θινών έχουν διεξαχθεί στην Ισπανία τα τελευταία χρόνια (Colmenar 2000), μερικά αντιπροσωπευτικά παραδείγματα παρουσιάζονται παρακάτω. Οι περιπτώσεις αυτές τοποθετούνται στη θάλασσα Cantabrian και τη Μεσόγειο .

Somo spit, (Santander, Cantabrian)

Ο γλωσσοειδής βραχίονας Somo, που βρίσκεται στο Santander (Cantabrian sea), είναι ένας πολύ λεπτός σχηματισμός στον κόλπο Santander. Οι διαστάσεις του spit είναι περίπου 2.500m μήκος και 150m πλάτος. Στο κεντρικό τμήμα ένα σύστημα θινών σχηματίζεται , ενεργώντας ως ρυθμιστής έναντι στα κύματα υψηλής ενέργειας καταιγίδας, αποτρέποντας ή καθυστερώντας τη διείσδυση νερού και ιζήματος στις ηπειρωτικές περιοχές . Αυτή η φυσική γεωμορφή έχει υποστεί σημαντικούς μετασχηματισμούς που οφείλονται σε φυσικές διεργασίες , καθώς και ανθρωπογενείς δραστηριότητες (λιμάνι Santander , αστική ανάπτυξη κτλ.).

Από το 1992 τα έργα αποκατάστασης των θινών τα οποία πραγματοποιήθηκαν σε διάφορες φάσεις που συνίστανται στην ενίσχυση του υποβαθμισμένου συστήματος θινών με τη χρήση ξύλινων παγίδων άμμου σε συνδυασμό με φύτευση δενδρυλλίων από γειτονικές αμμοθίνες . Περίφραξη χρησιμοποιήθηκε σε ευαίσθητες περιοχές για να μειωθούν οι συνέπειες της ανθρώπινης καταπάτησης. Υπερυψωμένα μονοπάτια για την πρόσβαση στην παραλία τοποθετήθηκαν κοντά σε περιοχές πάρκινγκ, ιδιωτικές και δημόσιες εγκαταστάσεις για να αποφύγουν τη φθορά των θινών από την κυκλοφορία των πεζών. Τέλος, ενημερωτικές αφίσες τοποθετήθηκαν σε κατάλληλες θέσεις για να ενημερώσουν τους επισκέπτες για την περιβαλλοντική αξία των αμμοθινών και τα έργα αποκατάστασης στο μέρος.

Liencre's spit

Το Liencres spit, που βρίσκεται στην εκβολή του ποταμού Pas και είναι από τις πιο σημαντικές γεωμορφές στην θάλασσα Cantabrian, όχι μόνο για τις μεγάλες διαστάσεις της , αλλά και για τη φυσική της και οικολογική της αξία. Το Liencres έχει υποστεί μια συνεχή διαδικασία υποβάθμισης που οφείλεται στην παλαιότερη εκτεταμένη εξόρυξη άμμου , την υπερβολική τουριστική πίεση και επίσης την εμφάνιση δυσμενών ανεμολογικών συνθηκών, παλίρροιων και καταιγίδων. Ως εκ τούτου, το μέτωπο της θίνης υπεσκάφη και κατέρρευσε , αφού είχε ήδη χάσει βλάστηση και ήταν ιδιαίτερα τρωτό. Οι εργασίες αποκατάστασης των θινών που έληξαν το 1999, περιείχαν όπως και στην παραπάνω περίπτωση τη χρήση παγίδων άμμου (sand trappers), αναδάσωση, περιφράξεις , κατασκευή υπερυψωμένων μονοπατιών και ενημερωτικές αφίσες.



Εικόνα 17: Υπερυψωμένα μονοπάτια και φράκτες στο Liencres spit(Cantabrian, Spain)

Cuchía beach (Miengo, Cantabrian)

Ως αποτέλεσμα της παλαιότερης εξόρυξης άμμου, της ανθρώπινη καταπάτησης και της παράνομης ρίψης απορριμμάτων στην παραλία Cuchía, οι θίνες είχαν χάσει κάθε είδος βλάστησης παρουσιάζοντας μια πολύ υποβαθμισμένη κατάσταση. Μετά τις εργασίες καθαρισμού, οι θίνες αποκαταστάθηκαν με επαρκή εμπλουτισμό με υλικό από το γειτονικό εσωτερικό κόλπο. Τέλος , παγιδευτές άμμου σε συνδυασμό με αναδάσωση χρησιμοποιήθηκαν για τη σταθεροποίηση των θινών.

La Lanzada isthmus (O Grove, Galicean)

Ο ισθμός La Lanzada είναι μια από τις πιο εμβληματικές παραλίες στην επαρχία της Pontevedra. Η άμεση επιβάρυνση για την παραλία που προκλήθηκε από τον τουρισμό και το κακό οδικό δίκτυο που διέσχισε τη θίνη, έκανε το όλο σύστημα θινών και την παραλία πολύ ευάλωτη/ τρωτή. Ο στόχος του σχεδίου αποκατάστασης των θινών είχε πολλές προκλήσεις αφού προσπαθούσε να εξαλείψει το βασικό πρόβλημα των θινών και να ενισχύσει τις πρωτογενείς θίνες. Η κατεδάφιση του υφιστάμενου οδικού δικτύου κατά μήκος των θινών και η κατασκευή ενός εναλλακτικού δρόμου στην ενδοχώρα, μακριά από τις θίνες, προκάλεσε μια κοινωνική αναταραχή αλλά τελικά έγινε αποδεκτή. Περίφραξη, αναδάσωση και αμμοφράκτες χρησιμοποιήθηκαν για την αποκατάσταση των περιοχών των θινών που καταστράφηκαν από τους δρόμους. Η φθορά στις θίνες από την κυκλοφορία πεζών αποφεύχθηκε από την χρήση υπερυψωμένων μονοπατιών τα οποία κατασκευάστηκαν παράλληλα και κάθετα στην παραλία. Επιλεγμένες περιοχές περιφράχτηκαν και εκπαιδευτικές αφίσες αναρτήθηκαν και μοιράστηκαν σε παραθεριστές και κατοίκους.



