

ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ & ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Εκτίμηση ευαισθησίας στους παράκτιους κινδύνους για το νησί της Ζακύνθου με τη μέθοδο του δείκτη παράκτιας τρωτότητας (CVI)

Διπλωματική Εργασία

Ζαμπάζας Δ. Γεώργιος



Αθήνα, 2021



ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ & ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

# Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Χρίστος Χαλκιάς (Επιβλέπων)

Καθηγητής, Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Ευθύμιος Καρύμπαλης

Καθηγητής, Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Γεώργιος Π. Πετρόπουλος

Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Εγώ, ο Γεώργιος Δ. Ζαμπάζας δηλώνω υπεύθυνα ότι:

- Είμαι ο κάτοχος των πνευματικών δικαιωμάτων της πρωτότυπης αυτής εργασίας και από όσο γνώρίζω η εργασία μου δε συκοφαντεί πρόσωπα, ούτε προσβάλει τα πνευματικά δικαιώματα τρίτων.
- 2. Αποδέχομαι ότι η ΒΚΠ μπορεί, χωρίς να αλλάξει το περιεχόμενο της εργασίας μου, να τη διαθέσει σε ηλεκτρονική μορφή μέσα από την ψηφιακή Βιβλιοθήκη της, να την αντιγράψει σε οποιοδήποτε μέσο ή / και σε οποιοδήποτε μορφότυπο καθώς και να κρατά περισσότερα από ένα αντίγραφα για λόγους συντήρησης και ασφάλειας.

Αφιερωμένο στον αδελφό μου

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κατάλογος χαρτών	9
Κατάλογος εικόνων	10
Κατάλογος πινάκων	12
Κατάλογος παραρτήματος	13
ΠΡΟΛΟΓΟΣ – ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	16
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	18
ABSTRACT	19
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	20
1.1 Σημασία της Γεωπληροφορικής	20
1.2 Εφαρμογή δείκτη παράκτιας τρωτότητας (CVI)	21
1.3 Σκοπός της εργασίας	25
2. ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΖΩΝΗ	26
2.1 Διαίρεση της παράκτιας ζώνης	26
2.2 Ελληνική παράκτια ζώνη	28
2.3 Οργανωμένη διαχείριση της παράκτιας ζώνης	28
2.4 Παράκτια διάβρωση	30
2.5 Μέτρα προστασίας των ακτών	31
3. ΣΤΑΘΜΗ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ	34
3.1 Μεταβολές της θαλάσσιας στάθμης	34
3.2 Μελλοντική άνοδος της θαλάσσιας στάθμης	36
3.3 Επιπτώσεις από την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης	
4. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	40
4.1 Γεωγραφικά στοιχεία	40
4.2 Γεωμορφολογικά στοιχεία	41

4.3 Γεωλογικά στοιχεία	46
4.3.1 Γεωτεκτονική θέση και εξέλιξη	46
4.3.2 Αλπικοί σχηματισμοί	47
4.3.3 Μεταλπικοί σχηματισμοί	49
4.4 Νεοτεκτονικά στοιχεία	50
4.5 Περιβαλλοντικά στοιχεία	54
5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	56
5.1 Μέθοδος Δείκτη Παράκτιας Ευαισθησίας CSI	56
5.2 Δεδομένα	58
5.2.1 Ανάκτηση δεδομένων	58
5.2.2 Λογισμικά	59
5.2.3 Προβολικό σύστημα αναφοράς	60
5.3 Δημιουργία επιπέδου ακτογραμμής 2020	60
5.4 Δημιουργία επιπέδων παραμέτρων CSI	62
5.4.1 Παράμετρος Γεωλογίας – Γεωμορφολογίας	62
5.4.2 Παράμετρος παράκτιας κλίσης	63
5.4.3 Παράμετρος ρυθμού μεταβολής ακτογραμμής	64
5.4.4 Παράμετρος μεταβολής μέσης θαλάσσιας στάθμης	67
5.4.5 Παράμετρος μέσου ύψους κύματος	69
5.4.6 Παράμετρος μέσου παλιρροιακού εύρους	71
5.5 Κατηγοριοποίηση σε ενιαία τακτική κλίμακα	72
5.6 Χαρτογραφική υπέρθεση και υπολογισμός CSI	74
6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	76
6.1 Χάρτες παραμέτρων CSI	76
6.1.1 Γεωλογία – Γεωμορφολογία	76
6.1.2 Παράκτια κλίση	78

6.1.3 Ρυθμός μεταβολής ακτογραμμής	.80
6.1.4 Μεταβολή μέσης θαλάσσιας στάθμης	.82
6.1.5 Μέσο ύψος κύματος	.84
6.1.6 Μέσο παλιρροιακό εύρος	.87
6.2 Δείκτης Παράκτιας Ευαισθησίας CSI	.89
6.2 Αποτίμηση ευαισθησίας περιβαλλοντικών στοιχείων της ακτογραμμής	93
ΣΥΖΗΤΗΣΗ	.97
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	.99
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ1	.02
Ελληνόγλωσση1	.02
Ξενόγλωσση1	.04
Ιστοσελίδες1	.10
ПАРАРТНМА	.11

# Κατάλογος χαρτών

Χάρτης 1: Άποψη της Ζακύνθου από οπτική δορυφορική εικόνα Sentinel 2 του προγράμματος Copernicus με
ημερομηνία λήψης 10/09/2040
Χάρτης 2: Γεωτεκτονικός χάρτης των Ελληνίδων ζωνών με τις κύριες τεκτονικές δομές τους. Σε κόκκινο
περίγραμμα η περιοχή μελέτης (Katrivanos, 2013, τροποποιημένο από Mountrakis, 1986, Kilias et al., 2001,
2012, Ring et al., 2010)
Χάρτης 3: Γεωλογικός χάρτης της Ζακύνθου (Χουσιανίτης, 2009, από ΙΓΜΕ, 1980, Λέκκας, 1993)48
Χάρτης 4: Κάλυψη γης Corine Land Cover 2018 σε ζώνη 1 km από την ακτογραμμή, σε συνδυασμό με το δίκτυο
Natura 2000 των προστατεύομενων περιοχών της Ζακύνθου55
Χάρτης 5: Γεωλογικός χάρτης Ζακύνθου από ΙΓΜΕ σε ζώνη 1 km από την ακτογραμμή, συνδυασμένος με τα
ενεργά νεοτεκτονικά ρήγματα και τη γεωμορφολογία της ακτογραμμής της Ζακύνθου
Χάρτης 6: Παράκτια κλίση σε ζώνη 1 km από την ακτογραμμή της Ζακύνθου
Χάρτης 7: Μωσαϊκό ορθοφωτοχαρτών από 52 αεροφωτογραφίες της Ζακύνθου του 1996 (ΕΚΧΑ Α.Ε.)65
Χάρτης 8: Εστιασμένος χάρτης στην περιοχή της αμμώδους παραλίας Μπανάνα στη χερσόνησο του Βασιλικού
στο νοτιοανατολικό τμήμα της Ζακύνθου με χαρακτηριστική υποχώρηση της ακτογραμμής
Χάρτης 9: Νεοτεκτονικές ενότητες Ζακύνθου σε συνδυασμό με τα ενεργά νεοτεκτονικά ρήγματα της περιοχής
(τροποποιημένο από Χουσιανίτης, 2009, Chousianitis et al., 2010)67
Χάρτης 10: Εδαφική παραμόρφωση της Ζακύνθου για την περίοδο 2005 – 2006 από αποτελέσματα μετρήσεων
DGPS (Χουσιανίτης, 2009, Chousianitis et al., 2010)68
Χάρτης 11: Χωρική κατανομή ετήσιου μέσου σημαντικού ύψους κύματος (wave height H₅) σε m στον ελληνικό
χώρο. Σε κόκκινο περίγραμμα η περιοχή μελέτης (ΕΛΚΕΘΕ, 2007)69
Χάρτης 12: Μέσο σημαντικό ύψος κύματος στο θαλάσσιο χώρο της Ζακύνθου σε συνδιασμό με τις κυματικές
σκίες που δημιουργούνται στις νησίδες Μαραθωνήσι και Πελούζο στον Κόλπο του Λαγανά
Χάρτης 13: Κατανομή του μέσου παλιρροιακού εύρους (tidal range) σε cm στον ελληνικό χώρο. Σε κόκκινο
περίγραμμα η περιοχή μελέτης (Tsimplis, 1994)71
Χάρτης 14: Χωρική κατανομή δείκτη παράκτιας ευαισθησίας (CSI) για την παράμετρο της Γεωλογίας –
Γεωμορφολογίας
Χάρτης 15: Χωρική κατανομή δείκτη παράκτιας ευαισθησίας (CSI) για την παράμετρο της παράκτιας κλίσης. 78
Χάρτης 16: Χωρική κατανομή δείκτη παράκτιας ευαισθησίας (CSI) για την παράμετρο του ρυθμού μεταβολής
της ακτογραμμής
Χάρτης 17: Χωρική κατανομή δείκτη παράκτιας ευαισθησίας (CSI) για την παράμετρο της μεταβολής της μέσης
θαλάσσιας στάθμης
Χάρτης 18: Χωρική κατανομή δείκτη παράκτιας ευαισθησίας (CSI) για την παράμετρο του μέσου ύψους
κύματος84
Χάρτης 19: Χωρική κατανομή δείκτη παράκτιας ευαισθησίας (CSI) για την παράμετρο του μέσου παλιρροιακού
εύρους
Χάρτης 20: Χωρική κατανομή δείκτη παράκτιας ευαισθησίας (CSI) της ακτογραμμής της Ζακύνθου

Χάρτης 21: Χάρτης χωρικής κατανομής δείκτη παράκτιας ευαισθησίας (CSI) της ακτογραμμής της Ζακύνθου,
εστιασμένος στο βόρειο και κεντρικό τμήμα του νησιού90
Χάρτης 22: Χάρτης χωρικής κατανομής δείκτη παράκτιας ευαισθησίας (CSI) της ακτογραμμής της Ζακύνθου,
εστιασμένος στο νοτιοανατολικό τμήμα του νησιού91
Χάρτης 23: Χάρτης χωρικής κατανομής δείκτη παράκτιας ευαισθησίας (CSI) της ακτογραμμής της Ζακύνθου,
εστιασμένος στο νοτιοδυτικό τμήμα του νησιού92
Χάρτης 24: Κάλυψη γης Corine Land Cover 2018 σε ζώνη 1 km από την ακτογραμμή, σε συνδυασμό με τη χωρική
κατανομή του δείκτη παράκτιας ευαισθησίας (CSI) της ακτογραμμής της Ζακύνθου
Χάρτης 25: Περιοχές Natura 2000 σε συνδυασμό με τη χωρική κατανομή του δείκτη παράκτιας ευαισθησίας
(CSI) της ακτογραμμής της Ζακύνθου96

# Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1: Η παράκτια ζώνη διαιρεμένη σε επιμέρους τμήματά με βάση τα μορφολογικά χαρακτηριστικά της και
τον τύπο κυμματικής διεργασίας (Καρύμπαλης, 2010, τροποποιημένο από Briggs et al., 1997)27
Εικόνα 2: Παράκτια διάβρωση στην περιοχή του Τσιλιβή στο ανατολικό τμήμα της Ζακύνθου (Pavel Jiranek,
www.shutterstock.com/)
Εικόνα 3: Προστατευτικοί τοίχοι στην περιοχή της πόλης της Ζακύνθου στο ανατολικό τμήμα του νησιού με
χαρακτηριστικές επιπτώσεις της παράκτιας διάβρωσης32
Εικόνα 4: Προστατευτικός κυμματοθραύστης από φυσικούς ογκόλιθους στο λιμένα της πόλης της Ζακύνθου
στο ανατολικό τμήμα του νησιού
Εικόνα 5: Θαλάσσιες αψίδες που υποδηλώνουν ενδείξεις μεταβολών θαλάσσιας στάθμης και παράκτιας
διάβρωσης στο ακρωτήριο Σκινάρι, στο βόρειο τμήμα της Ζακύνθου
Εικόνα 6: Διάφορες καμπύλες μεταβολής της στάθμης της θάλασσας κατά τα τελευταία 450 χιλιάδες χρόνια.
Σε αυτό το διάστημα περιλαμβάνονται οι 4 τελευταίοι κύκλοι παγετωδών (ελάχιστες τιμές) και μεσοπαγετωδών
(μέγιστες τιμές) περιόδων (Caputo, 2007)35
Εικόνα 7: Εκτιμήσεις της μεταβολής της θαλάσσιας στάθμης σε παγκόσμιο επίπεδο για την περίοδο 1800 -
2100. Για την περίοδο 1800 – 1870 τα αποτελέσματα βασίζονται σε εκτιμήσεις, για την περίοδο 1870 – 2007 σε
ενόργανες παρατηρήσεις, ενώ για την περίοδο 2007 – 2100 σε προβλέψεις μαθηματικών μοντέλων (IPPC,
2007)
Εικόνα 8: Εκτιμήσεις της μεταβολής της θαλάσσιας στάθμης σε παγκόσμιο επίπεδο για την περίοδο 1700 -
2100. Με μπλέ παρουσιάζεται το αισιόδοξο και με κόκκινο το απαισιόδοξο σενάριο για την άνοδο της
θαλάσσιας στάθμης (IPPC, 2013)
Εικόνα 9: Τρισδιάστατη απεικόνιση της Ζακύνθου με το πρόγραμμα ArcScene της ESRI
Εικόνα 10: Άποψη παράκτιων κρημνών στο δυτικό τμήμα της Ζακύνθου43
Εικόνα 11: Άποψη της γνωστής παραλίας του Ναυαγίου στο βορειοδυτικό τμήμα της Ζακύνθου που αποτελεί
μια γεωμορφή τύπου pocket beach

Εικόνα 12: Άποψη της παραλίας Banana στη χερσόνησο του Βασιλικού, στο νοτιοανατολικό τμήμα της Εικόνα 13: Άποψη των παραλιών του Αλυκανά και στο βάθος των Αλυκών στο ανατολικό τμήμα της Ζακύνθου που αποτελεί μια γεωμορφή αμμώδους αιγιαλού. Χαρακτηριστικές είναι οι ανθρωπογενείς κατασκευές με την παρουσία λιμένα με κυμματοθραύστη (breakwater) και πρόβολων (groins) για την προστασία από την Εικόνα 14: Χαρακτηριστική ασυμφωνία μεταξύ Πλειοκαίνου – Πλειστοκαίνου στο ακρωτήριο Γέρακας, στο Εικόνα 15: Διάκριση των ρηγμάτων στο νησί της Ζακύνθου ανάλογα με το άλμα τους (Lekkas & Mavroulis, 2018 Εικόνα 16: Κύριες ενεργές ομάδες ρηγμάτων με άλμα > 100 m αριστερά και νεοτεκτονικές ενότητες μαζί με την κινηματική τους δεξιά στο νησί της Ζακύνθου (Lekkas & Mavroulis, 2018 από Λέκκας, 1993)......51 Εικόνα 17: Άποψη της παραλίας του Μακρύ Γυαλού στο βορειοανατολικό τμήμα της Ζακύνθου που αποτελεί μια γεωμορφή τύπου pocket beach. Στο βάθος εμφανίζεται η ρηξιγενής επιφάνεια ενός εκ των 4 ρηγμάτων που Εικόνα 18: Κατολίσθηση στο νοτιοδυτικό τμήμα της Ζακύνθου, αποτέλεσμα του ισχυρού σεισμού μεγέθους Μ = 6.8 R στις 26/10/2018 σε συνδυασμό με την παράκτια διάβρωση των ασβεστολιθικών παράκτιων κρημνών. Η κατολίσθηση δημιούργησε νέο μέτωπο παραλίας και προέλαση της ακτογραμμής προκαλώντας την ένωση της μεγαλύτερης εκ των βραχονησίδων Μυζήθρες με το κυρίως νησί......53 Εικόνα 19: Άποψη του Κόλπου του Λαγανά μαζί με το Μαραθωνήσι στο νότιο τμήμα της Ζακύνθου από την Εικόνα 20: Διάγραμμα ροής της μεθόδου που χρησιμοποιήθηκε......57 Εικόνα 21: Απεικόνιση σε περιβάλλον SNAP της Ζακύνθου στις 10 / 09 /2020. Κάτω δεξιά με φυσικά χρώματα (Red: B4, Green: B3, Blue: B2), κάτω αριστερά φίλτρο Land/Water (Red: B8, Green: B11, Blue: B4) όπου η επιφάνεια ύδατος εμφανίζεται με μάυρο χρώμα, πάνω αριστερά με δείκτη NDWI και πάνω δεξιά ταξινομημένη ανάμεσα σε υδάτινο όγκο με άσπρο χρώμα και ξηρά με μαύρο χρώμα......61 Εικόνα 22: Παράδειγμα κατηγοριοποίησης της παραμέτρου Γεωλογίας – Γεωμορφολογίας στη γνωστή παραλία του Ναυαγίου στο βορειοδυτικό τμήμα της Ζακύνθου. Στο χαλικώδη αιγιαλό τύπου pocket beach δίνεται η τιμή 4 βάση Γεωμορφολογίας ενώ στον παράκτιο κρημνό δίνεται η τιμή 1 βάση Γεωλογίας καθώς αποτελείται από ασβεστόλιθο......74 Εικόνα 23: Ραβδόγραμμα βαθμονόμησης μήκους ακτογραμμής σε km ανά κατηγορία ευαισθησίας (CSI) της παραμέτρου της Γεωλογίας – Γεωμορφολογίας.....77 Εικόνα 24: Διάγραμμα βαθμονόμησης ποσοστού (%) ακτογραμμής ανά κατηγορία ευαισθησίας (CSI) της παραμέτρου της Γεωλογίας – Γεωμορφολογίας.....78 Εικόνα 25: Ραβδόγραμμα βαθμονόμησης μήκους ακτογραμμής σε km ανά κατηγορία ευαισθησίας (CSI) της παραμέτρου της παράκτιας κλίσης......79 Εικόνα 26: Διάγραμμα βαθμονόμησης ποσοστού (%) ακτογραμμής ανά κατηγορία ευαισθησίας (CSI) της 

Εικόνα 27: Ραβδόγραμμα βαθμονόμησης μήκους ακτογραμμής σε km ανά κατηγορία ευαισθησίας (CSI) της
παραμέτρου του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής81
Εικόνα 28: Διάγραμμα βαθμονόμησης ποσοστού (%) ακτογραμμής ανά κατηγορία ευαισθησίας (CSI) της
παραμέτρου του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής82
Εικόνα 29: Ραβδόγραμμα βαθμονόμησης μήκους ακτογραμμής σε km ανά κατηγορία ευαισθησίας (CSI) της
παραμέτρου της μεταβολής της μέσης θαλάσσιας στάθμης83
Εικόνα 30: Διάγραμμα βαθμονόμησης ποσοστού (%) ακτογραμμής ανά κατηγορία ευαισθησίας (CSI) της
παραμέτρου της μέσης θαλάσσιας στάθμης84
Εικόνα 31: Ραβδόγραμμα βαθμονόμησης μήκους ακτογραμμής σε km ανά κατηγορία ευαισθησίας (CSI) της
παραμέτρου του μέσου ύψους κύματος86
Εικόνα 32:Διάγραμμα βαθμονόμησης ποσοστού (%) ακτογραμμής ανά κατηγορία ευαισθησίας (CSI) της
παραμέτρου του μέσου ύψους κύματος86
Εικόνα 33: Ραβδόγραμμα βαθμονόμησης μήκους ακτογραμμής σε km ανά κατηγορία ευαισθησίας (CSI) της
παραμέτρου του μέσου παλιρροιακού εύρους88
Εικόνα 34: Διάγραμμα βαθμονόμησης ποσοστού (%) ακτογραμμής ανά κατηγορία ευαισθησίας (CSI) της
παραμέτρου του μέσου παλιρροιακού εύρους88
Εικόνα 35: Ραβδόγραμμα βαθμονόμησης μήκους σε km ανά κατηγορία ευαισθησίας (CSI) της ακτογραμμής της
Ζακύνθου92
Εικόνα 36: Διάγραμμα βαθμονόμησης ποσοστού (%) ανά κατηγορία ευαισθησίας (CSI) της ακτογραμμής της
Ζακύνθου93
Εικόνα 37: Διάγραμμα ποσοστού (%) ανά κατηγορία κάλυψης γης της ακτογραμμής της Ζακύνθου95

## Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 7: Μήκος ακτογραμμής σε km και ποσοστό της % ανά κατηγορία ευαισθησίας (CSI) της παραμέτρου
Γεωλογίας – Γεωμορφολογίας77
Πίνακας 8: Μήκος ακτογραμμής σε km και ποσοστό της % ανά κατηγορία ευαισθησίας (CSI) της παραμέτρου
της παράκτιας κλίσης
Πίνακας 9: Μήκος ακτογραμμής σε km και ποσοστό της % ανά κατηγορία ευαισθησίας (CSI) της παραμέτρου
του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής81
Πίνακας 10: Μήκος ακτογραμμής σε km και ποσοστό της % ανά κατηγορία ευαισθησίας (CSI) της παραμέτρου
της μεταβολής της μέσης θαλάσσιας στάθμης83
Πίνακας 11: Μήκος ακτογραμμής σε km και ποσοστό της % ανά κατηγορία ευαισθησίας (CSI) της παραμέτρου
του μέσου ύψους κύματος
Πίνακας 12: Μήκος ακτογραμμής σε km και ποσοστό της % ανά κατηγορία ευαισθησίας (CSI) της παραμέτρου
του μέσου παλιρροιακού εύρους
Πίνακας 13: Μήκος σε km και ποσοστό της % ανά κατηγορία ευαισθησίας (CSI) της ακτογραμμής της Ζακύνθου.
Πίνακας 14: Μήκος σε km και ποσοστό της % ανά κατηγορία κάλυψης γης και ευαισθησίας (CSI) της
ακτογραμμής της Ζακύνθου94
Πίνακας 15: Μήκος σε km των περιοχών Natura 2000 ανά κατηγορία ευαισθησίας (CSI) της ακτογραμμής της
Ζακύνθου95