Εικόνα 18:Η παραλία La Lanzada (Pontevedra, Spain) πριν την αποκατάσταση των θινών

Valdevaqueros Dunes (Tarifa, Cadiz)

Τα ειδικά χαρακτηριστικά αυτών των κινητών αμμοθινών (mobile dunes) μαζί με τη φυσική και γραφική αξία του όρμου Valdevaqueros αποτελούν πόλο έλξης χιλιάδων τουριστών. Ο συχνός τοπικός άνεμος Levante δημιουργεί υψηλές ταχύτητες ανέμου έως 100km/hr. και η υψηλή αιολική διαμήκης μεταφορά είναι υπεύθυνη για την δημιουργία τεράστιων αμμοθινών στη βόρεια πλευρά της παραλίας. Το ανεμολογικό καθεστώς και οι χαμηλές βροχοπτώσεις, σε συνδυασμό με την άμεση επιβάρυνση που προκαλείται από τους επισκέπτες των αμμόλοφων, κατέστησαν δύσκολη την εγκατάσταση μόνιμης βλάστησης στις αμμοθίνες. Αυτό είχε σαν

αποτέλεσμα ο αμμόλοφος να γίνει ασταθής, γεγονός που το αποδεικνύει και η συνεχής μαζική μετακίνηση προς την κατεύθυνση ενός παρακείμενου πευκοδάσους.

Οι εργασίες αποκατάστασης των θινών ξεκίνησαν με την αναμόρφωση του προφίλ των αμμόθινων, προκειμένου να επιτευχθεί καλύτερη αεροδυναμική σταθερότητα (aerodynamic stability) με την πειραματική χρήση διαμήκων αμμοφρακτών από ξύλο ιτιάς για να μειωθεί η διάβρωση. Επίσης, πειραματικές τεχνικές φύτευσης χρησιμοποιήθηκαν κατά μήκος ορισμένων δυνητικά σταθερών περιοχών.



Εικόνα 19 :Άποψη της αποκατάστασης των εσωτερικών θινών στο Valdevaqueros (Cádiz, Spain)

Guadalquítan Beach (San Roque, Cádiz)

Η παραλία Guadalquítan βρίσκεται στον ποταμόκολπο/ εστουάρα (estuary) Guadiaro στη θάλασσα της Μεσογείου, κάτω από την επιρροή των υδάτων από τα στενά του Γιβραλτάρ. Το έργο αποκατάστασης των θινών ήταν μόνο ένα μέρος ενός ολοκληρωμένου σχεδίου για τη βελτίωση της διαχείρισης των παράκτιων ζωνών στις εκβολές του Guadiaro, που περιελάμβανε: καθαρισμό απορριμμάτων, βελτίωση της ποιότητας των υδάτων, αποκατάσταση των υγροτόπων, περίφραξη ευαίσθητων περιοχών, βελτίωση της πρόσβασης του κοινού, παρατηρητήρια πτηνών στη θάλασσα, τεχνητό εμπλουτισμό της παραλίας και ενίσχυση των αμμοθινών. Νέες μέθοδοι παγίδευσης άμμου χρησιμοποιήθηκαν καθώς επίσης και φύτευση αυτόχθονης βλάστηση κάτω από κρίσιμες κλιματικές συνθήκες (η ετήσια απορροή είναι μικρότερη από 250 χιλιοστά).



Εικόνα20: Ο ποταμός Guadiaro και η παραλία Guadalquítón.

(http://hispagua.cedex.es/documentacion/documentos/Variabilidad_r%C3%ADo_Guadiaro.pdf)

7.4. Παραδείγματα έργων αποκατάστασης θινών στην Πορτογαλία

Γήπεδο γκολφ Estela, δήμος Povoá do Varzim

Το γήπεδο αυτό τοποθετείται περίπου 9km βόρεια από το λιμάνι της πόλης Estela, νότια μιας προστατευόμενης περιοχής. Βρίσκεται κατά μήκος της βορειοδυτικής ακτής της Πορτογαλίας μέρος ενός συστήματος θινών μήκους 3km.

Η πρώτη καταγεγραμμένη παρέμβαση έγινε την περίοδο 1 με 12 Απριλίου του 1999, η οποία αποτελούνταν από στοχευμένη ενίσχυση των θινών με σταθεροποίηση των αποθέσεων άμμου με ξύλινους πασσάλους και μικρά σακιά άμμου βάρους 5kg (εικόνα 10) (Veloso- Gomes et al., 2006).



Εικόνα 21: Σταθεροποίηση θινών με ξύλινους πασσάλους και σακιά άμμου (http://copranet.projects.eucc-d.de/files/000147_EUROSION_Estela.pdf)

Τον Οκτώβριο του ίδιου έτους έγινε μια παρόμοια παρέμβαση καθώς η θίνα έδειχνε προχωρημένα σημάδια διάβρωσης με ένα λόφο που είχε δημιουργηθεί από τη διάβρωση πολύ κοντά στο φράκτη του γηπέδου. Μέχρι το τέλος του 1999/2000 είχαν γίνει ήδη άλλες δύο παρεμβάσεις. Αυτές συμπληρώθηκαν και από την εγκατάσταση αμμοφρακτών για να ενισχύσουν το ανεμολογικό καθεστώς.

Στις αρχές της χειμερινής περιόδου του 2000/2001, μετά τις παλίρροιες του Σεπτεμβρίου, η θίνη είχε σχεδόν καταστραφεί εξαιτίας κυμάτων θύελλας. Επίμονες καταιγίδες, προκάλεσαν μια σειρά καταστροφικών γεγονότων για την θίνη.