# Κατάλογος παραρτήματος

Εικόνα παραρτήματος 1: Γεωμορφολογικός χάρτης της Ζακύνθου
Εικόνα παραρτήματος 2: Προοπτική άποψη της Ζακύνθου από Β – ΒΑ με το πρόγραμμα ArcScene της ESRI.111
Εικόνα παραρτήματος 3: Προοπτική άποψη της Ζακύνθου από Α – ΝΑ με το πρόγραμμα ArcScene της ESRI.
Εικόνα παραρτήματος 4: Προοπτική άποψη της Ζακύνθου από Β – ΒΔ με το πρόγραμμα ArcScene της ESRI.112
Εικόνα παραρτήματος 5: Master Plan Εθνικού Θαλάσσιου Πάρκου Ζακύνθου και περιοχών Natura 2000
(www.zantechristo.com)
Εικόνα παραρτήματος 6: Αναλυτικό Master Plan Εθνικού Θαλάσσιου Πάρκου Ζακύνθου στον κόλπο του Λαγανά
(www.zantechristo.com)
Εικόνα παραρτήματος 7: Νεοτεκτονικές ενότητες της Ζακύνθου και εμφάνιση των μεγαλύτερων ρηξιγενών
δομών που αποτελούν όριά τους στο Google Earth (Lekkas et al., 2018)114
Εικόνα παραρτήματος 8: Η βραχονησίδα Βόιδι στην ανατολική πλευρά της Ζακύνθου. Επάνω αριστερά άποψη
του 1950 από ταινία της εποχής, επάνω δεξιά άποψη του 2010 και κάτω άποψη του 2018. Η νησίδα αποτελεί
χαρακτηριστικό παράδειγμα παράκτιας διάβρωσης σε συνδυασμό με σεισμική δραστηριότητα114
Εικόνα παραρτήματος 9: Λιμενοβραχίωνες και κυμματοθραύστες για την προστασία του λιμένα της πόλης της
Ζακύνθου στην ανατολική πλευρά του νησιού115

Εικόνα παραρτήματος 10: Θαλάσσια αψίδα (sea arch) που υποδηλώνει ένδειξη μεταβολής θαλάσσιας στάθμης Εικόνα παραρτήματος 11: Θαλάσσιες σπηλιές (sea caves) μέσα σε όρμο που υποδηλώνει ένδειξη μεταβολής Εικόνα παραρτήματος 13: Άποψη παράκτιων κρημνών στο νοτιοδυτικό τμήμα της Ζακύνθου, με υποψία δημιουργίας γεωμορφής τόμπολο (tompolo) μεταξύ της βραχονησίδας και του κυρίως νησιού......117 Εικόνα παραρτήματος 14: Άποψη παράκτιων κρημνών στο νοτιοδυτικό τμήμα της Ζακύνθου. Χαρακτηριστική Εικόνα παραρτήματος 15: Άποψη της παραλίας του Μαραθιά στο νοτιοδυτικό τμήμα της Ζακύνθου που Εικόνα παραρτήματος 16: Άποψη της κατολίσθησης στο νοτιοδυτικό τμήμα της Ζακύνθου, αποτέλεσμα του ισχυρού σεισμού μεγέθους M = 6.8 R στις 26/10/2018 σε συνδυασμό με την παράκτια διάβρωση των ασβεστολιθικών παράκτιων κρημνών. Η κατολίσθηση δημιούργησε νέο μέτωπο παραλίας και προέλαση της ακτογραμμής προκαλώντας την ένωση της μεγαλύτερης εκ των βραχονησίδων Μυζήθρες με το κυρίως νησί. 

Εικόνα παραρτήματος 26: Θαλάσσιες εγκοπές (marine notches) στη βάση παράκτιων κρημνών στη χερσόνησο του Βασιλικού στο νοτιοανατολικό τμήμα της Ζακύνθου, αποτέλεσμα της τεκτονικής ανύψωσης της περιοχής σε συνδυασμό με τη δραση του κυματισμού......123 Εικόνα παραρτήματος 27: Άποψη του ακρωτηρίου και της αμμώδους παραλίας Γέρακας στη χερσόνησο του Εικόνα παραρτήματος 28: Άποψη της αμμώδους παραλίας της Δάφνης στον Κόλπο του Λαγανά στο νοτιοανατολικό τμήμα της Ζακύνθου. Στο βάθος διακρίνεται το νησί Πελούζο. Η περιοχή εντάσσεται στο ΕΘΠΖ Εικόνα παραρτήματος 29: Άποψη του Κόλπου του Λαγανά με τις αμμώδεις παραλίες του στο νότιο τμήμα της Ζακύνθου από την κορυφή του ορεινού όγκου του Σκοπού. Το σύνολο της περιοχής εντάσσεται στο ΕΘΠΖ και Εικόνα παραρτήματος 30: Άποψη του νησιού Cameo και στο βάθος του νησιού Μαραθωνήσι στον Κόλπο του Λαγανά στο νότιο τμήμα της Ζακύνθου. Η γέφυρα που ενώνει το νησί Cameo με το κυρίως νησί κατά τη χειμερινή περίοδο καταστρέφεται λόγω της παράκτιας διάβρωσης και της δράσης του κυμματισμού. ........125 Εικόνα παραρτήματος 31: Γεωλογικός σχηματισμός Αγ. Σώστη. Περιλαμβάνει στη βάση κροκαλοπαγή και στη συνέχεια ακολουθία μαργαϊκών ασβεστολίθων, ψαμμιτών, ιλυόλιθων, γαλαζωπών μαργών, άμμων, αργίλων και γύψων ηλικίας Μέσου – Άνω Μειοκαίνου. Εμφανίζεται στο κεντρικό και νότιο τμήμα της Ζακύνθου και Εικόνα παραρτήματος 32: Άποψη της λιμνοθάλασσας του Κεριού στον Κόλπο του Λαγανά στο νοτιοδυτικό τμήμα του νησιού. Τοποθετείται στην τεκτονική ενότητα Κεριού και είναι αποτέλεσμα της χαρακτηριστικής 

#### ΠΡΟΛΟΓΟΣ – ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία με θέμα «Εκτίμηση ευαισθησίας στους παράκτιους κινδύνους για το νησί της Ζακύνθου με τη μέθοδο του δείκτη παράκτιας τρωτότητας (CVI)», εκπονήθηκε στα πλαίσια της κατεύθυνσης Γεωπληροφορικής του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών *Έφαρμοσμένη Γεωγραφία και Διαχείριση του Χώρου* του Τμήματος Γεωγραφίας του Χαροκόπειου Πανεπιστημίου Αθηνών.

Στο εισαγωγικό πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην σημασία της Γεωπληροφορικής και της εφαρμογής της μεθόδου CVI που χρησιμοποιείται σε διεθνές και τοπικό επίπεδο, ενώ αναφέρεται και ο σκοπός της εργασίας.

Στο δεύτερο και τρίτο κεφάλαιο επεξηγούνται οι σημαντικοί ορισμοί της Παράκτιας Ζώνης και του παράκτιου κινδύνου της Ανόδου της Στάθμης της Θάλασσας λόγω της Κλιματικής Αλλαγής σε θεωρητικό επίπεδο που χρησιμοποιούνται στα επόμενα κεφάλαια.

Στο τέταρτο κεφάλαιο πραγματοποιείται μια εκτεταμένη περιγραφή της ευρύτερης περιοχής μελέτης με βάση γεωγραφικά, γεωμορφολογικά, γεωλογικά, νεοτεκτονικά, υδρογραφικά και περιβαλλοντικά στοιχεία. Το νησί της Ζακύνθου αποτελεί σημαντικό τουριστικό προορισμό και ιδιαίτερη πατρίδα του συγγραφέα και έχει επιλεγεί λόγω της εκτεταμένης εμπειρικής γνώσης της περιοχής μελέτης και της κατοχής σημαντικής συλλογής φωτογραφιών που παρουσιάζονται σε παράρτημα.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο θεωρητικό υπόβαθρο της μεθοδολογίας του CVI και στην περιγραφή των μεθοδολογιών Γεωπληροφορικής που ακολουθούνται καθώς και μια αναλυτική αναφορά στην ανάκτηση των δεδομένων που χρησιμοποιούνται και στις πηγές αυτών.

Στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο γίνεται χρήση της υποδομής των δεδομένων και εξαγωγή χαρτών και ποσοτικών αποτελεσμάτων της ακτογραμμής και της Παράκτιας Ζώνης της περιοχής μελέτης σε περιβάλλον GIS.

Με την ολοκλήρωση της παρούσας πτυχιακής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνεισέφεραν όλο αυτό το χρονικό διάστημα που διήρκεσε η μελέτη, επεξεργασία και συγγραφή αυτής, ώστε να επιτευχθεί όσο το δυνατόν καλύτερο αποτέλεσμα. Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο επιβλέποντα της πτυχιακής εργασίας κ. Χαλκιά Χρίστο, Καθηγητή του Τμήματος Γεωγραφίας του Χαροκόπειου Πανεπιστημίου για την εμπιστοσύνη του στο πρόσωπό μου, καθώς και για την καθοδήγηση, επίβλεψη και τις συμβουλές που μου παρείχε, τόσο κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της πτυχιακής εργασίας, όσο και κατά τη διάρκεια των μεταπτυχιακών σπουδών μου.

Θερμές ευχαριστίες οφείλω στον κ. Καρύμπαλη Ευθύμιο, Καθηγητή του Τμήματος Γεωγραφίας του Χαροκόπειου Πανεπιστημίου για τις πολύτιμες γνώσεις και τη βοήθεια που μου παρείχε στο αντικείμενο και στη διάθεση των δεδομένων, καθώς και για τη συμμετοχή του στην τριμελή εξεταστική επιτροπή. Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω και τους επιστημονικούς συνεργάτες του κ. Καρύμπαλη, κ. Τσανάκα Κωνσταντίνο και κ. Μπατζάκη Βασίλειο για τα δεδομένα που μου παρείχαν, χωρίς τα οποία ήταν αδύνατη η εκπόνηση αυτής της πτυχιακής εργασίας.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω και στον κ. Πετρόπουλο Π. Γεώργιο, Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Γεωγραφίας του Χαροκόπειου Πανεπιστημίου για την τιμή που μου παρείχε με τη συμμετοχή του στην τριμελή εξεταστική επιτροπή.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένεια μου, τους γονείς μου Διονύση και Χαρά και τον αδελφό μου Ανδρέα για την υλική και ηθική υποστήριξη που μου παρείχαν καθόλη την διάρκεια των σπουδών μου, καθώς και όλους τους φίλους και συναδέλφους μου για τη συμπαράστασή τους.

#### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία γίνεται μια προσπάθεια αξιολόγησης της ευαισθησίας της ακτογραμμής του νησιού της Ζακύνθου στους παράκτιους κινδύνους, με τη βοήθεια εργαλείων Γεωπληροφορικής και την εφαρμογή της μεθόδου του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας (CVI). Στην εποχή της Κλιματικής Αλλαγής που έχει σαν αποτέλεσμα την άνοδο της ΜΣΘ και την εκδήλωση διαφόρων ακραίων φαινομένων, η εκτίμηση της παράκτιας τρωτότητας είναι πολύ σημαντική, τόσο για τη διερεύνηση των επιπτώσεων στην παράκτια ζώνη, όσο και για την εκτίμηση μελλοντικών μεταβολών της ακτογραμμής και την πρόληψη κινδύνων και καταστροφών. Η περιοχή μελέτης παρουσιάζει αρκετό ενδιαφέρον ως προς τη γεωμορφολογία και τη γεωλογία της ακτογραμμής του, καθώς ένα μεγάλο μέρος του νησιού είναι ορεινό, ενώ το υπόλοιπο είναι χαμηλής τοπογραφίας με συνολικό μήκος ακτογραμμής 191,81 km. Για την εκτίμηση της παράκτιας ευαισθησίας χρησιμοποιήθηκε ο Δείκτης Παράκτιας Ευαισθησίας (CSI). Πρόκειται για έναν ελαφρώς παραλλαγμένο δείκτη CVI ο οποίος υπολογίστηκε με την εφαρμογή μιας πολυκριτηριακής ανάλυσης 6 παραμέτρων σε περιβάλλον GIS. Για την ανάλυση των 3 γεωμορφολογικών παραμέτρων, της λιθολογίας και γεωμορφολογίας, της παράκτιας κλίσης και του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής, όσο και των 3 ωκεανογραφικών παραμέτρων, της σχετικής μεταβολής της ΜΣΘ, του μέσου ύψους κύματος και του μέσου παλλιροιακού εύρους, χρησιμοποιήθηκαν ψηφιδωτά δεδομένα όπως οπτική δορυφορική εικόνα S2, γεωλογικός χάρτης του IFME κλίμακας 1 : 50.000, ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου (DEM) υψηλής ακρίβειας με μέγεθος ψηφίδας 5 x 5 m, ορθοφωτοχάρτες από αεροφωτογραφίες του 1996 κλίμακας 1 : 40.000 του ΕΚΧΑ και χάρτες μικρής κλίμακας του ελληνικού χώρου. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν και διανυσματικά δεδομένα για τα ενεργά ρήγματα, τους γεωλογικούς σχηματισμούς, την κάλυψη γης και τις προστατευόμενες περιοχές Natura 2000. Για την εξαγωγή αποτελεσμάτων οι παράμετροι επαναταξινομήθηκαν σε ενιαία τακτική κλίμακα 1 – 5 και με τη μέθοδο της χαρτογραφικής υπέρθεσης υπολογίστηκε ο CSI για το σύνολο της ακτογραμμής του νησιού της Ζακύνθου, ενώ έγινε και μια προσπάθεια αποτίμησης της ευαισθησίας των περιβαλλοντικών στοιχείων της ακτογραμμής.

**Λέξεις κλειδιά:** Δείκτης Παράκτιας Τρωτότητας, Παράκτια Ζώνη, Παράκτια Διάβρωση, Στάθμη της Θάλασσας, Ζάκυνθος

#### ABSTRACT

In this master thesis, an attempt of the sensitivity to coastal risks of Zakynthos Island coastline to be assessed with Geoinformatics hardware and the Coastal Vulnerability Index (CVI) method was made. In the Era of Climate Change which results Sea Level Rise and other various extreme phenomena, the assessment of coastal vulnerability is very important, to investigate the impact on the coastal zone and to assess future shoreline changes to prevent hazards and disasters. The study area is quite interesting in terms of Geomorphology and Geology of the coastline, as much of the island is mountainous, while the rest has low topography with a total coastline length of 191.81 km. The Coastal Sensitivity Index (CSI) was used to assess coastal sensitivity. This is a slightly different CVI index which calculated by applying a multi-criteria analysis of 6 parameters in a GIS environment. For the process of the 3 geomorphological parameters, the Geology and Geomorphology, the Coastal Slope and the Coastal Rate Change, as well as the 3 oceanographic parameters, the relative Sea – Level Change, the mean Wave Height and the Tidal Range, raster data were used such as optical satellite image Sentinel 2, Geological map with scale 1 : 50.000, high resolution Digital Elevation Model with cell size  $5 \times 5$  m, maps from 1996 aerial photographs with scale 1 : 40.000 and small – scale maps of the Greek area. Vector data were also used for Active Faults, Geological Formations, Land Cover and Natura 2000 protected areas. Results extracted, after the reclassification of the parameters in a single regular scale 1-5 and with the Cartographic Overlay method, the CSI calculated for the entire coastline of Zakynthos Island, while an attempt to assess the sensitivity of the environmental elements of the coastline was made.

**Keywords:** Coastal Vulnerability Index, Coastal Zone, Coastal Erosion, Sea Level, Zakynthos Island

#### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

#### 1.1 Σημασία της Γεωπληροφορικής

Η αλματώδης ανάπτυξη της τεχνολογίας τα τελευταία χρόνια οδήγησε και την επιστήμη της Γεωπληροφορικής στην ανάπτυξη μεθόδων και εφαρμογών χωρικής ανάλυσης για τη διαχείριση της παράκτιας ζώνης (Χαλκιάς κ.α., 2014). Ο συνδυασμός εργαλείων Γεωπληροφορικής όπως τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS), τα συστήματα Παγκόσμιου Εντοπισμού Θέσης (GPS) και η Τηλεπισκόπιση (Remote Sensing) χρησιμοποιείται ευρέως για τη διαχείριση του παράκτιου και του νησιωτικού χώρου τις τελευταίες δεκαετίες (Bartlett & Smith, 2005). Η σημασία της Γεωπληροφορικής για τη βοήθεια της τεχνολογίας τα προβλήματα του χρόνου και του κόστους μειώνονται σε μεγάλο βαθμό, ενώ η ποιότητα και η ακρίβεια των αποτελεσμάτων αυξάνεται.

Στα θετικά της χρησιμοποίησης των GIS είναι η χωρική κατανομή της παράκτιας ζώνης με τη δυνατότητα αξιοποίησης συνδιαστικά, μεγάλου αριθμού χωρικών δεδομένων και με πολλές και διαφορετικές μεθόδους χωρικής ανάλυσης. Η χωροθέτηση χρήσεων γης, η ανάλυση διαφόρων δικτύων, η μελέτη κοινωνικών, οικονομικών και πολιτιστικών στοιχείων μέσα από εφαρμογή μοντέλων και προσομοιώσεων και η διαχρονική αναπαράσταση τοπίου είναι μερικές από εφαρμογές της Γεωπληροφορικής στον παράκτιο και νησιωτικό χώρο (Χαλκιάς κ.α., 2014).

Ο συνδυασμός της Τηλεπισκόπισης με τα GIS με την ενσωμάτωση δορυφορικών εικόνων είναι πολύ σημαντικός καθώς τα δεδομένα Τηλεπισκόπισης χρησιμοποιούνται ευρέως για την κατασκευή υποβάθρων με πληροφορίες για την παράκτια ζώνη. Ιδιαίτερα διαδεδομένες τα τελευταία χρόνια είναι και τεχνικές Τηλεπισκόπισης για καταγραφή της ακτογραμμής και του υποθαλάσσιου παράκτιου χώρου, δεδομένα σημαντικά για την μελέτη και διαχείριση της παράκτιας ζώνης (Χαλκιάς κ.α., 2014).

Τέλος, ο συνδυασμός των GPS με τα GIS παρέχει τη δυνατότητα υψηλής ακρίβειας εντοπισμού θέσης, παραγωγή χαρτογραφικής πληροφορίας με 2 (2D) και 3 (3D) διαστάσεις και δημιουργία διαδραστικών χαρτών στο διαδίκτυο, που χρησιμοποιούνται ευρέως για την παρακολούθηση, μελέτη και διαχείριση του παράκτιου χώρου (Χαλκιάς κ.α., 2014).

## 1.2 Εφαρμογή δείκτη παράκτιας τρωτότητας (CVI)

Τα τελευταία χρόνια οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής και κυρίως οι προβλέψεις για άνοδο της στάθμης της θάλασσας με ραγδαίο ρυθμό μέχρι το 2100 έχουν αναγκάσει την επιστημονική κοινότητα στην ανάπτυξη και εφαρμογή μεθόδων για την τρωτότητα της παράκτιας ζώνης, σε τοπικό αλλά και σε εθνικό επίπεδο. Σκοπός των μεθόδων αυτών είναι η ποσοτική και ποιοτική εκτίμηση των των αρνητικών επιπτώσεων από την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης, καθώς και η πρόβλεψη της τρωτότητας και η λήψη μέτρων προστασίας στον ιδιαίτερα σημαντικό χώρο της παράκτιας ζώνης (Καρύμπαλης, 2010).

Η συχνότερα εφαρμοζόμενη μεθοδολογία είναι η Συνήθης (Common Methodology) που προτάθηκε το 1991, μια ημιποσοτική μέθοδος νομισματικής αξιολόγησης της τρωτότητας της παράκτιας ζώνης που χρησιμοποιεί διάφορα σενάρια κόστους – όφελους με τελικό σκοπό την λήψη μέτρων προστασίας από τις μελλοντικές αρνητικές επιπτώσεις της ανόδου της στάθμης της θάλασσας (Mimura, 1999).

Επιπλέον, αναπτύχθηκαν μεθοδολογίες για την διερεύνηση του τρόπου απόκρισης της ακτογραμμής στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας με τις δημοφιλέστερες να είναι οι εξής (Καρύμπαλης κ.α., 2014):

- Συλλογή και αξιολόγηση ιστορικών δεδομένων για τη διαχρονική μετατόπιση της ακτογραμμής.
- Μοντέλα κατάκλισης και εφαρμογή του κανόνα του Bruun (Bruun Rule, 1962) σε αποκλειστικά αμμώδεις παραλίες.
- Μοντέλα προσομοίωσης των υδροδυναμικών συνθηκών και της δυναμικής των παράκτιων ιζημάτων με παραμετροποίηση φυσικών διεργασιών που συμβαίνουν στην παράκτια ζώνη (Thieler & Hammar – Klose, 1999).

Η ανάγκη για ποσοτικοποίηση αποτελεσμάτων για την πρόβλεψη της απόκρισης των ακτών στη μελλοντική άνοδο της στάθμης της θάλασσας οδήγησε στην ποσοτικοποίηση της σχετικής επικυνδυνότητας διαφόρων παραμέτρων που συμμετέχουν στην διαμόρφωση της παράκτιας ζώνης όπως η παράκτια γεωλογία και γεωμορφολογία, η κλίση της παράκτιας ζώνης, ο ρυθμός μεταβολής της ακτογραμμής και της θαλάσσιας στάθμης, ο κυματισμός και η παλίρροια. Στη συνέχεια αναπτύχθηκαν δείκτες που λαμβάνουν υπόψην αυτές τις παραμέτρους και έχουν σκοπό την κατηγοριοποίηση της ακτογραμμής σε χαμηλής, ενδιάμεσης και υψηλής επικυνδυνότητας ή τρωτότητας για κάθε παράμετρο και τον συνδιασμό τους για την τελική κατηγοριοποίηση της ακτογραμμής σε βαθμό επικυνδυνότητας ή τρωτότητας (Καρύμπαλης κ.α., 2014).