Ο Δεκέμβριος του 2000 σηματοδότησε την αρχή μιας νέας τεχνικής για την παράκτια προστασία. αυτή τη φορά επιλέχθηκε μια πιο σταθερή τεχνική ενίσχυσης. Η παρέμβαση αυτή γινόταν σε 3 διαφορετικά μήκη 350m, 70m και 50m, και αποτελούνταν από την τοποθέτηση ενός γεωυφάσματος και 1m³ δοχεία άμμου κατά μήκος κλίσης 45°. Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται κάποια στάδια από την εκτέλεση των εργασιών – πέρασμα εσκαφέα από τη θίνη, τοποθέτηση και στερέωση του γεωυφάσματος, εγκατάσταση των container άμμου.



Εικόνα 22: Προετοιμασία του εδάφους από εσκαφέα στη θίνη http://copranet.projects.eucc-d.de/files/000147_EUROSION_Estela.pdf



Εικόνα 23: Η τοποθέτηση των γεωυφασμάτων http://copranet.projects.eucc-d.de/files/000147_EUROSION_Estela.pdf



Εικόνα 24 :Η τοποθέτηση των δοχείων άμμου
http://copranet.projects.euccd.de/files/000147_EUROSION_Estela.pdf

Τον Οκτώβρη και το Δεκέμβρη του 2001 καθώς και το Μαίο του 2002, νέα δοχεία άμμου τοποθετήθηκαν στην κατωφέρεια της αμμοθίνας, τα γεωφάσματα όμως που υπόκειντο δεν αλλάχθηκαν. Η τεχνική αυτή εφαρμόστηκε από το τμήμα μηχανικών του πανεπιστήμιου του Πόρτο.

8.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η εκτίμηση του δείκτη παράκτιας τρωτότητας στην Ελαφώνησο επιχειρεί να αποτελέσει μια πιλοτική εφαρμογή της μεθοδολογίας που πρωτοεμφανίστηκε στις ΗΠΑ προσαρμοσμένη όμως στα δεδομένα και τα χαρακτηριστικά του Μεσογειακού παράκτιου χώρου.

Οι παράμετροι εκείνες που ουσιαστικά καθορίζουν τη γεωγραφική διαφοροποίηση των της τελικής τιμής του δείκτη είναι η γεωμορφολογία και η μορφολογική κλίση της παράκτιας ζώνης. Αντίθετα ο κυματισμός, η παλίρροια και ο ρυθμός ανόδου της θαλάσσιας στάθμης δεν διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη διαφοροποίηση του δείκτη στα επιμέρους τμήματα της ακτογραμμής.

Από την εφαρμογή του Δ.Π.Τ. διαπιστώνουμε ότι ένα μεγάλο κομμάτι της ακτογραμμής εμφανίζει πολύ υψηλή τρωτότητα και μάλιστα η οικιστική ζώνη της Ελαφονήσου ανήκει σε αυτό. Τα τμήματα υψηλής και πολύ υψηλής τρωτότητας εντοπίζονται κυρίως στα βόρεια, βορειοδυτικά της νήσου καθώς και στο ανατολικό μέρος του όρμου Σαρακίνικου. Οι περιοχές με μεγάλη κλίση εμφανίζουν γενικά από πολύ χαμηλή έως και μέτρια τρωτότητα.

Ένα πολύ μεγάλο ποσοστό (74,52%) των συμπλεγμάτων καλλιέργειών παρουσιάζει πολύ υψηλή τρωτότητα γεγονός που αποκαλύπτει πως η μελλοντική άνοδος της θαλάσσιας στάθμης θα πλήξει σοβαρά την γεωργική παραγωγή του νησιού. Επιπλέον, το 93,24% της οικιστικής ζώνης ανήκει στη ζώνη υψηλής τρωτότητας κι αυτό λόγω της χαμηλής κλίσης και του εδάφους στο οποίο εδράζει. Η υποβάθμιση και καταστροφή του πεδίου αμμοθινών αποτελεί έναν επιπλέον αρνητικό παράγοντα.

Ο δείκτης παράκτιας τρωτότητας αποτελεί ένα απλό και πρακτικό εργαλείο για μια πρώτη προσπάθεια εντοπισμού των τρωτών στην ενδεχόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης παράκτιων ζωνών, η συστηματική παρακολούθηση είναι όμως απαραίτητη για την αξιοπιστία των ενδείξεων. Τα δεδομένα του δείκτη μπορούν να ενημερώνονται και να ανανεώνονται συνεχώς για κάθε τμήμα της ακτογραμμής ενώ μπορούμε και να προσθέσουμε και νέες παραμέτρους οι οποίες θεωρείται ότι παίζουν ρόλο στην ουσιαστική κοινωνική τρωτότητα της ακτογραμμής. Οι παράμετροι αυτές μπορούν να αφορούν κοινωνικές μεταβλητές όπως η παράκτια συγκέντρωση πληθυσμού ή το ποσοστό υποδομών διαφόρων τύπων κατά μήκος της παράκτιας ζώνης δίνοντας και μια άλλη διάσταση κοινωνική και οικονομική ή περιβαλλοντική στην τρωτότητα. Σε κάθε περίπτωση πάντως βασική προϋπόθεση για την ορθή λειτουργία του δείκτη είναι η αξιοπιστία και η ανάλυση των δεδομένων.

Περισσότερο από οποιαδήποτε άλλη μέθοδο μείωσης των απωλειών, η επιτυχία του σχεδιασμού χρήσεων γης εξαρτάται από την επιλογή των μηχανισμών μετρίασης της

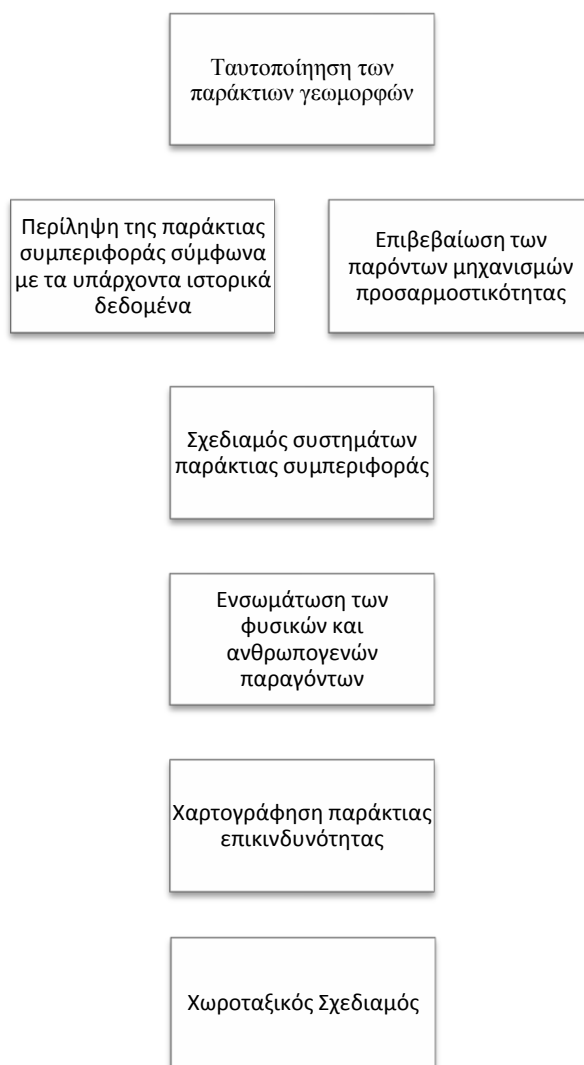
καταστροφής. Παρόλ' αυτά όμως, ο σχεδιασμός χρήσεων γης σπάνια εφαρμόζεται στην πραγματικότητα λόγω του ότι πολλές φορές έρχεται σε αντίθεση με οικονομικά συμφέροντα και προκαλεί αντιδράσεις. Οι κύριες αιτίες που οδηγούν στην παρεμπόδιση της εφαρμογής του σχεδιασμού χρήσεων γης είναι οι ακόλουθες: η έλλειψη γνώσης σχετικά με τον τύπο, το χώρο εμφάνισης, την περίοδο επανάληψης και το δυναμικό ενός καταστροφικού φαινομένου, η παρουσία μεγάλης ανάπτυξης, ο αργός ρυθμός επανάληψης ορισμένων φαινομένων που καθιστά δύσκολή την κοινωνική αφύπνιση και την εγκατάλειψη των ζωνών κινδύνου, το υψηλό κόστος χαρτογράφησης των καταστροφών, το υψηλό κόστος εφαρμογής πολλών μέτρων εξομάλυνσης των καταστροφών, η κοινωνική, οικονομική και πολιτική αντίσταση στον έλεγχο των χρήσεων γης.

Ο σχεδιασμός των χρήσεων γης είναι απαραίτητος σε κοινωνίες που ακόμα μεγαλώνουν και κατέχουν μη αναπτυγμένες περιοχές. Η επιτυχία των τεχνικών διαχείρισης εξαρτάται επίσης από τη διαθεσιμότητα πληροφοριών για τον καθορισμό των επικίνδυνων ζωνών. Ο ακριβής καθορισμός των ζωνών αυτών διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο όσον αφορά την αποδοχή από το κοινό των κανονισμών χρήσεων γης και κατά συνέπεια κανονισμοί που αφορούν φυσικές καταστροφές όπως οι πλημμύρες. Ο σχεδιασμός των χρήσεων γης είναι το κλειδί για την αποφυγή πολλών φυσικών καταστροφικών φαινομένων. Η προσέγγιση αυτή θα τύχει ακόμα μεγαλύτερης σημασίας στο μέλλον σαν αποτέλεσμα της εφαρμογής νέας τεχνολογίας για τη χαρτογράφηση των ζωνών κινδύνου η οποία με τη σειρά της αποτελεί το κλειδί για την ορθολογικότερη διαχείριση της γης.

Τα παράκτια οικοσυστήματα υποστηρίζουν όλη την ανθρώπινη ζωή και δραστηριότητα. Τα προϊόντα και οι υπηρεσίες που παρέχουν είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση της ευημερίας, αλλά και για τη μελλοντική οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη. Η άνοδος της θαλάσσιας στάθμης συνεπάγεται σοβαρές επιπτώσεις στις παράκτιες ζώνες και πρέπει να αποτραπούν αποτελεσματικά καθώς το κόστος από τη σύσταση προγράμματος πρόληψης και μετριασμού του φαινομένου θα είναι συγκριτικά μικρότερο από τις δαπάνες για την εκ των υστέρων αποκατάσταση των απωλειών.

Η εκτίμηση της τρωτότητας των παράκτιων ζωνών αποτελεί ένα σύνθετο ζήτημα και χρειάζεται διεπιστημονική προσέγγιση. Παρακάτω ακολουθεί σχεδιάγραμμα με ενδεικτικά βήματα, τα οποία θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε μια ορθολογική διαχείριση της ακτής. Ανάλογα με το στάδιο, συμμετέχουν και διαφορετικοί επιστημονικοί αλλά και τοπικοί φορείς.

Θα πρέπει εδώ να τονιστεί και η σημασία της δημιουργίας μιας πολυεπίπεδης βάσης δεδομένων με τη χρήση Γ.Σ.Π. στην οποία θα μπορούν να έχουν πρόσβαση όλοι οι φορείς.