Δείκτης	Περιοχή πρώτης	Παράμετροι που λαμβάνονται	Αναφορά
	εφαρμογής	υπόψη	
Δεικτης ευαισθησίας	Ιρλανδία	Κλίση παράκτιου μετώπου,	Carter, 1990
των ακτών		παράκτιες γεωμορφές,	
(Sensitivity Index)		παράκτιες κατασκευές,	
		προσβασιμότητα και χρήση γης	
Δείκτης παράκτιας	НПА	Ανάγλυφο, κατακόρυφες	Gornitz &
επικινδυνότητας		κινήσεις της ξηράς, λιθολογία,	Kanciruk, 1989,
(Coastal Vulnerability		παράκτιες γεωμορφές,	Gornitz, 1991,
Index – CVI)		μετατόπιση ακτογραμμής,	Gornitz et al.,
		κυματική ενέργεια, εύρος	1991
		παλίρροιας	
Πίνακας κινδύνου	Ν. Αφρική	Γεωγραφική θέση, οικονομική	Hughes &
(Risk Matrix)		αξία υποδομών, φυσικός	Brundrit, 1992
		κίνδυνος	
Δείκτης ευαισθησίας	Καναδάς	Ανάγλυφο, τάση μεταβολής της	Shaw et al., 1998
(Sensitivity Index –		στάθμης, γεωλογία, παράκτιες	
SI)		γεωμορφές, μετατόπιση	
		ακτογραμμής, κυματική	
		ενέργεια, εύρος παλίρροιας	
Δείκτης παράκτιας	НПА	Ρυθμοί ιστορικής διάβρωσης	Thieler & USGS,
τρωτότητας (Coastal		υποχώρησης της ακτογραμμής,	2000
Vulnerability Index –		γεωμορφολογία, ρυθμοί	
CVI)		σχετικής ανόδου της στάθμης,	
		παράκτια κλίση, ύψος κύματος,	
		εύρος παλίρροιας	
Δείκτης τρωτότητας	Μ. Βρετανία	Συχνότητα εκδήλωσης	Pethick & Crooks,
		διαταραχών στην ακτή, χρόνος	2000
		αποκατάστασης	
Δείκτης κινδύνου	Καναδάς	Παρόμοιος με το δείκτη	Forbes et al., 2003
διάβρωσης (Erosion		επικινδυνότητας, λαμβάνοντας	
Hazard Index)		επιπλέον την έκθεση των ακτών,	
		το επίπεδο ανύψωση της	
		στάθμης λόγω μετεωρολογικών	
		αιτιών και την κλίση	
Βαθμολογία	НПА	Συνδιασμός του δείκτη	Boruff et al., 2005
παράκτιας κοινωνικής		παράκτιας επικινδυνότητας και	
τρωτότητας (Coastal		του δείκτη κοινωνικής	
Social Vulnerability		τρωτότητας	
Score – CsoVI)			
Δείκτης κοινωνικής	НПА	Ανάλυση κύριων κοινωνικών	Boruff et al., 2005
τρωτότητας (Social		δεδομένων που προέρχονται από	
Vulnerability Index –		απογραφή	
SoVI)			1

Πίνακας 1: Εξέλιξη των δεικτών παράκτιας τρωτότητας (Abuodha & Woodroffe, 2006).

Για την εκτίμηση της επικυνδυνότητας της παράκτιας ζώνης χρησιμοποιείται ευρέως ο Δείκτης Παράκτιας Επικυνδυνότητας (Coastal Vulnerability Index – CVI) καθώς και διάφορες παραλλαγές του. Πρόκειται για ένα εύχρηστο μαθηματικό μοντέλο που περιλαμβάνει τις παραμέτρους της γεωμορφολογίας, της παράκτιας κλίσης, της ανόδου της θαλάσσιας στάθμης, της μεταβολής της ακτογραμμής, του κυματισμού και της παλίρροιας. Για κάθε παράμετρο η ακτογραμμή κατηγοριοποιείται σε 5 κατηγορίες επικινδυνότητας από πολύ χαμηλής έως πολύ υψηλής. Ο δείκτης αυτός προτάθηκε αρχικά από τον Gornitz το 1991, ενώ αργότερα τροποποιήθηκε από τους Thieler και Hammar – Klose to 1999.

Ο Gornitz το 1991 εφάρμοσε τον δείκτη στις ακτές των ΗΠΑ (Gornitz et al., 1991), ενώ μια παραλλαγή του δείκτη ελαφρώς τροποποιημένη που ονομάστηκε Δείκτης Παράκτιας Ευαισθησίας (Coastal Sensitivity Index – CSI) εφαρμόστηκε το 1998 από τον Shaw κατά μήκος των ακτών του Καναδά. Ο δείκτης αυτός λαμβάνει υπόψην και την παράμετρο της γεωλογίας και της ανθεκτικότητας των γεωλογικών σχηματισμών που βρίσκονται στην παράκτια ζώνη (Shaw et al., 1998).

Οι Thieler και Hammar – Klose το 1999 εφάρμοσαν τον τροποποιημένο δείκτη CVI στην Ευρώπη (Thieler & Hammar – Klose, 1999) ενώ αργότερα ο δείκτης εφαρμόστηκε το 2004 από τον Pendleton για τις ακτές της Βραζιλίας (Pendleton et al., 2004), το 2007 από τον Diez για τις ακτές της Αργεντινής (Diez et al., 2007) και το 2008 από τον Nageswara για τις ακτές της Ινδίας (Nageswara et al., 2008).

Το 2010 οι Abuodha και Woodroffe εφάρμοσαν το δείκτη CSI για τις ακτές τις Αυστραλίας (Abuodha & Woodroffe, 2010), ενώ το 2015 ο δείκτης CVI εφαρμόστηκε στην περιοχή Tamil Nadu της Ινδίας από τον Sankari και παρουσιάστηκε στο διεθνές συνέδριο παράκτιας και ωκεάνιας μηχανικής (ICWRCOE) χρησιμοποιώντας τις παραμέτρους της γεωμορφολογίας, της κλίσης, της μεταβολής της ακτογραμμής, της κάλυψης γης, της βαθυμετρίας, του ύψους κύματος και της παλίρροιας (Sankari et al., 2015). Το 2019 οι Φερεντίνου και Καρύμπαλης εφάρμοσαν το δείκτη CSI στην παράκτια ζώνη της πόλης KwaZulu – Natal της Ν. Αφρικής (Ferentinou et al., 2019).

Στον ελληνικό χώρο ο Αλεξανδράκης το 2010 εφάρμοσε το δείκτη CVI των Thieler και Hammar – Klose του 1999 για τις ακτές του Αιγαίου πελάγους χρησιμοποιώντας και τα αποτελέσματα του ευρωπαϊκού προγράμματος EUROSION για τη διάβρωση των ακτών. Ο δείκτης εφαρμόστηκε επίσης το 2010 από τον Χατζηελευθερίου για τις ακτές της Αττικής (Χατζηελευθερίου κ.α., 2010) και από την Γάκη – Παπαναστασίου για τις ακτές του Αργολικού κόλπου (Gaki – Papanastassiou et al., 2010). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του δείκτη το 50 % των ακτών του Αιγαίου χαρακτηρίζεται ως μέτριας επικινδυνότητας και το υπόλοιπο 50 % ως υψηλής. Οι ακτές της Β. Ελλάδας, της Θεσσαλίας και της Εύβοιας είναι λιγότερο επιρρεπείς ενώ οι ακτές της Κρήτης, του Ν. Αιγαίου και της Αττικής παρουσιάζουν την υψηλότερη επικινδυνότητα, λόγω της ιδιαιτερότητας των παραμέτρων στις περιοχές αυτές, όπως οι εκτεταμένες παραλίες, οι μικρές παράκτιες κλίσεις και το μεγάλο υψος κύματος στην περιοχή της Κρήτης (Alexandrakis et al., 2010).

Το 2012 ο Καρύμπαλης εφάρμοσε το δείκτη για τις νότιες ακτές του Κορινθιακού Κόλπου από το Ρίο έως τον Ισθμό της Κορίνθου και πρότεινε νέα όρια πενταβάθμιας κατηγοριοποίησης της επικινδυνότητας προσαρμοσμένα στα γεωγραφικά και ωκεανογραφικά χαρακτηριστικά των ελληνικών ακτών. Πιο συγκεκριμένα υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση από περιοχή σε περιοχή, σε παράγοντες όπως η προέλαση ή υποχώρηση της ακτογραμμής, ο κυματισμός και το εύρος παλίρροιας (Karympalis et al., 2012).

Ο προσαρμοσμένος αυτός δείκτης εφαρμόστηκε επίσης το 2012 από τη Νασοπούλου για τις βόρειες ακτές του Κορινθιακού Κόλπου από το Αντίρριο έως την Ερατείνη (Νασοπούλου κ.α., 2012), το 2013 από την Παπούλια στην Αστυπάλαια (Papoulia et al., 2013), το 2014 από τον Καρύμπαλη στη Σαλαμίνα και στην Ελαφόνησο (Karympalis et al., 2014) και το 2016 από τους Μαυροματίδη και Καρύμπαλη στις ακτές της Πιερίας (Mavromatidi & Karympalis, 2016).

Τα αποτελέσματα έδειξαν σημαντικό ρόλο της τεκτονικής σε τοπική κλίμακα, η οποία επηρεάζει της σχετική μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης. Σημαντικό ρόλο παίζει και η οπισθοχώρηση της ακτογραμμής τοπικά από φυσικά αίτια και ανθρωπογενείς παρεμβάσεις. Το 38,7 % των ακτών της Β. Πελοποννήσου χαρακτηρίζεται ως υψηλής και πολύ υψηλής επικινδυνότητας. Το 69,71 % των ακτών του Β. Κορινθιακού χαρακτηρίζεται ως χαμηλής επικινδυνότητας, ενώ το 68,73 % των ακτών της Αττικής και το 56,2 % των ακτών του Αργολικού Κόλπου ως πολύ χαμηλής επικινδυνότητας. Το 8,5 % των ακτών της Αστυπάλαιας, το 1,5 % της Σαλαμίνας και το 54,5 % της Ελαφονήσου χαρακτηρίζονται ως υψηλής και πολύ υψηλής επικινδυνότητας.

### 1.3 Σκοπός της εργασίας

Το αντικείμενο μελέτης και κύριος σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η εκτίμηση της ευαισθησίας απέναντι στους παράκτιους κινδύνους με τη μέθοδο του δείκτη παράκτιας ευαισθησίας. Αυτό επιτυγχάνεται με την ανάλυση των γεωγραφικών και ωκεανογραφικών παραμέτρων της περιοχής μελέτης που συνθέτουν το δείκτη. Η ανάλυση αυτή γίνεται με τη βοήθεια διάφορων μεθοδών και εργαλείων Γεωπληροφορικής.

Επιπρόσθετος στόχος είναι η χρησιμοποίηση και ο συνδυασμός τόσο διαφόρων ελευθέρων και μη λογισμικών, όσο και δεδομένων διαφορετικής κλίμακας για την παραγωγή των καλύτερων δυνατών αποτελεσμάτων.

Απώτερος σκοπός είναι ο εντοπισμός των περιοχών της παράκτιας ζώνης με τη μεγαλύτερη ευαισθησία στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας που αποτελεί και έναν από τους σημαντικότερους εν δυνάμη παράκτιους κινδύνους λόγω της κλιματικής αλλαγής που συντελείται στη σημερινή εποχή. Ο εντοπισμός συντελεί στην έγκαιρη πρόληψη με την κατασκευή μέτρων προστασίας στις περιοχές αυτές που θα μειώσουν το μελλοντικό κίνδυνο.

Τέλος, γίνεται μια προσπάθεια για αποτίμηση της ευαισθησίας της παράκτιας ζώνης σε σχέση με την κάλυψη γης και το περιβάλλον, για να υπάρχει μια εικόνα για το είδος των περιοχών που επηρρεάζονται από την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης στην περιοχή μελέτης.

## 2. ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΖΩΝΗ

#### 2.1 Διαίρεση της παράκτιας ζώνης

Ως **ακτογραμμή** εκφράζεται η γραμμή που ορίζει το όριο της τομής της θαλάσσιας επιφάνειας με την ξηρά. Η ακτογραμμή είναι δυναμικά μεταβαλλόμενη με το χρόνο και δε παραμένει σταθερή. Οι μεταβολές αυτές ανάλογα με την κλίμακα του χρόνου μπορεί να είναι είτε ημερήσιες, που οφείλονται στη δράση της παλίρροιας και στις τοπικές μετεωρολογικές και κυμματικές συνθήκες, είτε μεγάλης χρονικής κλίμακας, που οφείλονται σε συνδιασμό κλιματικών (ευστατικών), ισοστατικών και τεκτονικών αιτιών (Καρύμπαλης, 2010).

Η παράκτια ζώνη αποτελεί μια δυναμική και μεταβαλλόμενη διεπιφάνεια μεταξύ της θάλασσας και της ξηράς (Καρύμπαλης κ.α., 2014). Περιλαμβάνει ένα υποθαλάσσιο τμήμα με όρια από την ακτογραμμή μέχρι την ισοβαθή των -10 m και ένα χερσαίο από την ακτογραμμή και με ασαφές όριο προς την ενδοχώρα το οποίο ορίζεται τοπικά. Γενικά επικρατεί η άποψη ό,τι το ανώτερο όριο βρίσκεται στο σημείο που σταματά η δράση των κυμμάτων και πολλές φορές ταυτίζεται με τις πρώτες εμφανίσεις χερσαίων σχηματισμών (εδάφους) (Καρύμπαλης, 2010).

Η παράκτια ζώνη υποδιαιρείται σε επιμέρους τμήματα. Υπάρχουν 3 κατηγορίες υποδιαίρεσης ανάλογα με το κριτήριο που εξετάζεται (Καρύμπαλης, 2010).

- Με βάση τα μορφολογικά χαρακτηριστικά της η παράκτια ζώνη χωρίζεται σε 4 επιμέρους τμήματα (εικ. 1):
  - την επι-παράλια ζώνη (backshore)
  - το μέτωπο της παραλίας (foreshore)
  - την ενδο-παράλια ζώνη (inshore)
  - και την προπαράλια ζώνη (offshore)
- Με βάση τον τύπο των κυμματικών διεργασιών η παράκτια ζώνη χωρίζεται σε 3 επιμέρους τμήματα που όλα μαζί αποτελούν την περι-παράλια ζώνη (nearshore zone) (εικ. 1):
  - τη ζώνη διαβροχής (swash zone)
  - τη ζώνη κυματωγής (surf zone)
  - και τη ζώνη θραύσης των κυμάτων (breaker zone)



Εικόνα 1: Η παράκτια ζώνη διαιρεμένη σε επιμέρους τμήματά με βάση τα μορφολογικά χαρακτηριστικά της και τον τύπο κυμματικής διεργασίας (Καρύμπαλης, 2010, τροποποιημένο από Briggs et al., 1997).

- Με βάση τα ιζηματολογικά χαρακτηριστικά της, δηλαδή τον τύπο του ιζήματος, τις ιζηματοδομές και τις διεργασίες απόθεσης, η παράκτια ζώνη χωρίζεται σε 4 επιμέρους τμήματα (Reading & Collinson, 1996):
  - Αιγιαλίτιδα ζώνη (beach zone): Η περιοχή της ξηράς που καλύπτεται περιοδικά από τη θάλασσα λόγω της διεργασίας της παλίρροιας και των κυμμάτων. Ορίζεται από τη μέση τιμή της στάθμης της άμπωτης (mean low tide), μέχρι το σημείο που επιδρά ο κυμματισμός.
  - Ζώνη του μετώπου της παραλίας (shoreface zone): Το τμήμα αυτό ορίζεται από από τη μέση τιμή της στάθμης της άμπωτης (mean low tide), μέχρι το βάθος στο οποίο το νερό αλληλεπιδρά με τον πυθμένα λόγω κυμματισμού (μέση βάση κυμμάτων αίθριου καιρού). Χαρακτηριστικό της ζώνης αυτής είναι η ανάπτυξη αμμορυτίδων.
  - Προ-παράλια μεταβατική ζώνη (offshore transition zone): Το τμήμα αυτό ορίζεται από τη μέση βάση κυμμάτων αίθριου καιρού μέχρι τη μέση βάση κυμμάτων καταιγίδας. Στη ζώνη αυτή κατά τη διάρκεια των καταιγίδων κυριαρχεί η απόθεση ιζήματος.
  - Προ-παράλια ζώνη (offshore zone): Η ζώνη αυτή ορίζεται κάτω από τη μέση βάση κυμμάτων καταιγίδας. Χαρακτηριστικό της ζώνης αυτής είναι η απόθεση λεπτόκοκκου ιζήματος.

## 2.2 Ελληνική παράκτια ζώνη

Η Ελλάδα συγκαταλέγεται στις Ευρωπαϊκές χώρες με την μεγαλύτερη παράκτια ζώνη. Το συνολικό μήκος ακτογραμμής ανέρχεται στα 16.200 km με το μισό μήκος να αφορά τα 3.000 νησιά της (Καρύμπαλης κ.α., 2018).

Οι τύποι ακτών της Ελληνικής παράκτιας ζώνης μετά από ταξινόμηση στις παράκτιες γεωμορφές είναι οι εξής (Eurosion, 2004):

- Βραχώδεις, απόκρημνες ακτές μήκους 6.926 km (47,85 %). Η κατηγορία αυτή αποτελείται από αλπικούς γεωλογικούς σχηματισμούς οι οποίοι είναι ανθεκτικοί στη διάβρωση. Χαρακτηριστικό των ακτών αυτών είναι ο σχηματισμός μικρών αιγιαλών (pocket beaches) και παράκτιων πάγκων με μήκος < 200 m που διακόπτουν την συνέχεια των παράκτιων κρημνών. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν επίσης και οι μικρότερης ανθεκτικότητας στην διάβρωση κρημνοί, που αποτελούνται από μεταλπικούς γεωλογικούς σχηματισμούς με παρουσία κορημάτων στη βάση τους, ως αποτέλεσμα των διαβρωτικών διεργασιών.</li>
- Ακτές χαλαρών υλικών μήκους 6.176,4 km (42,66 %). Η κατηγορία αυτή αποτελείται από αιγιαλούς με μήκος 200 – 1000 m που σχηματίζονται μεταξύ βραχωδών ακρωτηρίων. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν επίσης και αιγιαλοί με μήκος > 1000 m και διαφορετικά ιζηματολογικά χαρακτηριστικά, καθώς επίσης και αιγιαλοί που επηρρεάζονται από τη δράσης της παλίρροιας.
- Ακτές πηλωδών ιζημάτων σε πεδία παλίρροιας μήκους 48,4 km (0,33 %). Η κατηγορία αυτή αποτελείται από ακτές ιλύος και αργίλου. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν επίσης και τα ενδοπαλιρροιακά έλη.
- Τεχνητά διαμορφωμένες ακτές σε λιμενικές ζώνες και ακτες αμε παράκτια αναχώματα μήκους 1296,5 km (8,96 %).

## 2.3 Οργανωμένη διαχείριση της παράκτιας ζώνης

Η μετεγκατάσταση σημαντικού αριθμού πλυθησμού στις παράκτιες περιοχές, καθώς και η ανάπτυξη πολλών δραστηριοτήτων τουριστικού κυρίως χαρακτήρα σε αυτές, καθιστούν την παράκτια ζώνη ιδιαίτερης σημασίας. Έτσι κρίθηκε αναγκαίο να εκτιμηθούν οι φυσικοί

κίνδυνοι που απειλούν την παράκτια ζώνη (Kearney, 2013). Στον ελληνικό χώρο το 33 % του πληθυσμού κατοικεί και δραστηριοποιείται σε μια ζώνη 1 – 2 km από την ακτογραμμή και αναμένεται να δεχτεί τις αρνητικές συνέπειες των παράκτιων κινδύνων, ενώ το ποσοστό αυτό σε μια ζώνη 50 km από την ακτογραμμή εκτινάσσεται στο 85 % σύμφωνα με στοιχεία του ΥΠΕΧΩΔΕ το 2003.

Οι παράκτιες περιοχές δέχονται σταδιακά εντονότερες πιέσεις που οφείλονται σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες εξαιτίας της οικονομικής ανάπτυξης και της βιομηχανοποίησης (Κοντογιάννη κ.α., 2011). Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας σε συνδιασμό με τη σταδιακή αύξηση των ακραίων φαινομένων θέτουν σε άμεσο κίνδυνο τις δραστηριότητες αυτές (Δανδουλάκη κ.α., 2018).

Η ιδιαίτερη σημασία του παράκτιου χώρου οδήγησε τα κράτη σε μια προσπάθεια για Οργανωμένη Διαχείριση της Παράκτιας Ζώνης – ΟΔΠΖ (Integrated Coastal Zone Management – ICZM) με θέσπιση συγκεκριμένων οδηγιών και πολιτικών για την διαχείριση του παράκτιου χώρου (Καρύμπαλης, 2010, Καρύμπαλης κ.α., 2014).

Το ζήτημα της διαχείρισης της παράκτιας ζώνης βρίσκεται στο προσκήνιο για πάνω από 40 έτη. Η πρώτη προσέγγιση ξεκίνησε το 1972 στις ΗΠΑ, ενώ το 1992 ο ΟΗΕ στα πλαίσια της Διεθνής Διάσκεψης για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη ασχολήθηκε εκτενώς με το θέμα της οργανωμένης διαχείρησης (UNCEP, 1992). Η συνέχεια δόθηκε στην έκθεση του ΟΗΕ για την κλιματική αλλαγή τα έτη 1992 και 1993 (IPPC, 1994). Σε ευρωπαϊκό επίπεδο το ζήτημα τέθηκε στο Συμβούλιο Υπουργών Περιβάλλοντος της ΕΕ το 2001.

Οι βασικοί στόχοι της Οργανωμένης Διαχείρισης της Παράκτιας Ζώνης περιλαμβάνουν (Καρύμπαλης, 2010, Καρύμπαλης κ.α., 2014):

- Ολοκληρωμένη και βιώσιμη οικονομική ανάπτυξη.
- Στήριξη και ενίσχυση εναλλακτικών και ήπιων μορφών ανάπτυξης.
- Προστασία της φυσικής και πολιτιστικής κληρονομιάς των παράκτιων περιοχών.

Στην Ελλάδα το νομοθετικό πλάισιο για την διαχείριση της παράκτιας ζώνης που ψηφίστηκε το 2001 (v. 2971/01) ορίζει τον αιγιαλό ως τη ζώνη της ξηράς που βρέχεται από τη θάλασσα από τις μεγαλύτερες και συνήθεις αναβάσεις των κυμάτων της. Ως παραλία ορίζεται η ζώνη ξηράς που προστίθεται στον αιγιαλό και καθορίζεται σε πλάτος μέχρι και 50 m από την ακτογραμμή του αιγιαλού, προς εξυπηρέτηση της επικοινωνίας της ξηράς με τη θάλασσα και αντίστροφα, ενώ ως παλαιός αιγιαλός ορίζεται η ζώνη της ξηράς, που προέκυψε από την μετακίνηση της ακτογραμμής προς τη θάλασσα, οφείλεται σε φυσικές προσχώσεις ή τεχνικά έργα και προσδιορίζεται από τη νέα γραμμή του αιγιαλού και το όριο του παλαιότερα υφιστάμενου αιγιαλού.

### 2.4 Παράκτια διάβρωση

Ένας από τους βασικότερους κινδύνους που αντιμετωπίζει η παράκτια ζώνη είναι η φυσική διεργασία της διάβρωσης των ακτών. Η οπισθοχώρηση της ακτογραμμής αποτελεί σημαντική απειλή με μια σειρά αρνητικών περιβαλλοντικών, κοινωνικών και οικονομικών επιπτώσεων για τις παράκτιες περιοχές (Καρύμπαλης, 2010).

Η διάβρωση στην παράκτια ζώνη προκαλείται από ένα σύνολο φυσικών και ανθρωπογενών διεργασιών που συμβαίνουν τόσο στον παράκτιο χώρο, όσο και στο εσωτερικό των ηπειρωτικών περιοχών. Ιδιαίτερα στον παράκτιο χώρο οι φυσικές διεργασίες του κυμματισμού, των θαλάσσιων ρευμάτων και της ανόδου της στάθμης της θάλασσας παίζουν σημαντικό ρόλο στην διάβρωση, καθώς επίσης και η οικιστική και τουριστική ανάπτυξη των ακτών, που αποτελεί ανθρωπογενή παρέμβαση.



Εικόνα 2: Παράκτια διάβρωση στην περιοχή του Τσιλιβή στο ανατολικό τμήμα της Ζακύνθου (Pavel Jiranek, www.shutterstock.com/).

Στον Ελληνικό χώρο η παράκτια διάβρωση αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράκτιους κινδύνους καθώς περίπου το 30 % της ακτογραμμής υποχωρεί (European Commission, 2004), γεγονός που επιφέρει σημαντικές κοινωνικές και οικονομικές συνέπειες.

Οι αρνητικές κοινωνικές, οικονομικές και περιβαλλοντικές συνέπειες ως αποτέλεσμα της διάβρωσης των ακτών είναι οι εξής (Καρύμπαλης, 2010):

- Απώλεια γης οικολογικής αξίας. Σε σύνολο 132.300 km<sup>2</sup> ακτών σε Ευρωπαϊκό επίπεδο που υπόκεινται σε διάβρωση, τα 47.500 km<sup>2</sup> αφορούν υγρότοπους και σημαντικές οικολογικές περιοχές (European Commission, 2004). Η διάβρωση επιπλέον καταστρέφει σημαντικές φυσικές γεωμορφές για την προστασία των περιοχών αυτών όπως οι παράκτιες θίνες και τα αμμώδη φράγματα.
- Οικονομικές συνέπειες. Η οικιστική και τουριστική δραστηριότητα στις ακτές είναι ιδιαιτέρως ανεπτυγμένη και η αξία των αγαθών που περιλαμβάνει ανέρχεται στα 500
   1.000 δις € σε μια ζώνη 500 m από την ακτογραμμή σε Ευρωπαϊκό επίπεδο. Έτσι η ανάγκη για προστασία από τους παράκτιους κινδύνους οδηγεί τα Ευρωπαϊκά παράκτια κράτη σε σημαντικές δημόσιες δαπάνες.
- Κίνδυνος απώλειας ανθρωπίνων ζωών και περιουσιών. Σημαντικό μέρος του Ευρωπαϊκού πληθυσμού κατοικεί και δραστηριοποιείται στην παράκτια ζώνη. Υπολογίζεται ότι 70 εκατομμύρια άνθρωποι και οι κατοικίες τους σε Ευρωπαϊκό επίπεδο δέχονται την επίδραση του κινδύνου της παράκτιας διάβρωσης και τον κίνδυνο της κατάκλυσης από την μελλοντική άνοδο της στάθμης της θάλασσας (European Commission, 2004).

#### 2.5 Μέτρα προστασίας των ακτών

Τα προβλήματα που δημιουργούνται από τον κίνδυνο της παράκτιας διάβρωσης των ακτών οδηγούν στην λήψη μέτρων προστασίας με ανθρωπογενείς παρεμβάσεις και εφαρμογή σκληρών ή ηπιότερων λύσεων για τον περιορισμό του ρυθμού διάβρωσης και την προστασία της παράκτιας ζώνης, ιδιαίτερα σε κομμάτια της ακτογραμμής που υπάρχει ανθρωπογενής δραστηριότητα. Πολλές φορές τα τεχνητά έργα που κατασκευάζονται επηρρεάζουν την παράκτια μεταφορά ιζήματος και προκαλούν ανεπιθύμητη απόθεση (πρόσχωση) ή διάβρωση παρακείμενων παράκτιων περιοχών (Καρύμπαλης, 2010). Οι σκληρές λύσεις προστασίας από τη διάβρωση χωρίζονται σε παράλληλες και εγκάρσιες ως προς την ακτογραμμή και είναι οι εξής (Καρύμπαλης, 2010):

Προστατευτικοί τοίχοι (seawalls). Παράλληλες ως προς την ακτογραμμή κατασκευές συνήθως από τσιμέντο, φυσικούς ογκόλιθους ή και άλλα υλικά. Κατασκευάζονται κυρίως στη βάση παράκτιων κρημνών. Οι κατασκευές αυτές έχει εκτιμηθεί ότι δημιουργούν περισσότερα προβλήματα από εκείνα που καλούνται να λύσουν και πρέπει να αποφεύγεται η κατασκευή τους (Keller & Blodgett, 2006).



Εικόνα 3: Προστατευτικοί τοίχοι στην περιοχή της πόλης της Ζακύνθου στο ανατολικό τμήμα του νησιού με χαρακτηριστικές επιπτώσεις της παράκτιας διάβρωσης.

Κυμματοθραύστες (breakwaters). Γραμμικής μορφής παράλληλες προς την ακτογραμμή κατασκευές συνήθως από φυσικούς ογκόλιθους ή σκυρόδεμα. Συνδέονται με την ακτογραμμή σε περιπτώσεις προστασίας λιμένων. Στα αρνητικά αυτής της λύσης προστασίας είναι οι αλλαγές της μορφής της ακτογραμμής καθώς μεταβάλλονται οι περιοχές διάβρωσης και απόθεσης. Συνηθέστερη αρνητική επίπτωση είναι η απόφραξη της ακτής πίσω από τον κυμματοθραύστη, για αυτό πρέπει να υπάρχει διέλευση μέρους της κυμματικής ενέργειας ώστε να υπάρχει κυκλοφορία και ανανέωση νερού (Κουτίτας, 1998). Η λύση σε αυτό το πρόβλημα επιτυγχάνεται με την κατασκευή είτε βυθισμένων, είτε υδραυλικά διαπερατών, είτε κατασκευασμένων ανά τμήματα κυμματοθραυστών.



Εικόνα 4: Προστατευτικός κυμματοθραύστης από φυσικούς ογκόλιθους στο λιμένα της πόλης της Ζακύνθου στο ανατολικό τμήμα του νησιού.

- Βραχίονες ή πρόβολοι (groins). Γραμμικής μορφής κάθετες (εγκάρσιες) προς την ακτογραμμή κατασκευές συνήθως από φυσικούς ογκόλιθους ή ξύλινους και μεταλλικούς πασσάλους. Κατασκευάζονται σε ομάδες με απόσταση μεταξύ τους διπλάσια ή τριπλάσια του μήκους τους και ύψος 0,5 1 m πάνω από τη μέση θαλάσσια στάθμη (Κουτίτας, 1998). Το βασικό πρόβλημα που εντοπίζεται σε αυτού του είδους τις κατασκευές είναι η απόθεση του ιζήματος στη μία πλευρά του βραχίονα και η διάβρωση της ακτής στην άλλη πλευρά του.
- Ζεύγη προβόλων (jetties). Γραμμικής μορφής κάθετα (εγκάρσια) προς την ακτογραμμή ζεύγη κατασκευών που κατασκευάζονται συνήθως στις ποτάμιες εκβολές και στους διαύλους επικοινωνίας μιας λιμνοθάλασσας με την ανοικτή θάλασσα.
  Σημαντικές κατασκευές που προστατεύουν τις περιοχές αυτές από τον κίνδυνο μετατόπισης και πρόσχωσης από ιζήμα λόγω της παράκτιας κυκλοφορίας.

Στις ηπιότερες λύσεις προστασίας από την παράκτια διάβρωση ξεχωρίζει η τεχνητή τροφοδοσία της ακτής με ίζημα (beach nourishment), με σκοπό να μειωθεί ο ρυθμός υποχώρησης της ακτογραμμής. Ο στόχος της συγκεκριμένης λύσης είναι η επίτευξη θετικού ισοζυγίου ιζημάτων, δηλαδή το τελικό αποτέλεσμα εισόδου / απώλειας ιζημάτων να παρουσιάζει περίσσεια άμμου (Καρύμπαλης, 2010). Η λύση αυτή αν και είναι ιδανική για την αξιοποίηση μιας περιοχής και αισθητικά καλύτερη από τις τεχνητές κατασκευές, είναι προσωρινή και περιέχει υψηλό κόστος.

## 3. ΣΤΑΘΜΗ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ

### 3.1 Μεταβολές της θαλάσσιας στάθμης

Ο καθορισμός της θαλάσσιας στάθμης (sea – level) είναι ιδιαίτερα δύσκολος καθώς η επιφάνειά της δεν είναι επίπεδη αλλά καθορίζεται από πολλές και διαφορετικές διεργασίες μικρής ή μεγάλης περιόδου. Σαν μέση στάθμη θάλασσας (ΜΣΘ) ορίζεται το μέσο ύψος της θαλάσσιας επιφάνειας (Καρύμπαλης, 2010).

Οι κυριότερες διεργασίες που επηρρεάζουν τη στάθμη της θάλασσας διακρίνονται στις εξής 3 κατηγορίες (Ευελπίδου, 2017):

- 1. Διεργασίες που προκαλούν ευστατικές αλλαγές.
  - Ευστατισμός λόγω παγετώνων, με απώλειες ύδατος λόγω ανάπτυξης των παγετώνων ή προσφορά ύδατος λόγω υποχώρηρης αυτών.
  - Προσφορά νέου ύδατος από πυριγενή δραστηριότητα.
- 2. Διεργασίες που προκαλούν ισοστατικές αλλαγές.
  - Μεταβολές λόγω παραμόρφωσης του γεωειδούς, που οφείλονται στην μετακίνηση πετρωμάτων, παγετώνων, υδάτινων όγκων αλλά και αποτέλεσμα αστρονομικών επιδράσεων.
  - Μεταβολές λόγω τεκτονικών διεργασιών, όπως ανυψώσεις στις μεσοωκεάνιες ράχες ή ταπεινώσεις που οφείλονται στον κατακερματισμό των ηπείρων.
- 3. Τοπικές ισοστατικές και τεκτονικές διεργασίες.
  - Ισοστασία λόγω παγετικών φαινομένων λόγω αύξησης ή υποχώρησης του πάγου.
  - Υδροϊσοστασία λόγω αύξησης ή ελάττωσης του ύδατος.

Οι μεταβολές της στάθμης της θάλασσας μεταφράζονται στην παράκτια ζώνη με διάφορες ενδείξεις. Θαλάσσιες εγκοπές (marine notches) που αναπτύσσονται στη βάση παράκτιων κρημνών, αποτέλεσμα της δράσης των κυμμάτων, θαλάσσιες σπηλιές (sea caves) και αψίδες (sea arches, εικ. 2), παράκτιοι πάγκοι (shore platforms) καθώς και θαλάσσιες αναβαθμίδες (marine terraces) αποτελούν γεωμορφές διάβρωσης. Ακτόλιθοι (beach rocks) και παραλιακές ράχες (beach ridges), παλιρροιακά πεδία (tidal flats) και κοραλλιογενείς σχηματισμοί αποτελούν γεωμορφές απόθεσης. Ενδείξεις επίσης αποτελούν και διάφοροι βιολογικοί δείκτες

από διάφορους οργανισμούς ή υπολείμματα αυτών, καθώς και αρχαιολογικά ευρήματα και ιστορικά στοιχεία και καταγραφές (Καρύμπαλης, 2010).



Εικόνα 5: Θαλάσσιες αψίδες που υποδηλώνουν ενδείξεις μεταβολών θαλάσσιας στάθμης και παράκτιας διάβρωσης στο ακρωτήριο Σκινάρι, στο βόρειο τμήμα της Ζακύνθου.



Εικόνα 6: Διάφορες καμπύλες μεταβολής της στάθμης της θάλασσας κατά τα τελευταία 450 χιλιάδες χρόνια. Σε αυτό το διάστημα περιλαμβάνονται οι 4 τελευταίοι κύκλοι παγετωδών (ελάχιστες τιμές) και μεσοπαγετωδών (μέγιστες τιμές) περιόδων (Caputo, 2007).

#### 3.2 Μελλοντική άνοδος της θαλάσσιας στάθμης

Η κλιματική αλλαγή σήμερα είναι η κύρια αιτία μεταβολής της στάθμης της θάλασσας σε παγκόσμιο επίπεδο (Καρύμπαλης, 2010). Η συνεισφορά του νερού της ατμόσφαιρας, των ποταμών και των βάλτων, καθώς και του βιολογικού νερού και του νερού της υγρασίας του εδάφους στην θαλάσσια στάθμη είναι πολύ μικρή. Επιπλέον η συνεισφορά των λιμνών και των ταμιευτήρων είναι κυρίως εποχιακή και σε τοπικό επίπεδο. Συνεπώς μόνο τα υπόγεια ύδατα και οι παγετώνες παίζουν σημαντικό ρόλο στην μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης (Ευελπίδου, 2017).

Οι τελευταίες εκτιμήσεις για την θερμική διαστολή των ωκεανών και την τήξη των παγετώνων και των καλυμμάτων πάγου είναι αρκετά μεγαλύτερες από το παρελθόν (Domingues et al., 2008, Ishii & Kimoto, 2009, Levitus et al., 2009).

Η 4<sup>η</sup> έκθεση της IPPC το 2007 χρησιμοποιώντας δεδομένα δορυφορικής αλτιμετρίας κατόρθωσε να ερμηνεύσει την άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα μέχρι το έτος 2050 η θερμοκρασία του πλανήτη θα αυξηθεί κατά 1 °C ενώ μέχρι το 2100 η αύξηση αυτή θα είναι της τάξεως των 2 °C (IPPC, 2007). Αυτή η αύξηση της θερμοκρασίας λόγω της κλιματικής αλλαγής και του φαινομένου του θερμοκηπίου θα προκαλέσει τήξη των πάγων και θερμική διαστολή του νερού των ωκεανών με αποτέλεσμα την άνοδο της στάθμης της θάλασσας (Καρύμπαλης, 2010). Οι προβλέψεις αυτές επιβεβαιώνονται και από την παρατήρηση της ραγδαίας λέπτυνσης των παγοκαλυμμάτων της Γροιλανδίας και της Ανταρκτικής (Pritchard et al., 2009, Pritchard et al., 2012). Εκτιμάται ότι η θαλάσσια στάθμη θα αυξηθεί κατά 0,15 m μέχρι το 2050 και κατά 0,5 m μέχρι το 2100, με ρυθμό ανόδου 5,5 mm / y (IPPC, 2007).

Η 5<sup>η</sup> έκθεση της IPPC το 2013 παρουσιάζει αναθεωρημένα σενάρια για την άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα ο ρυθμός ανόδου για την περίοδο 1901 – 2010 υπολογίστηκε από 1,5 – 1,9 mm / y, ενώ για την περίοδο 1993 – 2010 ο ρυθμός αυξήθηκε από 2,8 – 3,6 mm / y. Εκτιμάται ότι η θαλάσσια στάθμη θα αυξηθεί κατά 0,26 – 0,98 m κατά την περίοδο 2081 – 2100. Στο πιο απαισιόδοξο σενάριο εκτιμάται άνοδος της θαλάσσιας στάθμης σε παγκόσμιο επίπεδο έως και 1,2 m (IPPC, 2013).


Εικόνα 7: Εκτιμήσεις της μεταβολής της θαλάσσιας στάθμης σε παγκόσμιο επίπεδο για την περίοδο 1800 - 2100. Για την περίοδο 1800 - 1870 τα αποτελέσματα βασίζονται σε εκτιμήσεις, για την περίοδο 1870 -2007 σε ενόργανες παρατηρήσεις, ενώ για την περίοδο 2007 - 2100 σε προβλέψεις μαθηματικών μοντέλων (IPPC, 2007).



Εικόνα 8: Εκτιμήσεις της μεταβολής της θαλάσσιας στάθμης σε παγκόσμιο επίπεδο για την περίοδο 1700 - 2100. Με μπλέ παρουσιάζεται το αισιόδοξο και με κόκκινο το απαισιόδοξο σενάριο για την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης (IPPC, 2013).

### 3.3 Επιπτώσεις από την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης

Οι αρνητικές επιπτώσεις από την κλιματική αλλαγή στην παράκτια ζώνη είναι πολλές και ιδιαίτερα σημαντικές. Εκτός από την παράκτια διάβρωση και τις εντονότερες κυκλωνικές δραστηριότητες που ανυψώνουν τη θαλάσσια στάθμη παροδικά σε τοπικό επίπεδο, σημαντικό αρνητικό αντίκτυπο έχει και η άνοδος της στάθμης της θαλασσας σε παγκόσμιο επίπεδο.

Τα υπόγεια νερά υπόκεινται σε αλλοίωση της ποιότητάς τους λόγω της διείσδυσης του θαλάσσιου νερού στους υδροφόρους ορίζοντες, ενώ οικολογικά σημαντικοί παράκτιοι υγροβιότοποι εξαφανίζονται λόγω της κατάκλυσης από την θάλασσα. Επιπλέον απειλούνται και οι ανθρωπογενείς κατασκευές και δραστηριότητες στην παράκτια ζώνη καθώς και ο ιστορικός και πολιτισμικός πλούτος των παράκτιων περιοχών (Wu et al., 2002, Pendleton et al., 2004, FitzGerald et al., 2008).

Οι παράκτιες γεωμορφές επίσης υπόκεινται σημαντικές μεταβολές από την άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Τα προφίλ των αμμώδων αιγιαλών μετατοπίζονται προς την πλευρά της ξηράς και τα ιζήματα από τη διάβρωση αποτίθενται στον πυθμένα της θάλασσας και αυξάνουν το ύψος του κατά ένα ποσό, όσο αυτό της ανόδου της θαλάσσιας στάθμης προκειμένου το προφίλ του αιγιαλού να διατηρεί μια ισορροπία σύμφωνα με τον κανόνα του Bruun (Bruun Rule, 1962). Οι παραδοχές του μοντέλου του Bruun δεν είναι ρεαλιστικές καθώς η διάβρωση της ακτογραμμής είναι δεδομένα ιδιαίτερα εκτεταμένη (Καρύμπαλης, 2010). Επίσης στο μοντέλο δε λαμβάνεται υπόψην η δράση του ανέμου και η αιολική διάβρωση (McLean, 2004). Παρόλα αυτά ο κανόνας του Bruun καθώς και πολλές βελτιώσεις και παραδοχές του συνεχίζουν να χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα.

Η μεταβολή των αλμυρών ελών εξαρτάται από την ισορροπία μεταξύ της ανόδου της στάθμης της θάλασσας και της ανύψωσης του έλους λόγω απόθεσης πηλού. Το έλος θα βυθιστεί εφόσον ο ρυθμός ανύψωσης είναι μικρότερος της ανόδου ενώ σε αντίθετη περίπτωση το έλος θα ανυψωθεί και θα αποξηρανθεί (Καρύμπαλης, 2010).

Το μέτωπο των παράκτιων θινών διαβρώνεται με την άνοδο της στάθμης της θάλασσας με αποτέλεσμα να αποκτήσουν μεγάλες κλίσεις (Carter & Stone, 1989). Επιπλέον η διάβρωση αυτή τροφοδοτεί με ίζημα τον αιγιαλό καθώς και τον χώρο πίσω από τις θίνες. Το αποτέλεσμα αυτών των διεργασίων είναι η μετανάστευση των παράκτιων θινών προς την πλευρά της ξηράς (Καρύμπαλης, 2010). Οι κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις από την άνοδο της στάθμης της θάλασσας είναι πολύ σημαντικές και συνοψίζονται ως εξής (Bijlsma, 1996):

- Επιπτώσεις στις ανθρωπογενείς δραστηριότητες της παράκτιας ζώνης όπως ο τουρισμός, η αλιεία, η γεωργία καθώς και στους οικισμούς και στην υγεία.
- Υψηλό κόστος προστασίας και λήψης μέτρων για τον περιορισμό των επιπτώσεων.
- Παράκτιες πλημμύρες και ο αριθμός του πληθυσμού που επηρρεάζεται από αυτές.
- Δύσκολη προσαρμογή στα νέα δεδομένα λόγω πολλών παραγόντων που πρέπει να εκτιμηθούν, όπως περιβαλλοντικοί, οικονομικοί, κοινωνικοί και πολιτισμικοί.