Σχήμα 7:Ενδεικτικά στάδια διαχείρισης παράκτιων ζωνών. (Προσωπική Επεξεργασία)

Όσον αφορά τα αμμοθινικά συστήματα, αυτά πρέπει να εξυπηρετούν τις ανάγκες του πολίτη όπου αυτό είναι εφικτό, ενώ ίσως σε πολύ υποβαθμισμένα συστήματα θα πρέπει να απαγορεύεται η πρόσβαση. Ο διαχειριστής για να επιτύχει την βιώσιμη και αν είναι εφικτό αειφόρο χρήση των θινών δε θα πρέπει να επηρεάζεται από εξωγενείς παράγοντες και θα πρέπει να διαθέτει ένα μακροπρόθεσμο και ποτέ βραχυπρόθεσμο όραμα.

Καλό θα ήταν για την αποκατάσταση των θινών και της διάβρωσης να χρησιμοποιούνται οι ήπιες λύσεις και όχι οι βαριές μηχανικές λύσεις που μπορεί να μεταβάλλουν τις υδροδυναμικές

συνθήκες κοντά στην ακτογραμμή και να οδηγήσουν είτε σε οπισθοχώρηση είτε σε προέλαση της ακτογραμμής.

Αυτό που αποτελεί εν τέλει την εγγύηση για τη διατήρηση και την προστασία των παράκτιων ζωνών είναι η συνεχή ενημέρωση της τοπικής κοινωνίας και η ενεργός συμμετοχή τους στην προοπτική βιώσιμης διαχείρισης των σημαντικών αυτών περιοχών για την ισορροπία της φύσης. Εφόσον οι πολίτες έχουν αντιληφθεί την περιβαλλοντική αξία του παράκτιου συστήματος θα είναι αυτοί που θα αναλάβουν την προστασία του και την αποκατάσταση του.

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

BP: Before Present

CVI: Coastal Vulnerability Index

DEM: Digital ElevationModel

EPA: Environmental Protection Agency

FEMA: Federal Emergency Management Agency

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

Γ.Σ.Π.:Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών

Δ.Π.Τ.: Δείκτης Παράκτιας Τρωτότητας

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Γιαννίτσaros Α.1969. . Συμβολή εις την γνώσιν της χλωρίδος και βλαστήσεως της νήσου των Κυθήρων. Διδακτορική Διατριβή. Πανεπιστήμιο Αθηνών

Δουκάκης Ε. Φυσικές καταστροφές και Παράκτια ζώνη.

Καρύμπαλης Θ. Ευθύμιος., 2010. Παράκτια Γεωμορφολογία. Εκδόσεις ΙΩΝ

Κουτσόπουλος Κ., Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και Αναλύση Χώρου, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα, 2002.

Λέκκας Ευθύμιος., 2000, Φυσικές & Τεχνολογικές Καταστροφές

Λέκκας Π, Ζαμπετάκη –Λέκκα Α. Γεωλογικές Παρατηρήσεις στην Ελαφώνησος. Δελτίον της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τόμ. 20, Αρ. 1 (1988)

Μαντόγλου Α.(2001),"Διαχείριση παράκτιων ζωνών",Σ.Α.Τ.Μ., ΕΜΠ., ΑΘΗΝΑ

Νικολάκη Ι. Δημητρίου (2002) Κλιματολογία, μια σύγχρονη επιστήμη του περιβάλλοντος

Ευθυμία-Βερυκίου Παπασπυριδάκου (1986) Γεωμορφολογική μελέτη της περιοχής Ακρωτηρίου Μαλέα –Ελαφονήσου- Κυθήρων-Αντικυθήρων-Γραμβούσας

Συμεωνίδης, Ν. Κ Στρωματογραφικά και παλαιοντολογικά έρευναι επί των Νεογενών σχηματισμών της Λακωνίας, ιδία των περιοχών Νεαπόλεως (Επαρχίας Επιδαύρου Λιμηράς) και της έναντι κειμένης νησίδος Ελαφονήσου. Αθήνα : Πανεπιστήμιο Αθηνών, 1969

Χάλαρης Γεώργιος , Χάρτες Γενικής Χρήσης και Ψηφιακοί Χάρτες, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, ΠΣΕ Περιβαλλοντικής Χαρτογραφίας , Μυτιλήνη, 2001.

Χατζόπουλος Ιωάννης Ν., Τοπογραφία, Εκδόσεις Β. Γκιούρδας, 2006

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΚΑΛΛΙΚΡΑΤΗΣ ΦΕΚ Α87 - 07/06/2010

Διοικητικές μεταβολές / ΟΤΑ Κ. Ελαφονήσου Ν. Λακωνίας ΦΕΚ 75Α - 24/03/1949

ΔΙΕΘΝΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Adger, W. N. and Kelly, P. M.: 1999, 'Social Vulnerability to Climate Change and the Architecture of Entitlements', *Mitigation Adaptation Strategies Global Change* **4**, 253–256.

ALEXANDRAKIS, G., KARDITSA, A., POULOS, S., GIONIS, G. & N. KAMPANIS (2009). Assessment of the Aegean coast vulnerability to sea-level rise. *Proceedings of the 9th Pan-Hellenic Symposium on Oceanography and Fisheries*, vol. I, 327-332 pp.

Bard, Edouard, et al. (1990). "Calibration of the 14C Timescale over the Past 30,000 Years Using Mass Spectrometric U-Th Ages from Barbados Corals." *Nature* **345**: 405-410.

BOWER BT AND TURNER RK. 1998. Characterising and analysing benefits from integrated coastal management. *Ocean Coast Manage* 38: 41– 66.

Burrough P.A., Principles of Geographic Information Systems for Land Assessment, Oxford University Press, New York, 1986.