Στον ελληνικό χώρο οι χαμηλές παράκτιες περιοχές που αναμένεται να αντιμετωπίσουν τις αρνητικές επιπτώσεις της ανόδου της θαλάσσιας στάθμης είναι τα ποτάμια δέλτα, οι λιμνοθάλασσες, οι παράκτιες αλλουβιακές πεδιάδες και οι μικροί αιγιαλοί που απαντώνται κυρίως στην ηπειρωτική Ελλάδα, σε συνδιασμό με την σημαντική μετεγκατάσταση του πληθυσμού στην παράκτια ζώνη και την τουριστική και βιομηχανική ανάπτυξη των περιοχών αυτών (Maroukian, 1990).

Το 51,96 % της ακτογραμμής της ηπειρωτικής Ελλάδας αποτελείται από τις παραπάνω περιοχές (Gaki – Papanastassiou et al., 1997). Η Θράκη αποτελεί μια περιοχή με υψηλή επικινδυνότητα με 88 % των ακτών της να αποτελούνται από χαμηλές παράκτιες περιοχές. Επίσης η Ήπειρος αναμένεται να πληγεί από την μελλοντική κατάκλυση λόγω της ανόδου της θαλάσσιας στάθμης.

Όσον αφορά τα ποτάμια δέλτα των ποταμών Εύηνου, Καλαμά, Μόρνου και Πηνειού, οι εκτάσεις με υψομετρική ζώνη των 0.5 m πρόκειται να αντιμετωπίσουν σημαντικό πρόβλημα στο προσεχές μέλλον (Καρύμπαλης & Γάκη – Παπαναστασίου, 2008), ενώ πρέπει να γίνει μια εκτίμηση και για τις υψομετρικές ζώνες 1 και 2 m. Η πόλη του Μεσολογγίου που βρίσκεται στο δέλτα του Εύηνου αναμένεται να επηρρεαστεί σημαντικά καθώς βρίσκεται κάτω από την υψομετρική ζώνη του 1 m (Karympalis & Chalkias, 2005).

Επίσης έγινε μια προσπάθεια εκτίμησης των κοινωνικών και οικονομικών επιπτώσεων με τον υπολογισμό των χρήσεων γης για τις παραπάνω χαμηλές υψομετρικές ζώνες μέσα από ένα σύνολο εργασιών (Karympalis et al., 2006, Karympalis et al., 2007, Poulos et al., 2007, Gaki – Papanastasiou et al., 2010, Karympalis et al, 2012).

## 4. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

#### 4.1 Γεωγραφικά στοιχεία

Η περιοχή μελέτης είναι η παράκτια ζώνη του τουριστικού νησιού της Ζακύνθου. Η Ζάκυνθος είναι ένα από τα νησιά των Επτανήσων του Ιονίου πελάγους. Είναι το ενδέκατο σε μέγεθος νησί της Ελλάδος και το τρίτο των Επτανήσων μετά από Κεφαλονιά και Κέρκυρα, με την έκτασή της να ανέρχεται σε 406,19 km<sup>2</sup>. Είναι το δεύτερο σε πληθυσμό στα Επτάνησα με 40.758 μόνιμους κατοίκους σύμφωνα με την τελευταία απογραφή του 2011. Αποτελεί Νομό της Ελλάδας και ανήκει στην περιφέρεια Ιονίων Νήσων.



Χάρτης 1: Άποψη της Ζακύνθου από οπτική δορυφορική εικόνα Sentinel 2 του προγράμματος Copernicus με ημερομηνία λήψης 10/09/20.

Από γεωγραφική άποψη πρόκειται για ένα νησί με ακανόνιστο τριγωνικό σχήμα, το οποίο βρίσκεται 9,5 ναυτικά μίλια δυτικά της Πελοποννήσου (από την Κυλλήνη του Νομού Ηλείας) και 8,5 ναυτικά μίλια νότια του νησιού της Κεφαλονιάς. Έχει συντεταγμένες 37°47'32"Ν και 20°45'28"Ε.

Από το συνολικό αριθμό μόνιμων κατοίκων του νησιού μόνο οι 9.772 βρίσκονται στην πόλη της Ζακύνθου και πρωτεύουσα του νησιού, πράγμα που σημαίνει ότι το νησί κατοικείται εξ ολοκλήρου με διασπορά του πληθυσμού σε όλη του την έκταση, σε αντίθεση με άλλα ελληνικά νησιά. Η πυκνότητα του πληθυσμού ανέρχεται στους 100,23 κατοίκους / km<sup>2</sup>.

Ο μόνιμος πληθυσμός του νησιού διαφοροποιείται την τουριστική περίοδο του καλοκαιριού λόγω της μεγάλης εισροής τουριστών, καθώς πρόκειται για έναν από τους πιο δημοφιλείς τουριστικούς προορισμούς της Μεσογείου. Από πλευράς οικονομίας, είναι νησί με σημαντική αγροτική παραγωγή. Αναπτύσσεται επίσης σημαντική επιχειρηματική δραστηριότητα, κυρίως στον τομέα του τουρισμού, με πολλές ξενοδοχειακές μονάδες και καταλύματα κυρίως στην παράκτια ζώνη, αξιοποιώντας τις φυσικές ομορφιές και την ιστορική παράδοση, σε συνδυασμό με τη φιλοξενία των κατοίκων. Η τουριστική δραστηριότητα υποβοηθείται από την ανάπτυξη σημαντικών έργων υποδομής για το νησί, όπως το σύγχρονο αεροδρόμιο Διονύσιος Σολωμός και τα 2 πορθμεία, της πόλης της Ζακύνθου και του Αγίου Νικολάου Βολιμών. Σύμφωνα με τα στατιστικά της SETE το 2019 ο αριθμός των αφιχθέντων τουριστών υπολογίστηκε στους 856.538 με αύξηση 1,1 % από το 2018 (SETE, 2019). Πρόκειται δηλαδή για ένα νησί με συνεχόμενη αυξανόμενη τουριστική ζήτηση που έχει σημαντικό αντίκτυπο στις πιέσεις που ασκούνται στην παράκτια ζώνη και στις δραστηριότητες που συμβαίνουν σε αυτή.

Οι κύριοι οικισμοί που απαντώνται στην παράκτια ζώνη και δέχονται το σύνολο της τουριστικής δραστηριότητας, εκτός από την πόλη και πρωτεύουσα του νησιού, είναι ο Άγιος Νικόλαος, οι Αλυκές, ο Αλυκανάς και το Τσιλιβή στη βορειοανατολική πλευρά, το Αργάσι και ο Βασιλικός στην νοτιοανατολική πλευρά και το Καλαμάκι, ο Λαγανάς και η λίμνη Κεριού στη νότια πλευρά του νησιού στον κόλπο του Λαγανά.

#### 4.2 Γεωμορφολογικά στοιχεία

Το νησί της Ζακύνθου από γεωμορφολογικής άποψης παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς το σύνολο της δυτικής πλευράς του είναι ορεινό, ενώ το μεγαλύτερο μέρος της κεντρικής, νότιας και ανατολικής πλευράς του είναι χαμηλής τοπογραφίας. Η οροσειρά του Βραχίωνα καταλαμβάνει ολόκληρο το βόρειο, δυτικό και νοτιοδυτικό τμήμα του νησιού και εκτείνεται με διεύθυνση BΔ – NA από το βορειότερο σημείο και το ακρωτήριο Σκινάρι μέχρι και το νοτιότερο σημείο και το ακρωτήριο χροσειράς

και του νησιού είναι 758 m. Το κεντρικό και νότιο τμήμα του νησιού είναι πεδινό με χαμηλά υψόμετρα, ενώ το ανατολικό και νοτιοανατολικό τμήμα είναι κυριώς χαμηλής τοπογραφίας με εξαίρεση μια σειρά χαμηλών λόφων με μέσα υψόμετρα βόρεια της πόλης της Ζακύνθου και τον ορεινό όγκο του Σκοπού που εκτείνεται νότια της πόλης με υψόμετρο 492 m.





Νοτιοανατολικά εκτείνεται η χερσόνησος του Βασιλικού με το ακρωτήριο Γέρακας και νοτιοδυτικά η χερσόνησος του Κεριού με το ακρωτήριο Μαραθιάς. Οι 2 αυτές χερσόνησοι οριοθετούν τον Κόλπο του Λαγανά, ο οποίος περιέχει 2 σημαντικές νησίδες, το Πελούζο στην ανατολική πλευρά, και το Μαραθωνήσι στη δυτική πλευρά. Ανατολικά του νησιού εκτείνονται 2 ακόμη μικροί κόλποι, ο Όρμος της Ζακύνθου και ο Όρμος των Αλυκών.

Η ακτογραμμή του νησιού υπολογίστηκε σε 191,81 km, εκ των οποίων τα 14,5 km αποτελούν ανθρωπογενείς κατασκευές όπως λιμένες και μέτρα προστασίας κατά της διάβρωσης. Η γεωμορφολογία της ακτογραμμής αποτελείται από πλήθος γεωμορφών οι κυριότερες των οποίων είναι οι εξής:

Διαφόρων κλίσεων παράκτιοι κρημνοί (coastal cliffs, εικ. 7). Οι μεγαλύτερης κλίσης παράκτιοι κρημνοί θεωρούνται τυπικές γεωμορφές παράκτιας διάβρωσης σε περιβάλλοντα που κυριαρχεί ο κυματισμός. Πλήθος αυτών έχουν δημιουργηθεί από τεκτονικά ρήγματα, ονομάζονται ρηξιγενείς (plunging cliffs) και διατηρούν τη μεγάλη τους κλίση και υποθαλάσσια (Καρύμπαλης, 2010). Αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος της ακτογραμμής του νησιού και εμφανίζονται σε όλο το δυτικό τμήμα του νησιού,

αλλά και βορειοανατολικά, σε σημεία του ανατολικού τμήματος και νοτιοανατολικά στη χερσόνησο του Βασιλικού, στον ορεινό όγκο του σκοπού. Στις ακτές αυτές κυριαρχούν υπολειμματικές μορφές διάβρωσης όπως θαλάσσια σπήλαια (sea caves) και θαλάσσιες αψίδες (sea arches), ενώ πολύ συχνά παρατηρούνται κατολισθήσεις λόγω σεισμικής δραστηριότητας σε συνδιασμό με την παράκτια διάβρωση. Υπολογίστηκαν σε 153,39 km ακτογραμμής.



Εικόνα 10: Άποψη παράκτιων κρημνών στο δυτικό τμήμα της Ζακύνθου.

• Χαλικώδεις αιγιαλοί (gravel beaches). Χαρακτηρίζονται από παρουσία υλικών μεγάλου μεγέθους με διάμετρο 2 – 2000 mm (Καρύμπαλης, 2010). Εκτείνονται σε όλοκληρο το μήκος της ακτογραμμής του νησιού από τα βορειοανατολικά, τα δυτικά και μέχρι τα νοτιοδυτικά στη χερσόνησο του Κεριού και προκαλούνται κυρίως από διάβρωση των παράκτιων κρημνών που κυριαρχούν στην περιοχή λόγω της δράσης του κυματισμού. Πρόκειται κυρίως για μορφές αιγιαλών σε μύχους μικρών κόλπων (pocket beaches, εικ. 8) με μήκος < 200 m χωρίς καλά ανεπτυγμένο μέτωπο από τον κυματισμό (Καρύμπαλης, 2010). Αρκετές από αυτού του τύπου τις γεωμορφές έχουν δημιουργηθεί από κατολισθήσης των παράκτιων κρημνών κρημνών αράκτιων κρημινών διάβρωση. Υπολογίστηκαν σε 2,68 km ακτογραμμής.</p>



Εικόνα 11: Άποψη της γνωστής παραλίας του Ναυαγίου στο βορειοδυτικό τμήμα της Ζακύνθου που αποτελεί μια γεωμορφή τύπου pocket beach.

Αμμώδεις αιγιαλοί (sand beaches, εικ. 9 & 10): Αποτελούν τις πιο συνηθισμένες γεωμορφές μετά τους παράκτιους κρημνούς. Χαρακτηρίζονται ως γεωμορφές απόθεσης με παρουσία χαλαρών ασύνδετων υλικών και κύριο συστατικό την άμμο και λιγότερο την ιλύ και την άργιλο. Η έκτασή τους εκτείνεται από τη μέση στάθμη της άμπωτης μέχρι το ανώτατο όριο των θαλάσσιων διεργασιών, το οποίο συνήθως είναι το μέτωπο ενός παράκτιου κρημνού είτε η έναρξη των χερσαίων αποθέσεων (εδάφους) που πολλές φορές συνδέεται με βλάστηση (Καρύμπαλης, 2010). Εκτείνονται σε όλοκληρο το μήκος της ανατολικής και νότιας ακτογραμμής του νησιού. Οι πιο σημαντικοί παρατηρούνται στον Όρμο των Αλυκών, στο Τσιλιβή, στο Αργάσι, σε ολόκληρη τη χερσόνησο του Βασιλικού και στον Κόλπο του Λαγανά από το Καλαμάκι μέχρι τον Αγ. Σώστη. Αυτές οι περιοχές λόγω της έκτασης των αμμώδων αιγιαλών έχουν αποκτήσει σημαντική τουριστική δραστηριότητα με κατασκευή πολλών ανθρωπογενών κατασκευών κατά μήκος της ακτογραμμής τους. Σημαντικό μορφολογικό χαρακτηριστικό των γεωμορφών αυτών είναι η ανάπτυξη αμμορυτίδων (ripple marks). Πρόκειται για αμμώδεις κυματοειδείς συγκεντρώσεις κυρίως στον πυθμένα των αβαθών (Καρύμπαλης, 2010). Υπολογίστηκαν σε 21,24 km ακτογραμμής.



Εικόνα 12: Άποψη της παραλίας Banana στη χερσόνησο του Βασιλικού, στο νοτιοανατολικό τμήμα της Ζακύνθου που αποτελεί μια γεωμορφή αμμώδους αιγιαλού (www.gozakynthos.gr/).



Εικόνα 13: Άποψη των παραλιών του Αλυκανά και στο βάθος των Αλυκών στο ανατολικό τμήμα της Ζακύνθου που αποτελεί μια γεωμορφή αμμώδους αιγιαλού. Χαρακτηριστικές είναι οι ανθρωπογενείς κατασκευές με την παρουσία λιμένα με κυμματοθραύστη (breakwater) και πρόβολων (groins) για την προστασία από την παράκτια διάβρωση (www.gozakynthos.gr/).

### 4.3 Γεωλογικά στοιχεία

## 4.3.1 Γεωτεκτονική θέση και εξέλιξη

Το νησί της Ζακύνθου βρίσκεται ανατολικά του Ελληνικού τόξου (Hellenic trench) και συμμετέχει ενεργά στο γεωτεκτονικό καθεστώς της περιοχής. Πρόκειται για μια ζώνη καταβύθισης των υπολλειμάτων του ωκεάνιου φλοιού της Τηθύος (Αφρικανική πλάκα) κάτω από την Ευρασιατική πλάκα και την μικρόπλακα του Αιγαίου. Περιγράφεται σαν μια τοξοειδής βαθιά λεκάνη μήκους 1000 km που περιβάλλει την Πελοπόννησο και τα Ιόνια νησιά, συνεχίζει νότια της Κρήτης και Ανατολικά της Ρόδου. Η διεύθυνση βύθισης είναι BA και η ταχύτητα φτάνει το 1 cm / y. Αντίστοιχα η Ευρασιατική πλάκα μαζί με τη μικρόπλακα του Αιγαίου έχει διεύθυνση κίνησης ΝΔ με ταχύτητα 4,5 cm / y. Έτσι η τελική σύγκλιση των 2 πλακών φτάνει τη μέγιστη ταχύτητα των 5,5 cm / y (Δούτσος, 2000).



Χάρτης 2: Γεωτεκτονικός χάρτης των Ελληνίδων ζωνών με τις κύριες τεκτονικές δομές τους. Σε κόκκινο περίγραμμα η περιοχή μελέτης (Katrivanos, 2013, τροποποιημένο από Mountrakis, 1986, Kilias et al., 2001, 2012, Ring et al., 2010).

Ο ελληνικός χώρος διαιρείται σε 14 γεωτεκτονικές ζώνες με βασική διάκριση που επικρατεί στη γεωλογική ορολογία σε Εσωτερικές και Εξωτερικές Ελληνίδες (Μουντράκης, 1985). Η περιοχή μελέτης τοποθετείται στις 2 τελευταιές ζώνες από ανατολικά προς δυτικά, την Αδριατικοϊόνιο ζώνη και τη ζώνη Παξών ή Προαπουλία οι οποίες ανήκουν στις εξωτερικές ελληνίδες.

Η Αδριατικοϊόνιος ζώνη εμφανίζεται χωρίς Προαλπικό υπόβαθρο και με συνεχή Αλπική ιζηματογένεση καθόλη τη διάρκεια του Μεσοζωϊκού μέχρι το Ηώκαινο, με αποθέσεις εβαποριτών, σειρά ασβεστολίθων διαφόρων τύπων, σχιστολίθων, κερατολίθων και φλύσχη Ολιγοκαίνου – Μειοκαίνου. Η ζώνη εμφανίζεται επωθημένη πάνω στην ζώνη Παξών ή Προαπουλίας λόγω της Αλπικής ορογένεσης που έλαβε χώρα (Μουντράκης, 1985).

Η ζώνη Παξών ή Προαπουλία αποτελεί τμήμα της Απούλιας πλάκας που εκτείνεται προς την Ιταλία και το μεγαλύτερο τμήμα της βρίσκεται προς τα δυτικά βυθισμένο κάτω από τη θάλασσα, με συνεχής νηριτική ανθρακική ιζηματογένεση από το Α. Τριαδικό μέχρι και το Νεογενές (Κ. Μειόκαινο) και η απουσία φλύσχη. Παρατηρούνται κυρίως νηριτικοί και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, γύψοι και δολομίτες, καθώς και ενστρώσεις κερατολίθων και μαργών ανάμεσα στους ασβεστόλιθους (Μουντράκης, 1985).

### 4.3.2 Αλπικοί σχηματισμοί

Στη Ζάκυνθο οι σχηματισμοί που αντιπροσωπεύουν την Αδριατικοϊόνιο ζώνη είναι Τριαδικής ηλικίας και έχουν περιορισμένη έκταση ενώ δεν παρατηρείται φλύσχης. Εμφανίζονται στη χερσόνησο του Βασιλικού και αποτελούν τον κύριο ορεινό όγκο του Σκοπού. Από τους παλαιότερους στους νεότερους απαντώνται ως εξής (Dermitzakis, 1977, IΓΜΕ, 1980, Λέκκας, 1993, Χουσιανίτης, 2009):

- Ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι Τριαδικής ηλικίας.
- Γύψοι και ανυδρίτες Τριαδικής ηλικίας άσπρου και γκρίζου χρώματος που συχνά εμφανίζονται κατακερματισμένοι ως εμφανίσεις μέσα στους ασβεστολίθους.
- Συνεκτικά λατυποπαγή Τριαδικής ηλικίας από ασβεστόλιθους και δολομίτες μαύρου χρώματος.

Στη Ζάκυνθο οι σχηματισμοί που αντιπροσωπεύουν την ζώνη Παξών είναι Κρητιδικής έως Μειοκαινικής ηλικίας. Εμφανίζονται στο κεντρικό τμήμα του νησιού και στις περισσότερες

περιπτώσεις υπόκεινται των Νεογενών νεότερων σχηματισμών, εμφανίζονται όμως στη βορειοανατολική και νότια παράκτια ζώνη. Η κύρια εμφάνιση των σχηματισμών της ζώνης βρίσκεται σε ολόκληρο το δυτικό και νοτιοδυτικό τμήμα μέχρι την ακτογραμμή και συνθέτουν τον κύριο ορεινό όγκο του νησιού, την οροσειρά του Βραχίωνα. Από τους παλαιότερους στους νεότερους απαντώνται ως εξής (Aubouin & Decourt, 1962, Μίρκου, 1974, Dermitzakis, 1977, IΓΜΕ, 1980, Νικολάου, 1983, Λέκκας, 1993, Χουσιανίτης, 2009):

- Κλαστικοί βιοκλαστικοί νηριτικοί ασβεστόλιθοι, δολομίτες και δολομιτικοί ασβεστόλιθοι Α. Κρητιδικής ηλικίας, λευκοί, λεπτοκοκκώδεις έως κοκκώδεις και λατυποπαγείς.
- Μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι Ηωκαινικής ηλικίας, υπόλευκοι έως λευκοί και λεπτοστρωματώδεις έως παχυστρωματώδεις.
- Μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι Ολιγοκαινικής ηλικίας, λευκοί, μικρής έκτασης και πάχους,
  με στρώσεις κιτρινωπών μαργαϊκών οριζόντων.
- Ψαμμίτες, ιλυόλιθοι και μάργες γαλαζωπές Μειοκαινικής ηλικίας



• Γύψοι και ανυδρίτες Μειοκαινικής ηλικίας ως εμφανίσεις μέσα στους ψαμμίτες.

Χάρτης 3: Γεωλογικός χάρτης της Ζακύνθου (Χουσιανίτης, 2009, από ΙΓΜΕ, 1980, Λέκκας, 1993).

## 4.3.3 Μεταλπικοί σχηματισμοί

Στη Ζάκυνθο οι μεταλπικοί σχηματισμοί εμφανίζονται σε ολόκληρο το κεντρικό, ανατολικό, και νοτιοανατολικό τμήμα του νησιού στην χερσόνησο του Βασιλικού και είναι Πλειοκαινικής έως Ολοκαινικής ηλικίας. Υπέρκεινται των Αλπικών σχηματισμών με χαρακτηριστική ασυμφωνία. Από τους παλαιότερους στους νεότερους απαντώνται ως εξής (Sorel, 1976, Dermitzakis et al., 1977, IΓΜΕ, 1980, Νικολάου, 1983, Underhill, 1989, Λέκκας, 1993, Χουσιανίτης, 2009):

- Ψαμμίτες με αργιλομαργαϊκές παρεμβολές Πλειοκαινικής ηλικίας.
- Παράκτιες αποθέσεις Πλειστοκαινικής ηλικίας με ασβεστιτικούς ψαμμίτες, αργίλους
  και συνεκτικά κροκαλοπαγή που υπέρκεινται των ψαμμιτών με χαρακτηριστική ασυμφωνία (εικ. 11).
- Κροκάλες και λατύπες σε κοίτες χειμμάρων Ολοκαινικής Ηλικίας με χαλαρά, λεπτομερή και αδρομερή υλικά και σύστημα θινών κατά μήκος της ακτογραμμής του Λαγανά, του Καλαμακίου, της πόλης της Ζακύνθου, του Τσιλιβή, των Αλυκών και του Αλυκανά.
- Αλλουβιακές αποθέσεις Ολοκαινικής ηλικίας με άμμους, αργίλους και ιλύες.
- Σύγχρονες παράκτιες αποθέσεις Ολοκαινικής ηλικιάς με θαλάσσια ιζήματα κατά μήκος της ακτογραμμής του Τσιλιβή, των Αλυκών και του Αλυκανά.



Εικόνα 14: Χαρακτηριστική ασυμφωνία μεταξύ Πλειοκαίνου – Πλειστοκαίνου στο ακρωτήριο Γέρακας, στο νοτιοανατολικό τμήμα της Ζακύνθου.

#### 4.4 Νεοτεκτονικά στοιχεία

Η κυρίαρχη τεκτονική δομή που παρατηρείται στη Ζάκυνθο είναι το μεγα – αντίκλινο της οροσειράς του Βραχίωνα στο δυτικό τμήμα του νησιού το οποίο αποτελεί προϊόν δημιουργίας της Αλπικής ορογένεσης. Η διεύθυνση του άξονα του αντικλίνου είναι BBΔ – NNA και τέμνεται από μεγάλο αριθμό ρηγμάτων τα οποία μεταθέτουν τον άξονα είτε οριζόντια είτε κατακόρυφα, με αποτέλεσμα το βόρειο τμήμα του αντικλίνου βυθίζεται προς BΔ και το νότιο τμήμα προς NA με ανάλογη ταπείνωση της μορφολογίας (Μίρκου, 1974, Sorel, 1976, Λέκκας, 1993, Χουσιανίτης, 2009).

Σημαντική τεκτονική δομή αποτελεί και η επώθηση του Σκοπού με τους σχηματισμούς της Αδριατικοϊονίου ζώνης να επωθούνται πάνω σε αυτούς της ζώνης Παξών. Το όριο της επώθησης φαίνεται να βρίσκεται κάτω από την πόλη της Ζακύνθου και καλύπτεται από νεότερες αποθέσεις, ενώ εντοπίστηκε και στο Μαραθωνήσι (Νικολάου, 1983).

Στη Ζάκυνθο παρατηρείται μεγάλη ποικιλία ρηγμάτων με διάφορα μεγέθη αλμάτων από μερικά m μέχρι μερικές εκατοντάδες m (Λέκκας, 1993, Lekkas, 1999, εικ. 12).



Εικόνα 15: Διάκριση των ρηγμάτων στο νησί της Ζακύνθου ανάλογα με το άλμα τους (Lekkas & Mavroulis, 2018 από Λέκκας, 1993).

Στην Αδριατικοϊόνιο ζώνη εμφανίζονται ανάστροφα ρήγματα και ρήγματα εφφίπευσης, ενώ στην ζώνη Παξών κυριαρχούν κανονικά ρήγματα με εμφανίσεις μερικών ανάστροφων ρηγμάτων που οφείλονται σε συμπιεστική τεκτονική Μειοκαινικής – Πλειοκαινικής ηλικίας (Sorel, 1976, Underhill, 1989).

Με βάση τις μεγαλύτερες ρηξιγενείς δομές που εμφανίζονται στη Ζάκυνθο έγινε διαχωρισμός του νησιού σε νεοτεκτονικές ενότητες με όριά τους ομάδες ενεργών ρηγμάτων που παρουσιάζουν άλμα > 100 m ως εξής (Λέκκας, 1993, Lekkas, 1999, Χουσιανίτης, 2009, εικ. 13):



Εικόνα 16: Κύριες ενεργές ομάδες ρηγμάτων με άλμα > 100 m αριστερά και νεοτεκτονικές ενότητες μαζί με την κινηματική τους δεξιά στο νησί της Ζακύνθου (Lekkas & Mavroulis, 2018 από Λέκκας, 1993).

- Ενότητα Β. Ζακύνθου. Τοποθετείται στο βόρειο τμήμα του νησιού. Διαχωρίζεται στα νότια από μια ομάδα 4 ρηγμάτων ημικυκλικής μορφής τα οποία χαρακτηρίζονται ενεργά με Ολοκαινική ηλικία (εικ. 14).
- Ενότητα κεντρικής Ζακύνθου. Η μεγαλύτερη σε έκταση ενότητα του νησιού η οποία διαιρείται σε 2 υποενότητες. Την υποενότητα του Βραχίωνα, που αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος του αντικλίνου του ορεινού όγκου του Βραχίωνα στο δυτικό τμήμα του νησιού και την υποενότητα της Α. Ζακύνθου, που αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος του πεδινού ανατολικού τμήματος του νησιού. Διαχωρίζονται μεταξύ τους κυρίως λόγω λιθολογίας και αναγλύφου, καθώς και από την ύπαρξη ενός μεγάλου πιθανού ρήγματος ανάμεσά τους. Η υποενότητα του Βραχίωνα διαχωρίζεται στα νότια από την 1<sup>η</sup> ομάδα ρηγμάτων της χερσονήσου του Κεριού, ενώ το νότιο όριο της υποενότητας



της Α. Ζακύνθου δεν είναι σαφές, αλλά συμπίπτει με το όριο της επώθησης της Αδριατικοϊονίου ζώνης πάνω στη ζώνη Παξών.

Εικόνα 17: Άποψη της παραλίας του Μακρύ Γυαλού στο βορειοανατολικό τμήμα της Ζακύνθου που αποτελεί μια γεωμορφή τύπου pocket beach. Στο βάθος εμφανίζεται η ρηξιγενής επιφάνεια ενός εκ των 4 ρηγμάτων που συγκροτούν το όριο μεταξύ των νεοτεκτονικών ενοτήτων της κεντρικής και Β. Ζακύνθου.

- Ενότητα Κεριού. Τοποθετείται στο νοτιοδυτικό τμήμα του νησιού, στο ανώτερο τμήμα της χερσονήσου του Κεριού, το οποίο παρουσιάζει χαρακτηριστική μορφολογική ταπείνωση και αποτελεί τυπική μορφή τεκτονικής τάφρου. Διαχωρίζεται στα νότια από τη 2<sup>η</sup> ομάδα ρηγμάτων της χερσονήσου του Κεριού.
- Ενότητα Ν. Ζακύνθου. Τοποθετείται στο νοτιοδυτικό τμήμα του νησιού, στο κατώτερο τμήμα της χερσονήσου του Κεριού και αποτελεί τυπική μορφή τεκτονικού κέρατος.
- Ενότητα Σκοπού. Τοποθετείται στο νοτιοανατολικό τμήμα του νησιού, στη χερσόνησο του Βασιλικού και περιλαμβάνει τον ορεινό όγκο του Σκοπού. Εμφανίζει έντονη τεκτονική δραστηριότητα με παρουσία ανάστροφων ρηγμάτων και εφφιπεύσεων λόγω της επώθησης της Αδριατικοϊονίου ζώνης πάνω στη ζώνη Παξών.

Η πλούσια νεοτεκτονική δραστηριότητα σε συνδιασμό με τη γεωτεκτονική θέση της Ζακύνθου εκφράζονται με την υψηλότερη σεισμικότητα στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου (Makropoulos & Burton, 1984), με αποτέλεσμα να εντάσσεται από τον ΟΑΣΠ στη ζώνη ΙΙΙ με την υψηλότερη επικινδυνότητα στον ελληνικό χώρο (ΟΑΣΠ, 2004). Η Ζάκυνθος έχει πληγεί πολλές φορές στο κοντινό παρελθόν από ισχυρούς και καταστρεπτικούς σεισμούς. Χαρακτηριστικά αναφέρονται 5 ισχυροί σεισμοί από το 1953 έως το 1983 στην ευρύτερη περιοχή του νότιου τμήματος του ρήγματος μετασχηματισμού δυτικά του νησιού της Κεφαλλονιάς με μεγέθη M > 6.0 R. Σημαντικός είναι ο ισχυρός σεισμός στις 12 / 08 / 1953 με μέγεθος M = 7.2 R, που ακολούθησε τους 2 ισχυρούς προσεισμούς που σημειώθηκαν στις 09 / 08 / 1953 και στις 11 / 08 / 1953 με μεγέθη M = 6,4 R και M = 6,3 R αντίστοιχα και προκάλεσε ανυπολόγιστες καταστροφές στα νησιά της Ζακύνθου και Κεφαλλονιάς και σημαντικές ανθρώπινες απώλειες με 455 νεκρούς. Επίσης στην ευρύτερη περιοχή νοτιοδυτικά της Ζακύνθου στη ζώνη υποβύθισης του Ελληνικού τόξου αναφέρονται 6 ισχυροί σεισμοί με μεγέθη M > 6.0 R από το 1958 έως το 2018. Ο τελευταίος χρονικά σεισμός σημειώθηκε στις 26 / 10 / 2018 με μέγεθος M = 6.8 R ο οποίος προκάλεσε έντονα κατολισθητικά φαινόμενα κατά μήκος της ακτογραμμής του νησιού (εικ. 15), καθώς και τσουνάμι που επηρρέασε εκτός από τις ακτές του νοτιοδυτικού τμήματος του νησιού, τις Ακτές της δυτικής και νοτιοδυτικής Πελοποννήσου και τις ακτες τις νοτιοανατολικής Ιταλίας και τις βόρειες ακτές της Αφρικής (Lekkas & Mavroulis, 2018).



Εικόνα 18: Κατολίσθηση στο νοτιοδυτικό τμήμα της Ζακύνθου, αποτέλεσμα του ισχυρού σεισμού μεγέθους M = 6.8 R στις 26/10/2018 σε συνδυασμό με την παράκτια διάβρωση των ασβεστολιθικών παράκτιων κρημνών. Η κατολίσθηση δημιούργησε νέο μέτωπο παραλίας και προέλαση της ακτογραμμής προκαλώντας την ένωση της μεγαλύτερης εκ των βραχονησίδων Μυζήθρες με το κυρίως νησί.

### 4.5 Περιβαλλοντικά στοιχεία

Το κλίμα στο νησί της Ζακύνθου χαρακτηρίζεται ήπιο μεσογειακό με μεγάλη ηλιοφάνεια καθόλη τη διάρκεια του έτους και έντονες βροχοπτώσεις κατά την περίοδο Νοεμβρίου – Ιανουαρίου. Τα καλοκαίρια είναι συνήθως θερμά και ξηρά και σχεδόν καθημερινό βορειοδυτικό άνεμο, κυρίως τις απογευματινές και βραδινές ώρες. Το υδρογραφικό δίκτυο του νησιού περιορίζεται σε εποχικούς χειμμάρους καθώς απουσιάζουν οι συνεχούς ροής ποταμοί και κατά συνέπεια τα δελταϊκά ιζήματα στην παράκτια ζώνη.

Σημαντικής περιβαλλοντικής σημασίας θεωρείται το Εθνικό Θαλάσσιο Πάρκου Ζακύνθου (ΕΘΠΖ) το οποίο θεωρείται προστατευόμενη περιοχή και εντάσσεται στο ευρωπαϊκό δίκτυο Natura 2000. Περιλαμβάνει τον Κόλπο του Λαγανά μαζί με τα νησιά Μαραθωνήσι και Πελούζο (εικ. 16), καθώς και το σύνολο της δυτικής και βορειοανατολικής ακτογραμμής του νησιού.



Εικόνα 19: Άποψη του Κόλπου του Λαγανά μαζί με το Μαραθωνήσι στο νότιο τμήμα της Ζακύνθου από την κορυφή του ορεινού όγκου του σκοπού. Το σύνολο της περιοχής εντάσσεται στο ΕΘΠΖ.

Η ποικιλομορφία του τοπίου είναι ιδιαίτερα σημαντική στην παράκτια ζώνη με αμμώδεις παραλίες, αμμοθινικά συστήματα, βραχώδεις ακτές και σημαντικούς γεωλογικούς σχηματισμούς (γλίνες), ενώ χαρακτηρίζεται και από διάφορα είδη οικοσυστημάτων με μεγάλο αριθμό ειδών χλωρίδας και πανίδας. Ανάμεσα τους συμπεριλαμβάνονται αρκετά απειλούμενα ή προστατευόμενα είδη, όπως η θαλάσσια χελώνα Caretta Caretta και η Μεσογειακή Φώκια Monachus Monachus (www.nmp-zak.org). Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας λόγω της κλιματικής αλλαγής ενδέχεται να επηρρεάσει σημαντικά το ΕΘΠΖ. Σύμφωνα με τα 2 σενάρια της IPPC για την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης (0.2 & 0.6 m, IPPC, 2007) και τα 2 σενάρια πρόβλεψης από τον Grinsted (0.9 & 1.3 m, Grinsted et al., 2010), υπολογίστηκε σε 6 παραλίες του ΕΘΠΖ, μήκους ακτογραμμής 6,3 km και συνολικής έκτασης 152,9 km<sup>2</sup>, ότι θα επηρρεαστεί το 11 %, 32,2 %, 50,3 %, 71,1 % της έκτασης αυτών αντίστοιχα (Katselidis et al., 2013).

Η παράκτια ζώνη της Ζακύνθου σύμφωνα με την πιο πρόσφατη μελέτης κάλυψης γης του Corine Land Cover 2018 καλύπτεται στο μεγαλύτερο ποσοστό από σκληροφυλλική βλάστηση που εντοπίζεται σε ολόκληρο το δυτικό τμήμα, το βορειοανατολικό και το νοτιοανατολικό τμήμα του νησιού. Σημαντική έκταση καταλαμβάνουν ελαιώνες που εντοπίζονται κυρίως στο ανατολικό κεντρικό τμήμα και στο νοτιοδυτικό τμήμα του νησιού και γη που καλύπτεται κυρίως από τη γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης και εντοπίζεται κυρίως στο βορειοανατολικό και νοτιοανατολικό τμήμα του νησιού.



Χάρτης 4: Κάλυψη γης Corine Land Cover 2018 σε ζώνη 1 km από την ακτογραμμή, σε συνδυασμό με το δίκτυο Natura 2000 των προστατεύομενων περιοχών της Ζακύνθου.

# 5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

#### 5.1 Μέθοδος Δείκτη Παράκτιας Ευαισθησίας CSI

Για την εκτίμηση της ευαισθησίας της ακτογραμμής της Ζακύνθου σε μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης χρησιμοποιήθηκε ελαφρώς παραλλαγμένος δείκτης παράκτιας τρωτότητας CVI (Coast Vulnerability Index) που προτάθηκε το 1991 από τον Gornitz και αργότερα τροποποιήθηκε από τους Thieler και Hammar – Klose to 1999.

Η παραλλαγή εφαρμόστηκε το 1998 από τον Shaw και ονομάστηκε Δείκτης Παράκτιας Ευαισθησίας CSI (Coastal Sensitivity Index). Η διαφοροποίηση από τον CVI είναι ότι ο CSI λαμβάνει υπόψην και την παράμετρο της γεωλογίας και της ανθεκτικότητας των γεωλογικών σχηματισμών που βρίσκονται στην παράκτια ζώνη σε συνδιασμό με την παράμετρο της παράκτιας γεωμορφολογίας.

Για την εκτίμηση του δείκτη εφαρμόστηκε μια χωρική πολυκριτηριακή ανάλυση σε περιβάλλον GIS 6 παραμέτρων που συντελούν στον υπολογισμό του δείκτη. Η πολυκριτηριακή ανάλυση έχει κύριο στόχο τη διαμόρφωση διαδικασιών για τη λήψη αποφάσεων στην επίλυση προβλημάτων και ερωτημάτων χρησιμοποιώντας σύνδεση των παραμέτρων που σχετίζονται με το πρόβλημα (Χαλκιάς, 2015). Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε με επαναταξινόμηση των παραμέτρων σε ενιαία τακτική κλίμακα 1 – 5 (πιν. 2) και υπολογισμό του τελικού δείκτη με τη μέθοδο της χαρτογραφικής υπέρθεσης των παραμέτρων αυτών. Η χαρτογραφική υπέρθεση αποτελεί αναλυτικό εργαλείο συνδυασμού διαφόρων επιπέδων δεδομένων με χωρική ταύτιση (γεωαναφορά) και ενιαίο προβολικό σύστημα αναφοράς, για την παραγωγή ενός τελικού επίπεδου (Χαλκιάς, 2015).

CSI	Ευαισθησία				
1	Πολύ χαμηλή				
2	Χαμηλή				
3	Μέτρια				
4	Υψηλή				
5	Πολύ υψηλή				

Πίνακας 2: Ενιαία τακτική κλίμακα 1 – 5 κατηγοριοποίησης παραμέτρων CSI (Thieler, 2000).

Ο μαθηματικός τύπος του δείκτη που εφαρμόστηκε περιλαμβάνει 6 παραμέτρους που κατηγοριοποιούνται σε 2 ομάδες και αφορούν 3 γεωμορφολογικές και 3 ωκεανογραφικές και έχει την εξής μορφή:

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

όπου οι 3 γεωμορφολογικές παράμετροι είναι:

- a = συνδυασμένη παράμετρος γεωλογίας γεωμορφολογίας,
- b = παράμετρος παράκτιας κλίσης,
- c = παράμετρος ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής,

ενώ οι 3 ωκεανογραφικές παράμετροι είναι:

- d = παράμετρος σχετικής μεταβολής της μέσης θαλάσσιας στάθμης,
- e = παράμετρος μέσου ύψους κύματος,
- f = παράμετρος μέσου παλιρροιακού εύρους.





## 5.2 Δεδομένα

## 5.2.1 Ανάκτηση δεδομένων

Οι 2 βασικοί τύποι δεδομένων δεδομένων είναι τα ψηφιδωτά (raster) και τα διανυσματικά (vector) τα οποία έχουν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους, χωρίς κάποιο από τα 2 να χαρακτηρίζεται καλύτερο από το άλλο και εξαρτάται από τη μέθοδο που χρησιμοποιείται και το στόχο του ερευνητή (Χαλκιάς, 2003). Για την παραγωγή ποσοτικών αποτελεσμάτων στην εφαρμογή της παραπάνω μεθόδου προτιμήθηκε η χρησιμοποίηση και η μετατροπή σε αυτά όπου κρίνεται αναγκαίο, των διανυσματικών (vector) δεδομένων.

Για την δημιουργία των χαρτογραφικών επιπέδων των παραμέτρων ανακτήθηκαν και επεξεργάστηκαν δεδομένα από υπηρεσίες και βιβλιογραφία τα οποία είναι τα εξής:

- Οπτική εικόνα Sentinel 2 με ημερομηνία λήψης 10 / 09 / 2020 και κωδικό προϊόντος S2A\_MSIL2A\_20200910T092031\_N0214\_R093\_T34SDG\_20200910T122928 της περιοχής μελέτης από το πρόγραμμα RUS – Copernicus (https://scihub.copernicus.eu/) το οποίο παρέχει εύκολη προσβασιμότητα σε ελεύθερα δεδομένα. Πρόκειται για δεδομένο ψηφιδωτής (raster) μορφής.
- Γεωλογικός χάρτης του 1980, φύλλο Ζάκυνθος, κλίμακας 1 : 50.000 από το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (IΓΜΕ) (www.igme.gr). Πρόκειται για δεδομένο ψηφιδωτής (raster) μορφής.
- Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου (Digital Elevation Model DEM), υψηλής ακρίβειας με μέγεθος ψηφίδας 5 x 5 m, της περιοχής μελέτης, από το Εθνικό Κτηματολόγιο (EKXA A.E.) (www.ktimatologio.gr). Τα ψηφιακά μοντέλα αναγλύφου είναι μια ψηφιακή αναπαράσταση της μεταβλητότητας του αναγλύφου (Μουρατίδης, 2010) από τα οποία παράγονται μια σειρά δευτερογενών δεδομένων όπως υδρογραφικά δίκτυα και διάφοροι δείκτες αυτών, προσανατολισμός, κλίσεις και μήκος κλιτυών καθώς και επίπεδα σκιασμένου αναγλύφου (Αστάρας κ.α., 2011). Πρόκειτα για δεδομένο ψηφιδωτής (raster) μορφής.
- Νεοτεκτονικά ενεργά ρήγματα της περιοχής μελέτης από την εφαρμογή NOAFaults v3.0 τελευταίας ενημέρωσης 2020 (Ganas et al., 2013). Πρόκειται για δεδομένο διανυσματικής (vector) μορφής.

- Ορθοφωτοχάρτες της περιοχής μελέτης σε μορφή μωσαϊκού από αεροφωτογραφίες του 1996, κλίμακας 1 : 40.000 της τοπογραφικής διεύθυνσης του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, από το Εθνικό Κτηματολόγιο (ΕΚΧΑ Α.Ε.) (www.ktimatologio.gr). Η αεροφωτογράφηση έγινε στα πλαίσια δημιουργίας Ελαιοκομικού και Αμπελουργικού Μητρώου του ελληνικού χώρου κατά τις περιόδους 1996 – 1997 και 1999 – 2000. Πρόκειται για δεδομένο ψηφιδωτής (raster) μορφής.
- Χάρτες μικρής κλίμακας από βιβλιογραφική ανασκόπηση για τις παραμέτρους του μέσου ύψους κύματος και του παλιρροϊκού εύρους.
- Κάλυψη γης της Ζακύνθου το 2018, κλίμακας 1 : 100.000 από το πρόγραμμα Corine Land Cover 2018 της Ευρωπαϊκής Ένωσης (https://land.copernicus.eu/paneuropean/corine-land-cover/clc2018). Πρόκειται για δεδομένο διανυσματικής (vector) μορφής.
- Προστατευόμενες περιοχές της Ζακύνθου από το πρόγραμμα Natura 2000 μέσω της διαδικτυακής πύλης ανοικτών δεδομένων της Ελληνικής Κυβέρνησης (www.geodata.gov.gr). Πρόκειται για δεδομένο διανυσματικής (vector) μορφής.