Capobianco M, de Vriend H, Nicholls R, Stive MJF, 1999, Coastal area impact and vulnerability assessment: the point of view of a morphodynamic modeller, *Journal of Coastal Research*, 15(3), 701-716.

Carter, R.W.G. 1988. Coastal Environments. Academic Press, London

CHATZIELEFThERIOU, M., ALEXANDRAKIS, G., POULOS, S., GAKI-PAPANASTASSIOU, K. & H.MAROUKIAN (2007). Assessment of vulnerability to a future sea-level rise of the E and NE coast of Attica. *Proceedings of the 8th Pan-Hellenic Geographical Conference*, vol. 1, 298-305 pp.

Conispoliatis N. & Perissoratis C The impacts of sea-level changes during latest Pleistocene and Holocene times on the morphology of the Ionian and Aegean seas (SE Alpine Europe).

Cooper, N.J., Legget, D.J. & Loewe, J.P. (2000) Beach profile management, theory and analysis: practical guidance and applied case studies. *Journal of the chartered Institution of Water Environmental Management* 14 79-88

Demers M., Fundamentals of Geographic Information Systems (second edition), John Wiley & Sons Inc., USA, 2000.

Gunton, A. (1997) Upper foreshore and sea wall stability. Jersey channel Islands. *Journal of coastal research*

EPA, 1989: The Potential Effects of Global Climate Change on the United States. Report to Congress. Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency. EPA 230-05-89-052.

Fairbanks, R.G., 1989. A 17,000 year glacio-eustatic sea level record: influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep ocean circulation. *Nature*, 342, 637-642.

Flemming N.C., 1979-1980. Archaeological indicators of sea level. In: Les indicateurs de niveaux marins, seminaire du 2 Decembre 1978. Oceanis. Fasc. Hors –Serie 5, 149-166

GAKI-PAPANASTASSIOU, K. (1991). Geomorphic evolution of the broader Argive plain area during the Quaternary. *Phd Thesis*, University of Athens.

GAKI-PAPANASTASSIOU, K., KARYMBALIS, E. & A. SENI (2005). Potential impacts of the expected sea-level rise during the present century on the Argive plain (Peloponnese). *Proceedings of the 3rd Pan-Hellenic Conference on Coastal Zone management*, 213-223.

GORNITZ, V.M., DANIELS, R.C., WHITE, T.W. & K.R. BIRDWELL (1994). The development of a coastal vulnerability assessment database, Vulnerability to sea-level rise in the U.S. southeast. *Journal of Coastal Research, Special Issue No. 12*, 327-338.

HAFEMANN, D. 1960: Anstieg des Meeresspiegels in geschichtlicher Zeit. *Umschau* (7): 193-196.

HAMMAR-KLOSE, E.S. & E.R. THIELER (2001). Coastal Vulnerability to Sea-Level Rise, A Preliminary Database for the U.S. Atlantic, Pacific, and Gulf of Mexico Coasts. *U.S. Geological Survey, Digital Data Series, DDS-68*.

IPCC (2001), Climate change, Synthesis report .-Watson, R.T. and the Core Writing Team (eds), Geneva, 184pp (Stand-alone edition).

IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning (eds.)]

Jacob, K., V. Gornitz, and C. Rosenzweig, 2007: Vulnerability of the New York City metropolitan area to coastal hazards, including sea-level rise: Inferences for urban coastal risk management and adaptation policies. In *Managing Coastal Vulnerability*. L. McFadden, R. Nicholls, and E. Penning-Rowsell, Eds. Elsevier, pp. 139-156.

KARYMBALIS, E. & A. SENI (2005). Coastal Geomorphology and Future Sea-level Rise Impacts at the Eastern Gulf of Argos. *Proceedings of the Seventh International Conference on the Mediterranean Coastal Environment MEDCOAST*, vol 2, 1287-1298 pp.

KARYMBALIS, E. & K. GAKI-PAPANASTASSIOU (2008). Geomorphological study of the river deltas of Pinios, Kalamas, Evinos and Mornos. *Proceedings of the 4th Pan-Hellenic Conference on Coastal Zone Management*, 86-94 pp.

Keraudren, B. and Sorel, D. 1987. The terraces of Corinth (Greece) –a detailed record of eustatic sea-level variations during the last 500,000 years. *Marine Geology* 77, 99-107

Klein, Nicholls, Mimura Coastal adaptation to climate change: can the IPCC Technical Guidelines be applied?(1999)

Laborel, J., & Manrique, F. A. (1980). *Reef corals as sea-level indicators*. Groupe NIVMER (France).

Leatherman, S. P. 1979. Beach and dune interactions during storm conditions. *Q. J. Eng. Geol.* **12**,281–290.

Longley P.A., Goodchild Michael F, Maguire DJ, Rhind D., *Geographical Information Systems and Sciences* (second edition), John Wiley & Sons Inc., New York, 2005.

Malz H.,; Jellinek T. 1984. Marine Plio-/Pleistozan-Ostracoden von SE-Lakonien (Peloponnes, Griechenland). *Senckenb. Biol.* , 65: 113–167

Metcalfe et al., (2000) *The Holocene Evolution of the Humber Estuary: reconstructing change in a dynamic environment*

National Research Council (NRC), 2002: *Abrupt Climate Change, Inevitable Surprises*. National Academy Press, Washington, DC. National Academy Press, Washington, DC

Orford, J.D., Cooper, J.A.G. & McKenna, J. (1999). Mesoscale temporal changes to foredunes at Inch Spit, south-west Ireland. *Zeitschrift für Geomorphologie* **43**: 439–461.