### 5.2.2 Λογισμικά

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών / ΓΣΠ (Geographical Information Systems / GIS) ορίζονται ως ένα δυναμικό εργαλείο για συλλογή, αποθήκευση, διαχείριση, ανάκτηση, μετασχηματισμό και απεικόνιση γεωχωρικών δεδομένων, σχετικών με φαινόμενα που εξελίσσονται / απαντούν στον πραγματικό κόσμο (Goodchild, 1985, Burrough, 1992, Burrough & McDonnell, 2000).

Ένα τέτοιο λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την εφαρμογή της παραπάνω μεθόδου είναι το ArcGIS Desktop της ESRI με έκδοση 10.2.2. Κάθε έκδοση του ArcGIS περιέχει βασικές εφαρμογές όπως το ArcMap, ArcCatalog και ArcToolbox, καθώς και μια σειρά προαιρετικών εφαρμογών όπως το Spatial Analyst, 3D Analyst και ArcScene (Κουτσόπουλος & Ανδρουλακάκης, 2003).

Για την δημιουργία του επιπέδου της πρόσφατης ακτογραμμής του 2020 αξιοποιήθηκε το ελεύθερο και συνεχώς εξελισσόμενο λογισμικό SNAP τελευταίας έκδοσης v7.0 για την επεξεργασία δορυφορικών εικόνων με διάφορες τεχνικές Τηλεπισκόπισης.

Για την αξιοπιστία και την επαλήθευση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν επιπρόσθετα και τα λογισμικά του Google Earth Pro τελευταίας έκδοσης 2020 και του υπόβαθρου της ESRI του 2014 με υψηλής ευκρίνειας δορυφορικές εικόνες, το οποίο βρίσκεται ενσωματωμένο στο λογισμικό του ArcGIS.

#### 5.2.3 Προβολικό σύστημα αναφοράς

Το προβολικό σύστημα αναφοράς που χρησιμοποιήθηκε είναι το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς ή ΕΓΣΑ87 (Greek Grid) που προτάθηκε το 1987 και αποτελεί το πλέον ισχύον ΓΣΑ στην Ελλάδα. Αποτελεί συνδυασμό κλασσικών και δορυφορικών μετρήσεων με αφετηρία τριγωνομετρικό σημείο στις εγκαταστάσεις του ΕΜΠ στο Διόνυσο Αττικής. Χρησιμοποιεί γεωκεντρικό ελλειψοειδές εκ περιστροφής GRS80 και την Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή μιας ζώνης με κεντρικό μεσημβρινό που διέρχεται από το τριγωνομετρικό σημείο  $\lambda = 24$  ° ως προς Greenwich, False Easting E<sub>0</sub> = 500.000 m και συντελεστή κλίμακας m<sub>0</sub> = 0.9996 (Λιβιεράτος, 1992, Δερμάνης κ.α., 1994, Φωτίου & Πικριδάς, 2006, Αστάρας κ.α., 2011).

Η επιλογή του έγινε για λόγους ακρίβειας και ελαχιστοποίησης των σφαλμάτων στην παραγωγή ποσοτικών αποτελεσμάτων, καθώς το σύστημα αυτό παρέχει την ελάχιστη παραμόρφωση στον ελληνικό χώρο. Επίσης επιλέχθηκε για λόγους ευκολίας, καθώς τα περισσότερα δεδομένα που ανακτήθηκαν έχουν ήδη δημιουργηθεί ή μετατραπεί στο συγκεκριμένο προβολικό σύστημα.

#### 5.3 Δημιουργία επιπέδου ακτογραμμής 2020

Το πρώτο βήμα είναι η οριοθέτηση του επιπέδου της πρόσφατης ακτογραμμής του 2020 για την περιοχή μελέτης. Χρησιμοποιήθηκε μέθοδος Τηλεπισκόπισης για χαρτογράφηση του υδάτινου συστήματος του νησιού της Ζακύνθου με οπτικά δεδομένα Sentinel 2. Πιο συγκεκριμένα ανακτήθηκε οπτική δορυφορική εικόνα S2 της περιοχής μελέτης σε μορφή 2A ατμοσφαιρικά διορθωμένη (Bottom Of Atmosphere), με ημερομηνία λήψης 10 / 09 /2020 από το πρόγραμμα RUS – Copernicus (Παρχαρίδης, 2015, https://scihub.copernicus.eu/).

Για την εφαρμογή της μεθόδου, πραγματοποιήθηκαν οι εξής επεξεργασίες στην οπτική εικόνα S2 σε περιβάλλον λογισμικού SNAP (RUS – Copernicus, 2019):

- Resample: Μετατροπή όλων των φασματικών ζωνών στη ίδια χωρική διακριτική ικανότητα των 5 m για ενιαία μονάδα αναφοράς (cell size 5 x 5 m).
- Subset: Οριοθέτηση της περιοχής μελέτης στην δορυφορική εικόνα για περαιτέρω επεξεργασία.
- Υπολογισμός normalized difference water index (NDWI): Υπολογισμός δείκτη για ανίχνευση υδάτινων όγκων με τη βοήθεια του εργαλείου BandMaths και την εφαρμογή της εξίσωσης NDWI = (Green NIR) / (Green + NIR) = (B3 B8) / (B3 + B8). Στη συνέχεια δημιουργείται μια νέα φασματική ζώνη ξανά με τη λειτουργία BandMaths και την εφαρμογή της εξίσωσης if NDWI > = 0 then 1 else 0 για την ταξινόμηση της εικόνας σε επιφάνεια ύδατος και ξηράς.



Εικόνα 21: Απεικόνιση σε περιβάλλον SNAP της Ζακύνθου στις 10 / 09 /2020. Κάτω δεξιά με φυσικά χρώματα (Red: B4, Green: B3, Blue: B2), κάτω αριστερά φίλτρο Land/Water (Red: B8, Green: B11, Blue: B4) όπου η επιφάνεια ύδατος εμφανίζεται με μάυρο χρώμα, πάνω αριστερά με δείκτη NDWI και πάνω δεξιά ταξινομημένη ανάμεσα σε υδάτινο όγκο με άσπρο χρώμα και ξηρά με μαύρο χρώμα.  Εξαγωγή δεδομένων σε GeoTIFF και επεξεργασία τους σε περιβάλλον ArcGIS: Το τελευταίο βήμα της μεθόδου είναι η εξαγωγή των δεδομένων σε ψηφιδωτή (raster) μορφή και η επεξεργασία τους στο λογισμικό ArcGIS, ψηφιοποιώντας σε μορφή διανυσματικού γραμμικού επιπέδου (polyline) το όριο μεταξύ υδάτινου όγκου και ξηράς για τη δημιουργία της ακτογραμμής του 2020.

### 5.4 Δημιουργία επιπέδων παραμέτρων CSI

### 5.4.1 Παράμετρος Γεωλογίας – Γεωμορφολογίας

Για την παράμετρο της Γεωμορφολογίας χρησιμοποιήθηκε το παραγόμενο διανυσματικό γραμμικό επίπεδο (polyline) της ακτογραμμής του 2020, η οποία επεξεργάστηκε και διαιρέθηκε με το εργαλείο **Split** του ArcMap σε γεωμορφές, με τη βοήθεια οπτικής παρατήρησης από τα λογισμικά Google Earth Pro και ESRI, καθώς και με επί τόπου παρατήρηση και γνώση της περιοχής μελέτης.

Παρατηρήθηκαν 4 γεωμορφές στις οποίες δόθηκαν στο πεδίο id του πίνακα περιγραφών (attribute table) οι εξής τιμές:

- id = 1 για τις ανθρωπογενείς κατασκευές
- id = 2 για τους αμμώδεις αιγιαλούς
- id = 3 για τους χαλικώδεις αιγιαλούς
- id = 4 για τους παράκτιους κρημνούς

Για την παράμετρο της Γεωλογίας ψηφιοποιήθηκαν σε διανυσματικά επίπεδα πολυγώνων (polygon) οι γεωλογικοί σχηματισμοί του γεωλογικού χάρτη της Ζακύνθου από το ΙΓΜΕ με κλίμακα 1 : 50.000 (ΙΓΜΕ, 1980).

Παρατηρήθηκαν 13 σχηματισμοί σε απόσταση 1 km από την ακτογραμμή της Ζακύνθου. Από την Αδριατικοϊόνιο ζώνη παρατηρήθηκαν ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι, γύψοι μαζί με ανυδρίτες και λατυποπαγή Τριαδικής ηλικίας, από την ζώνη Παξών παρατηρήθηκαν κλαστικοί – βιοκλαστικοί ασβεστόλιθοι Κρητιδικής ηλικίας, ασβεστόλιθοι μαργαϊκοί Ηωκαινικής ηλικίας, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι Ολιγοκαινικής ηλικίας, ψαμμίτες μαζί με ιλυόλιθους και μάργες γαλαζωπές καθώς και γύψος Μειοκαινικής ηλικίας. Από Νεογενείς μεταλπικούς σχηματισμούς παρατηρήθηκαν ψαμμίτες με αργιλομαργαϊκές παρεμβολές και παράκτιες αποθέσεις συνεκτικών κροκαλοπαγών Πλειστοκαινικής ηλικίας και κροκάλες και λατύπες σε κοίτες χειμάρρων, αλλουβιακές αποθέσεις και σύγχρονες παράκτιες αποθέσεις θαλάσσιων ιζημάτων Ολοκαινικής ηλικίας.



Χάρτης 5: Γεωλογικός χάρτης Ζακύνθου από ΙΓΜΕ σε ζώνη 1 km από την ακτογραμμή, συνδυασμένος με τα ενεργά νεοτεκτονικά ρήγματα και τη γεωμορφολογία της ακτογραμμής της Ζακύνθου.

### 5.4.2 Παράμετρος παράκτιας κλίσης

Για την παράμετρο της παράκτιας κλίσης χρησιμοποιήθηκε το ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου (DEM) υψηλής ακρίβειας της περιοχής μελέτης με μέγεθος ψηφίδας 5 m (cell size 5 x 5 m) που ανακτήθηκε από το Εθνικό Κτηματολόγιο (EKXA A.E.).

Για τον υπολογισμό της παράκτιας κλίσης χρησιμοποιήθηκε η εντολή **Slope** του Spatial Analyst και εξαγωγή τιμών σε τις εκατό (%). Στη συνέχεια εφαρμόστηκε εστιακή λειτουργία (Focal Function) με την εντολή **Focal Statistics** και φίλτρο μέσου όρου (MEAN) 5 x 5 m. Με

την εφαρμογή αυτή απομακρύνονται τοπικές ακραιές τιμές με αποτέλεσμα δημιουργία ενός εξομαλυμένου επιπέδου (Χαλκιάς, 2015).

Στη συνέχεια έγινε επαναταξινόμηση σε 5 κλάσεις τιμών της παράκτιας κλίσης με την εντολή **Reclassify** του Spatial Analyst και ομάδες τιμών με όρια < 3, 3 - 6, 6 - 9, 9 - 12 και > 12 %. Το παραγόμενο ψηφιδωτό (raster) επίπεδο μετασχηματίστηκε σε μορφή διανυσματικών (vector) πολυγώνων (polygons) με την εντολή **Conversion** (Raster to Polygon).



Χάρτης 6: Παράκτια κλίση σε ζώνη 1 km από την ακτογραμμή της Ζακύνθου.

## 5.4.3 Παράμετρος ρυθμού μεταβολής ακτογραμμής

Για την παράμετρο του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής χρησιμοποιήθηκε μωσαϊκό ορθοφωτοχαρτών που δημιουργήθηκε από ένα σύνολο 52 αεροφωτογραφιών της περιοχής μελέτης του 1996 κλίμακας 1 : 40.000 που ανακτήθηκαν από το Εθνικό Κτηματολόγιο (ΕΚΧΑ Α.Ε.). Έγινε ψηφιοποίηση της ακτογραμμής του 1996 σε μορφή διανυσματικού γραμμικού επιπέδου (polyline).



Χάρτης 7: Μωσαϊκό ορθοφωτοχαρτών από 52 αεροφωτογραφίες της Ζακύνθου του 1996 (ΕΚΧΑ Α.Ε.).

Για τον υπολογισμό του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής χρησιμοποιήθηκαν τα παραγόμενα διανυσματικά γραμμικά επίπεδα (polylines) της ακτογραμμών του 1996 και του 2020.

Αρχικά έγινε μετατροπή της πρόσφατης ακτογραμμής του 2020 από γραμμικό σε σημειακό επίπεδο (point) με την εντολή Feature Vertices To Points.

Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο **Near** που υπολογίζει την μικρότερη απόσταση ενός σημειού από ένα χωρικό επίπεδο. Στη συγκεκριμένη περίπτωση έγινε υπολογισμός της απόστασης σε m των σημείων του επιπέδου της ακτογραμμής του 2020 από το γραμμικό επίπεδο της ακτογραμμής του 1996 και στον πίνακα περιγραφών (attribute table) του σημειακού επιπέδου δημιουργήθηκε ένα νέο πεδίο αποστάσεων το οποίο διαιρέθηκε με το 24 προσθέτοντας ένα νέο πεδίο (Add Field). Το 24 προέκυψε από τη χρονική διαφορά των 24 χρόνων των δεδομένων μεταξύ 1996 και 2020 προκειμένου να υπολογιστεί ο ρυθμός μεταβολής της ακτογραμμής σε αυτή τη χρονική διάρκεια.

Η εντολή **Near** παράγει αποτελέσματα αποστάσεων με θετικό πρόσημο ενώ η παράμετρος εκφράζεται σε αρνητικές (–) τιμές για την υποχώρηση και σε θετικές (+) τιμές για την προέλαση της ακτογραμμής. Για το διαχωρισμό των σημείων της ακτογραμμής δημιουργήθηκε ένα νέο διανυσματικό επίπεδο πολυγώνου στα όρια της ακτογραμμής του 1996 και χρησιμοποιήθηκε η εντολή **Select By Location** για να εντοπιστούν τα σημεία της ακτογραμμής του 2020 που βρίσκονται μέσα ή εφάπτονται στο πολύγωνο του 1996 με τη συνθήκη **are completely within the source layer feature**. Τα επιλεγμένα σημεία πολλαπλασιάστηκαν με (– 1) για να αποδοθεί αρνητικό πρόσημο καθώς αποτελούν σημεία υποχώρησης της ακτογραμμής.

Τέλος, το γραμμικό επίπεδο της ακτογραμμής του 2020 διαιρέθηκε σε 3.835 επιμέρους τμήματα των 50 m και με την εντολή **Spatial Join** κάθε ένα από αυτά τα τμήματα πήρε τις αντίστοιχες τιμές του ρυθμού μεταβολής του σημειακού επιπέδου, προκειμένου να δημιουργηθεί ένα διανυσματικό γραμμικό επίπεδο ρυθμού μεταβολής.



Χάρτης 8: Εστιασμένος χάρτης στην περιοχή της αμμώδους παραλίας Μπανάνα στη χερσόνησο του Βασιλικού στο νοτιοανατολικό τμήμα της Ζακύνθου με χαρακτηριστική υποχώρηση της ακτογραμμής.

# 5.4.4 Παράμετρος μεταβολής μέσης θαλάσσιας στάθμης

Για την παράμετρο της σχετικής μεταβολής της μέσης θαλάσσιας στάθμης η περιοχή μελέτης μετά από βιβλιογραφική ανασκόπηση ψηφιοποιήθηκε σε πολύγωνα (polygon) νεοτεκτονικών τεμαχών που ακολουθούν συγκεκριμένες τεκτονικές κινήσεις (Χουσιανίτης, 2009, Chousianitis et al., 2010), σύμφωνα με ομάδες ενεργών ρηγμάτων που ανακτήθηκαν από την εφαρμογή NOAFaults v3.0 τελευταίας ενημέρωσης 2020 (Ganas et al., 2013).



Χάρτης 9: Νεοτεκτονικές ενότητες Ζακύνθου σε συνδυασμό με τα ενεργά νεοτεκτονικά ρήγματα της περιοχής (τροποποιημένο από Χουσιανίτης, 2009, Chousianitis et al., 2010).

Τα αίτια μεταβολής της θαλάσσιας στάθμης είναι τα εξής (Καρύμπαλης, 2010):

- Ευστατισμός. Πρόκειται για παγκόσμιο αίτιο. Υπολογίστηκε στην περιοχή της Μεσογείου όπου ανήκει και η περιοχή μελέτης σε άνοδο της θαλάσσιας στάθμης με ρυθμό 0.9 mm / y (Marcos & Tsimplis, 2007).
- Ισοστασία. Πρόκειται για τοπικό αίτιο. Φαινόμενο που παρατηρείται στα βορειότερα γεωγραφικά πλάτη και δεν διαδραματίζει ιδιαίτερο ρόλο στην περιοχή μελέτης όποτε και δε λαμβάνεται υπόψην.

 Τεκτονισμός. Πρόκειται για τοπικό αίτιο. Λόγω της ενεργής τεκτονικής που λαμβάνει χώρα στην περιοχή μελέτης διαδραματίζει ιδιαίτερο ρόλο. Χρησιμοποιήθηκαν διάφορες μέθοδοι σε διάφορες περιόδους για να υπολογιστεί το είδος και ο ρυθμός κίνησης των νεοτεκτονικών ενοτήτων της Ζακύνθου, τα αποτελέσματα των οποίων παρουσίαζονται παρακάτω (πιν. 3, εικ. 19).

Νεοτεκτονικά	Ευστατισμός	ERS – PSI	ENVISAT	DGPS (2005 –	Μεταβολή
τεμάχη	( <b>mm/y</b> )	(1992 – 2000)	(2003 - 2010)	2006) (mm/y)	(mm/y) (CSI)
		( <b>mm/y</b> )	( <b>mm/y</b> )		
1		+ 3.0	+ 3.0	+ 40.0	> 3.4 (5)
2.1		- 1.5	- 1.5	-	< 1.8 (1)
2.2	+ 0.9	-	-	-	< 1.8 (1)
3		+ 2.0	+ 2.0	-	2.5 - 3.0 (3)
4		-	-	-	< 1.8 (1)
5		- 1.5	- 1.5	- 60.0	< 1.8 (1)

Πίνακας 3: Ρυθμοί μεταβολής κινήσεων νεοτεκτονικών τεμαχών και της Ζακύνθου και συνδυασμός τους με τον ευστατισμό της περιοχής μελέτης για κατηγοριοποίηση σε κλίμακα CSI. Με αρνητικό πρόσημο (-) παρουσιάζεται η τεκτονική ανύψωση και με θετικό πρόσημο (+) η τεκτονική υποβύθιση. Οι περιοχές χωρίς τιμές είναι τεκτονικά σταθερές χωρίς καταγεγραμμένη κίνηση (Lagios et al., 2007, Chousianitis et al., 2010, Sakkas et al., 2014).



Χάρτης 10: Εδαφική παραμόρφωση της Ζακύνθου για την περίοδο 2005 – 2006 από αποτελέσματα μετρήσεων DGPS (Χουσιανίτης, 2009, Chousianitis et al., 2010).

### 5.4.5 Παράμετρος μέσου ύψους κύματος

Για την παράμετρο του μέσου ύψους κύματος (wave height) της περιοχής μελέτης χρησιμοποιήθηκε μικρής κλίμακας χάρτης του ελληνικού χώρου από τον Άτλαντα Ανέμου και Κύματος των Ελληνικών Θαλασσών του Ελληνικού Κέντρου Θαλάσσιων Ερευνών για την περίοδο μετρήσεων 1999 – 2007 (Wave and Wind Atlas of the Hellenic Seas, ΕΛΚΕΘΕ, 2007).



Χάρτης 11: Χωρική κατανομή ετήσιου μέσου σημαντικού ύψους κύματος (wave height H<sub>s</sub>) σε m στον ελληνικό χώρο. Σε κόκκινο περίγραμμα η περιοχή μελέτης (ΕΛΚΕΘΕ, 2007).

Στο θαλάσσιο χώρο της Ζακύνθου το μέσο ύψος κύματος κυμαίνεται από 0.5 έως 0.9 m (ΕΛΚΕΘΕ, 2007), ενώ έγινε και μια περαιτέρω ανάλυση σε τοπική κλίμακα της περίθλασης του κυματισμού που δημιουργείται από τις 2 σημαντικές νησίδες που εντοπίζονται στον Κόλπο

του Λαγανά, το Μαραθωνήσι και το Πελούζο. Το φαινόμενο της περίθλασης κατά το οποίο ακόμη και οι προστατευόμενες περιοχές της παράκτιας ζώνης που βρίσκονται στην κυματική σκιά επηρρεάζονται από τον κυματισμό με εξασθενημένα χαρακτηριστικά (Stowe, 1996). Στα μέσα της περιοχής της κυματικής σκιάς το ύψος κύματος υπολογίζεται στο 1 / 2 της αρχικής τιμής του ( $H_s$  / 2) ενώ εξασθενεί στο 1 / 10 της αρχικής τιμής του ( $H_s$  / 10) και μηδενίζεται πίσω από τις νησίδες (Λεοντάρης, 1992).

Οι κυμματικές σκιές στις νησίδες Μαραθωνήσι και Πελούζο έχουν διευθύνσεις ΝΔ – ΒΑ και Ν – Β αντίστοιχα καθώς ο κυμματισμός αυτών των προσανατολισμών επηρρεάζει τις συγκεκριμένες περιοχές της παράκτιας ζώνης.

Η διερεύνηση της περίθλασης του κυματισμού και της κυματικής σκιάς σε τοπική αλλά και μεγαλύτερη κλίμακα είναι ιδιαίτερα σημαντική και για τις περιπτώσεις μελέτης τσουνάμι που δρούν στην παράκτια ζώνη και το πως την επηρρεάζουν.



Χάρτης 12: Μέσο σημαντικό ύψος κύματος στο θαλάσσιο χώρο της Ζακύνθου σε συνδιασμό με τις κυματικές σκίες που δημιουργούνται στις νησίδες Μαραθωνήσι και Πελούζο στον Κόλπο του Λαγανά.