Pethick, J.S. (1992) Salt marsh geomorphology. In: *Salt Marshes: Morphodynamics, Conservation and Engineering Significance*, ed. J.R.L. Allen & K.Pye, pp.41-62. Cambridge, UK: Cambridge University Press

Pethick, J.S. & Crooks, S. (2000) Development of a coastal vulnerability index: a geomorphological perspective

Phillippson A. 1892, *Der Peloponnes*

Richie, W. & Penland, S. (1990) Aeolian sand bodies of the south Louisiana coast. In: *Coastal Dunes*, ed. K.F. Nordstrom, N.P. Pusty & R.W.G. Carter, pp. 105–27. Chichester, UK: John Wiley

SENI, A. (2007). Coastal vulnerability to sea-level rise estimation utilizing Geographic Information Systems (GIS): the cases of Porto Heli and Ermioni (Peloponnese). *MSc Thesis*, Department of Geography, Harokopio University, 192 pp.

SHAW, J., TAYLOR, R.B., FORBES, D.L., RUZ, M.H. & S. SOLOMON (1998). Sensitivity of the Canadian Coast to Sea-Level Rise. *Geological Survey of Canada Bulletin*, 505, 114 p.

Soukissian, T., Hatzinaki, m., Korres, G., Papadopoulos, A., Kallos G., Anadranistakis E., 2007: *Wind and Wave Atlas of the Hellenic Seas*, Hellenic Centre for Marine Research Publ., 300pp

Sunamura, T., 1992. . *Geomorphology of Rocky Coasts* Wiley, Chichester.

L. Tarasov and W. Richard Peltier Greenland glacial history, borehole constraints, and Eemian extent Department of Physics, University of Toronto, Toronto, Ontario, Canada

Titus, J., 1998: Rising seas, Coastal erosion, and the taking clause: How to save wetlands and Beaches without hurting property owners (121p.p.) *Maryland Law Review*, vol.57, no.4, pp.1279-1399.

Thieler, E.R. & E.S. Hammar –Klose (1999). National assessment of Coastal Vulnerability to Sea Level Rise, U.S. Atlantic Coast. U.S. Geological Survey, Open –File Report, 99-593pp

TSIMPLIS, M.N. (1994). Tidal Oscillations in the Aegean and Ionian Seas. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 3, 201-208.

TSIMPLIS, M. & D. BLACKMAN (1997). Extreme Sea-level Distribution and Return Periods in the Aegean and Ionian Seas *Estuarine.Coastal and Shelf Science*, 44, 79–89.

Tomasin A. and P. A. Pirazzoli (2008). Extreme Sea Levels in the English Channel : Calibration of the Joint Probability Method. *Journal of Coastal Research*, Vol. 24, Issue sp3, pg(s) 1-13 doi : 10.2112/07-0826.1.

Townend, I. H., 1990. The application of GIS to coastal zone management. *Proceedings of EGIS'90 – First European Conference on Geographical Information Systems*, 1096-1107.

Vellinga, P. 1978. Movable bed tests on dune erosion. *Proc. 16th Int. Conf. Coast. Eng.* **II**,2020–2037. Hamburg

ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

<http://www.epa.gov/climatechange/science/futurecc.html> 9 Απριλίου

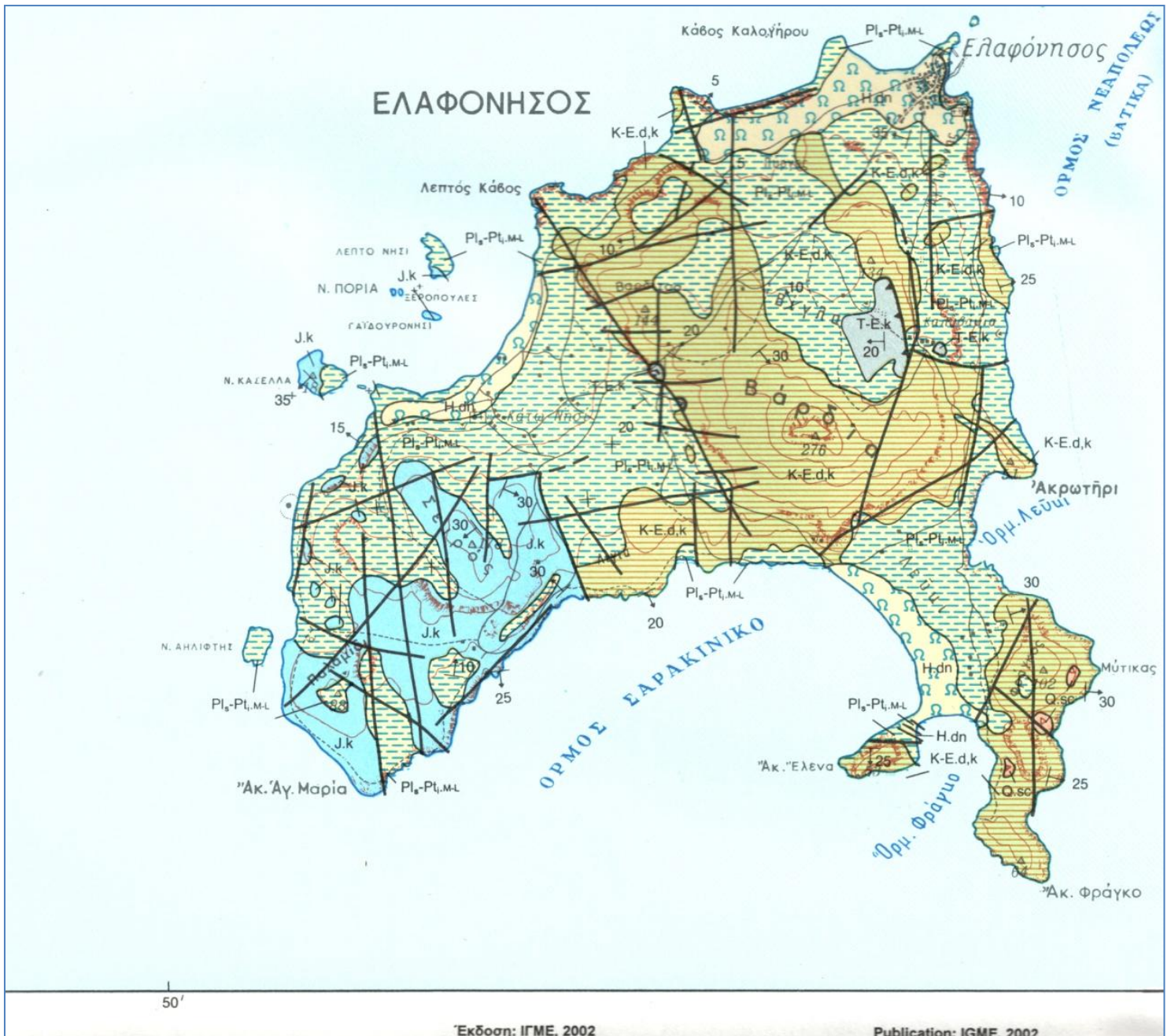
<http://www.epa.gov/climatechange/effects/coastal/index.html> 6 Απριλίου

<http://www.epa.gov/climatechange/science/futureslc.html> 18 Μαρτίου

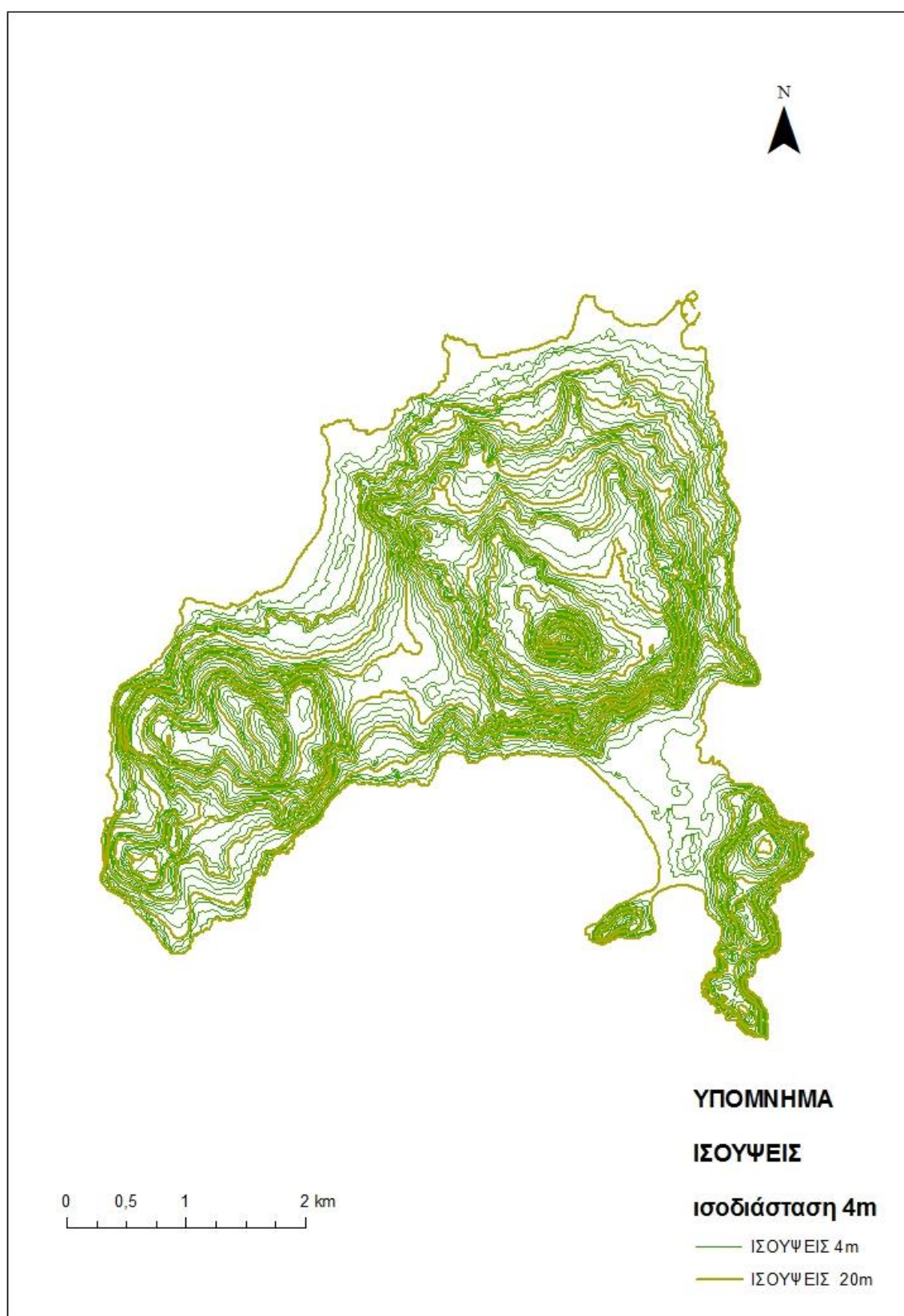
<http://www.colorado.edu/hazards/o/archives/2005/nov05/nov05c.html>

<http://www.publications.parliament.uk/pa/cm200708/cmselect/cmtreasy/231/231.pdf> 15 Μαΐου

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ



Γεωλογικός χάρτης Ελαφονήσου 1:50.000 από το φύλλο ΠΑΠΑΔΙΑΝΙΚΑ-ΠΟΤΑΜΟΣ του Ι.Γ.Μ.Ε.



Χάρτης με τις ισουψείς της περιοχής. Προσωπική επεξεργασία Πηγή: Γ.Υ.Σ. τοπογραφικά διαγράμματα 1:5.000