#### 5.4.6 Παράμετρος μέσου παλιρροιακού εύρους

Για την παράμετρο του μέσου παλιρροιακού εύρους χρησιμοποιήθηκε μικρής κλίμακας χάρτης του ελληνικού χώρου από μετρήσεις 20 παλιρροιογράφων για περίοδο 7 χρόνων (Tsimplis, 1994).

Το μέσο παλιρροιακό εύρος (tidal range) ορίζεται η διαφορά ύψους μεταξύ των επιπέδων της επιφάνειας της θάλασσας κατά την πλημμυρίδα και την άμπωτη κατά τη διάρκεια ενός παλιρροιακού κύκλου (Καρύμπαλης, 2010).

Σε ολόκληρο τον ελληνικό θαλάσσιο χώρο το μέσο παλιρροιακό εύρος είναι πολύ μικρό και κατατάσσεται σε ζώνη μικροπαλιρροιακού εύρους < 0.15 m. Στο θαλάσσιο χώρο της Ζακύνθου υπολογίζεται από 0.03 – 0.04 m (Tsimplis, 1994).



Χάρτης 13: Κατανομή του μέσου παλιρροιακού εύρους (tidal range) σε cm στον ελληνικό χώρο. Σε κόκκινο περίγραμμα η περιοχή μελέτης (Tsimplis, 1994).

## 5.5 Κατηγοριοποίηση σε ενιαία τακτική κλίμακα

Για κάθε μία από τις παραπάνω παραμέτρους η ακτογραμμή κατηγοριοποιήθηκε σε 5 κατηγορίες ευαισθησίας. Η επαναταξινόμηση σε ενιαία τακτική κλίμακα 1 – 5 έγινε με βάση τα όρια βαθμονόμησης των παραμέτρων που προτάθηκαν αρχικά από τον Thieler και στη συνέχεια τον Pendleton και προσαρμόστηκαν αργότερα από τον Καρύμπαλη στα γεωγραφικά και ωκεανογραφικά χαρακτηριστικά των ελληνικών ακτών (Thieler et al., 2000, Pendleton et al., 2004, Karympalis et al., 2012, πιν. 4).

Κατηγορίες	1	2	3	4	5
	Ασβεστόλιθοι	Γύψος,	Παράκτιες	Κροκάλες	Αλλουβιακές
	όλων των ειδών,	ψαμμίτες,	αποθέσεις με	και λατύπες	αποθέσεις,
Γεωλογία -	παράκτιοι	ιλυόλιθοι,	συνεκτικά	σε κοίτες	σύγχρονες
Γεωμορφολογία	κρημνοί,	μάργες,	κοκαλοπαγή,	χειμάρρων,	παράκτιες
	ανθρωπογενείς	μέσοι	λατυποπαγή,	<b>χαλικώδει</b> ς	αποθέσεις,
	κατασκευές	κρημνοί	χαμηλοί κρημνοί	αιγιαλοί	αμμώδεις παραλίες
Παράκτια κλίση					
(%)	> 12	12 – 9	9 - 6	6 – 3	< 3
Ρυθμός					
διάβρωσης (-) /					
προέλασης (+)	> (+ 1.5)	(+ 1.5) –	(+ 0.5) - (- 0.5)	(- 0.5) –	< (- 1.5)
ακτογραμμής		(+ 0.5)		(- 1.5)	
(m/y)					
Ρυθμός					
μεταβολής					
θαλάσσιας	< 1.8	1.8 - 2.5	2.5 - 3.0	3.0 - 3.4	> 3.4
στάθμης (mm/y)					
Μέσο ύψος					
κύματος (m)	< 0.3	0.3 - 0.6	0.6 - 0.9	0.9 - 1.2	> 1.2
Μέσο					
παλιρροιακό	< 0.2	0.2 - 0.4	0.4 - 0.6	0.6 - 0.8	> 0.8
εύρος (m)					
Ευαισθησία	Πολύ χαμηλή	Χαμηλή	Μέτρια	Υψηλή	Πολύ υψηλή
(CSI)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)

Πίνακας 4: Κατηγοριοποίηση σε ενιαία τακτική κλίμακα 1 – 5 και όρια βαθμονόμησης των 6 παραμέτρων CSI (Karympalis et al., 2012, τροποποιημένο από Thieler et al., 2000, Pendleton et al., 2004).
Για την επίτευξη της επαναταξινόμησης χρησιμοποιήθηκε η εντολή **Intersect** προκειμένου να γίνει οριοθέτηση στο γραμμικό επίπεδο της ακτογραμμής του 2020 των διανυσματικών επιπέδων των παραπάνω παραμέτρων. Η εντολή **Intersect** συνδέει τους πίνακες περιγραφών (attribute table) των επιπέδων στα όρια της χωρικής οντότητας που ορίζεται κάθε φορά (Χαλκιάς, 2006). Πιο συγκεκριμένα δημιουργήθηκαν 6 νέα γραμμικά επίπεδα ακτογραμμής του 2020, ένα για κάθε μία από τις παραπάνω παραμέτρους CSI. Στη συνέχεια στον πίνακα περιγραφών (attribute table) του κάθε νέου γραμμικού επιπέδου προστέθηκε ένα νέο πεδίο (Add Field) και με την εντολή **Select By Attributes** έγινε κατηγοριοποίηση σε ενιαία τακτική κλίμακα 1 – 5 με βάση τα όρια βαθμονόμησης των παραμέτρων CSI (πιν. 4).

Για την παράμετρο της Γεωλογίας – Γεωμορφολογίας έγινε συνδυασμός του γραμμικού επιπέδου της Γεωμορφολογίας και του επιπέδου πολυγώνων της Γεωλογίας με τη βοήθεια της εντολής **Intersect**. Για την κατηγοριοποίηση της συγκεκριμένης παραμέτρου χρησιμοποιήθηκε συνδιαστική τεχνική δίνοντας βαρύτητα στην παράμετρο της Γεωμορφολογίας στα τμήματα της ακτογραμμής που παρατηρήθηκαν ανθρωπογενείς κατασκευές και αμμώδεις και χαλικώδεις αιγιαλοί (id = 1, id = 2, id = 3), ενώ στα τμήματα της ακτογραμμής που παρατηρήθηκε βαρύτητα στην παράμετρο της ακτογραμμής που παρατηρήθηκαν με τη βοήθεια και του συντελεστή εδαφικής διαβρωσιμότητας Κ των γεωλογικών σχηματισμών (πιν. 5).

Γεωλογικός σχηματισμός	Συντελεστής εδαφικής	Ευαισθησία (CSI)
	διαβρωσιμότητας Κ	
Αλλουβιακές αποθέσεις, Ολοκαινικές χαλαρές		
σύγχρονες παράκτιες αποθέσεις με επικράτηση	0,5	Πολύ υψηλή (5)
λεπτομερών		
Κροκάλες και λατύπες σε κοίτες χειμάρρων,		
Ολοκαινικές χαλαρές αποθέσεις μικτών φάσεων	0,4	Υψηλή (4)
Παράκτιες αποθέσεις με συνεκτικά κοκαλοπαγή,		
λατυποπαγή, Πλειστοκαινικές χαλαρές ή	0,3	Μέτρια (3)
συνεκτικές αποθέσεις		
Ψαμμίτες, ιλυόλιθοι, μάργες, μαργαϊκοί ψαμμίτες		
και ψαμμίτες με αργιλομάργες	0,1	Χαμηλή (2)
Γύψος	0,2	Χαμηλή (2)
Μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι	0,04	Πολύ χαμηλή (1)
Ασβεστόλιθοι	0,02	Πολύ χαμηλή (1)

Πίνακας 5: Συντελεστής εδαφικής διαβρωσιμότητας Κ γεωλογικών σχηματισμών Ζακύνθου σε συνδυασμό με την κατηγοριοποίηση σε ενιαία τακτική κλίμακα 1 – 5 τιμών CSI (Τροποποιημένο από Μπαθρέλλος κ.α., 2010).



Εικόνα 22: Παράδειγμα κατηγοριοποίησης της παραμέτρου Γεωλογίας – Γεωμορφολογίας στη γνωστή παραλία του Ναυαγίου στο βορειοδυτικό τμήμα της Ζακύνθου. Στο χαλικώδη αιγιαλό τύπου pocket beach δίνεται η τιμή 4 βάση Γεωμορφολογίας ενώ στον παράκτιο κρημνό δίνεται η τιμή 1 βάση Γεωλογίας καθώς αποτελείται από ασβεστόλιθο.

### 5.6 Χαρτογραφική υπέρθεση και υπολογισμός CSI

Μετά την κατηγοριοποίηση των διανυσματικών γραμμικών επιπέδων των παραμέτρων της ακτογραμμής έγινε χαρτογραφική υπέρθεση των επιπέδων των παραμέτρων αυτών με την εφαρμογή για μια ακόμη φορά της εντολής **Intersect**. Το παραγόμενο είναι ένα γραμμικό επίπεδο ακτογραμμής που φέρει στον πίνακα περιγραφών (attribute table) όλες τις πληροφορίες από τα 6 επίπεδα που συνδέθηκαν.

Στη συνέχεια δημιουργήθηκε ένα νέο πεδίο (Add Field) στον πίνακα περιγραφών (attribute table) το οποίο ονομάστηκε CSI\_Final και με τη βοήθεια του εργαλείου **Field Calculator** έγινε υπολογισμός του τελικού δείκτη παράκτιας ευαισθησίας εφαρμόζοντας τον εξής τύπο:

CSI\_Final = Sqr (( [Geo\_CSI] \* [Slope\_CSI] \* [C\_Rate\_CSI] \* [Sea\_L\_CSI] \* [Wave\_H\_CSI] \* [Tide\_CSI])/6)

Οι τιμές που υπολογίστηκαν αντιπροσωπεύουν τις τιμές CSI με εύρος 0,707107 – 12,247449 και στη συνέχεια με τη βοήθεια της μεθόδου των φυσικών ορίων **Natural Breaks** (**Jenks**) έγινε επαναταξινόμηση σε ενιαία τακτική κλίμακα 1 – 5 (πιν. 6). Η μέθοδος αυτή κατηγοριοποιεί τις τιμές κατά τέτοιο τρόπο ώστε στα όρια των διαστημάτων να αντιστοιχεί απότομη μεταβολή στις τιμές του φαινομένου (Jenks, 1977).

Φυσικά όρια	Ευαισθησία	CSI
0,707107 - 2,000000	Πολύ χαμηλή	1
2,000001 - 3,162278	Χαμηλή	2
3,162279 - 4,898979	Μέτρια	3
4,898980 - 7,348469	Υψηλή	4
7,348470 - 12,247449	Πολύ υψηλή	5

Πίνακας 6: Κατηγοριοποίηση σε φυσικά όρια και σε ενιαία τακτική κλίμακα 1 – 5 του CSI.

Τέλος, έγινε μια προσπάθεια αποτίμησης της ευαισθησίας της ακτογραμμής με βάση την κάλυψη γης και τις περιοχές Natura 2000. Το τελικό διανυσματικό γραμμικό επίπεδο του δείκτη παράκτιας ευαισθησίας συνδέθηκε με τα διανυσματικά επίπεδα πολυγώνων της κάλυψης γης του Corine Land Cover 2018 και του περιοχών Natura 2000 με την εντολή **Intersect** και έγινε εντοπισμός και ποσοτική αποτίμηση των περιοχών που εμπίπτουν σε κάθε βαθμό ευαισθησίας.

# 6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

#### 6.1 Χάρτες παραμέτρων CSI

### 6.1.1 Γεωλογία - Γεωμορφολογία



Χάρτης 14: Χωρική κατανομή δείκτη παράκτιας ευαισθησίας (CSI) για την παράμετρο της Γεωλογίας – Γεωμορφολογίας.

Στην περιοχή μελέτης για την παράμετρο της Γεωλογίας – Γεωμορφολογίας εμφανίζονται και οι 5 κλάσεις βαθμονόμησης του CSI από 1 – 5.

Το μεγαλύτερο ποσοστό της ακτογραμμής (67,1 %) αποτελείται από πολύ χαμηλή ευαισθησία (CSI = 1) με συνολικό μήκος 128,675 km. Εμφανίζεται στους παράκτιους ασβεστολιθικούς κρημνούς στο βορειοανατολικό τμήμα, στο σύνολο του δυτικού τμήματος εκτός των pocket beaches, στο νοτιοδυτικό τμήμα στη χερσόνησο του Κεριού και στις περιοχές της ακτογραμμής που εμφανίζουν ανθρωπογενείς κατασκευές.

Γεωλογία – Γεωμορφολογία				
Ευαισθησία (CSI)	Μήκος ακτογραμμής (km)	Μήκος %		
Πολύ χαμηλή (1)	128,675	67,1		
Χαμηλή (2)	32,842	17,1		
Μέτρια (3)	2,980	1,6		
Υψηλή (4)	4,992	2,6		
Πολύ υψηλή (5)	22,319	11,6		
Σύνολο	191,808	100		

Πίνακας 7: Μήκος ακτογραμμής σε km και ποσοστό της % ανά κατηγορία ευαισθησίας (CSI) της παραμέτρου Γεωλογίας – Γεωμορφολογίας.

Το δεύτερο μεγαλύτερο ποσοστό της ακτογραμμής (17,1 %) αποτελείται από χαμηλή ευαισθησία (CSI = 2) με συνολικό μήκος 32,842 km. Εμφανίζεται κυρίως στους ψαμμιτικούς σχηματισμούς στο δυτικό τμήμα του Κόλπου του Λαγανά, καθώς και σε τμήματα του ανατολικού τμήματος του νησιού και στο νοτιοανατολικό τμήμα στη χερσόνησο του Βασιλικού.

Οι περιοχές της ακτογραμμής με μέτρια και υψηλή ευαισθησία αποτελούν μικρότερα ποσοστά (< 10 %) και εμφανίζονται σε περιοχές με νεογενείς σχηματισμούς και χαλικώδεις αιγιαλούς (pocket beaches), ενώ σημαντικό ποσοστό (11,6 %) καταλαμβάνει ακτογραμμή με πολύ υψηλή ευαισθησία και εμφανίζεται σε περιοχές με αμμώδεις αιγιαλούς κυρίως στο ανατολικό, νοτιοανατολικό και νότιο τμήμα του νησιού.



Εικόνα 23: Ραβδόγραμμα βαθμονόμησης μήκους ακτογραμμής σε km ανά κατηγορία ευαισθησίας (CSI) της παραμέτρου της Γεωλογίας – Γεωμορφολογίας.



Εικόνα 24: Διάγραμμα βαθμονόμησης ποσοστού (%) ακτογραμμής ανά κατηγορία ευαισθησίας (CSI) της παραμέτρου της Γεωλογίας – Γεωμορφολογίας.

## 6.1.2 Παράκτια κλίση



Χάρτης 15: Χωρική κατανομή δείκτη παράκτιας ευαισθησίας (CSI) για την παράμετρο της παράκτιας κλίσης.

Στην περιοχή μελέτης για την παράμετρο της παράκτιας κλίσης εμφανίζονται και οι 5 κλάσεις βαθμονόμησης του CSI από 1 – 5.

Παράκτια κλίση				
Ευαισθησία (CSI)	Μήκος ακτογραμμής (km)	Μήκος %		
Πολύ χαμηλή (1)	145,772	76		
Χαμηλή (2)	11,140	5,8		
Μέτρια (3)	14,091	7,3		
Υψηλή (4)	13,563	7,1		
Πολύ υψηλή (5)	7,242	3,8		
Σύνολο	191,808	100		

Πίνακας 8: Μήκος ακτογραμμής σε km και ποσοστό της % ανά κατηγορία ευαισθησίας (CSI) της παραμέτρου της παράκτιας κλίσης.

Το μεγαλύτερο ποσοστό της ακτογραμμής (76 %) αποτελείται από πολύ χαμηλή ευαισθησία (CSI = 1) με συνολικό μήκος 145,772 km. Εμφανίζεται στο σύνολο των παράκτιων κρημνών του νησιού και κυρίως στο βορειοανατολικό τμήμα, στο σύνολο του δυτικού τμήματος, στο νοτιοδυτικό τμήμα, αλλά και σε περιοχές του ανατολικού και νοτιοανατολικού τμήματος του νησιού.

Οι περιοχές της ακτογραμμής με χαμηλή, μέτρια, υψηλή και πολύ υψηλή ευαισθησία αποτελούν μικρότερα ποσοστά (< 10 %) και εμφανίζονται σε περιοχές με χαμηλότερους παράκτιους κρημνούς, χαλικώδεις και αμμώδεις αιγιαλούς.



Εικόνα 25: Ραβδόγραμμα βαθμονόμησης μήκους ακτογραμμής σε km ανά κατηγορία ευαισθησίας (CSI) της παραμέτρου της παράκτιας κλίσης.

Γ.ΖΑΜΠΑΖΑΣ | 80



Εικόνα 26: Διάγραμμα βαθμονόμησης ποσοστού (%) ακτογραμμής ανά κατηγορία ευαισθησίας (CSI) της παραμέτρου της παράκτιας κλίσης.

# 6.1.3 Ρυθμός μεταβολής ακτογραμμής





Μεταβολή ακτογραμμής				
Ευαισθησία (CSI)	Μήκος ακτογραμμής (km)	Μήκος %		
Πολύ χαμηλή (1)	0,500	0,2		
Χαμηλή (2)	1,650	0,9		
Μέτρια (3)	182,306	95,1		
Υψηλή (4)	7,102	3,7		
Πολύ υψηλή (5)	0,250	0,1		
Σύνολο	191,808	100		

Στην περιοχή μελέτης για την παράμετρο του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής εμφανίζονται και οι 5 κλάσεις βαθμονόμησης του CSI από 1 – 5.

Πίνακας 9: Μήκος ακτογραμμής σε km και ποσοστό της % ανά κατηγορία ευαισθησίας (CSI) της παραμέτρου του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής.

Το μεγαλύτερο ποσοστό της ακτογραμμής (95,1 %) αποτελείται από μέτρια ευαισθησία (CSI = 3) με συνολικό μήκος 182,306 km. Εμφανίζεται στο σύνολο της ακτογραμμής του νησιού εκτός από τις περιοχές των αμμωδών αιγιαλών στη χερσόνησο του Βασιλικού στο νοτιοοανατολικό τμήμα του νησιού και ορισμένες περιοχές χαλικώδων αιγιαλών στο δυτικό τμήμα του νησιού, οι οποίες εμφανίζουν υψηλή (CSI = 4) και πολύ υψηλή (CSI = 5) ευαισθησία με υποχώρηση της ακτογραμμής λόγω διάβρωσης. Επίσης εμφανίζονται με μερικά τμήματα ακτογραμμής με πολύ χαμηλή (CSI = 1) και χαμηλή (CSI = 2) ευαισθησία με πορέλαση της ακτογραμμής που οφείλονται κυρίως σε κατολισθήσεις και δημιουργία νέων αιγιαλών εις βάρος της θάλασσας αλλά και σε τροφοδοσία αιγιαλών με υλικό λόγω παρακείμενων ανθρωπογενών κατασκευών.







Εικόνα 28: Διάγραμμα βαθμονόμησης ποσοστού (%) ακτογραμμής ανά κατηγορία ευαισθησίας (CSI) της παραμέτρου του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής.

### 6.1.4 Μεταβολή μέσης θαλάσσιας στάθμης



Χάρτης 17: Χωρική κατανομή δείκτη παράκτιας ευαισθησίας (CSI) για την παράμετρο της μεταβολής της μέσης θαλάσσιας στάθμης.

Μεταβολή μέσης θαλάσσιας στάθμης				
Ευαισθησία (CSI)	Μήκος ακτογραμμής (km)	Μήκος %		
Πολύ χαμηλή (1)	158,245	82,5		
Χαμηλή (2)	-	-		
Μέτρια (3)	8,055	4,2		
Υψηλή (4)	-	-		
Πολύ υψηλή (5)	25,508	13,3		
Σύνολο	191,808	100		

Στην περιοχή μελέτης για την παράμετρο μεταβολής της μέσης θαλάσσιας στάθμης εμφανίζονται οι 3 από τις 5 κλάσεις βαθμονόμησης του CSI (1, 3, 5).

Πίνακας 10: Μήκος ακτογραμμής σε km και ποσοστό της % ανά κατηγορία ευαισθησίας (CSI) της παραμέτρου της μεταβολής της μέσης θαλάσσιας στάθμης.

Το μεγαλύτερο ποσοστό της ακτογραμμής (82,5 %) αποτελείται από πολύ χαμηλή ευαισθησία (CSI = 1) με συνολικό μήκος 158,245 km. Εμφανίζεται στο σύνολο της ακτογραμμής του νησιού εκτός από το βόρειο τμήμα και ορισμένες περιοχές του νοτιοδυτικού τμήματος του νησιού στη χερσόνησο του Κεριού.

Οι περιοχές της ακτογραμμής με μέτρια (CSI = 3) και πολύ υψηλή (CSI = 5) ευαισθησία αποτελούν μικρότερα ποσοστά (4,2 και 13,3 % αντίστοιχα) και εμφανίζονται σε περιοχές του βόρειου και νοτιοδυτικού τμήματος του νησιού στα οποία παρατηρείται τεκτονική υποβύθιση σε συνδυασμό με την άνοδο της μέσης θαλάσσιας στάθμης.



Εικόνα 29: Ραβδόγραμμα βαθμονόμησης μήκους ακτογραμμής σε km ανά κατηγορία ευαισθησίας (CSI) της παραμέτρου της μεταβολής της μέσης θαλάσσιας στάθμης.



Εικόνα 30: Διάγραμμα βαθμονόμησης ποσοστού (%) ακτογραμμής ανά κατηγορία ευαισθησίας (CSI) της παραμέτρου της μέσης θαλάσσιας στάθμης.

# 6.1.5 Μέσο ύψος κύματος



Χάρτης 18: Χωρική κατανομή δείκτη παράκτιας ευαισθησίας (CSI) για την παράμετρο του μέσου ύψους κύματος.

Μέσο ύψος κύματος				
Ευαισθησία (CSI)	Μήκος ακτογραμμής (km)	Μήκος %		
Πολύ χαμηλή (1)	1,907	1		
Χαμηλή (2)	17,372	9		
Μέτρια (3)	134,391	70,1		
Υψηλή (4)	38,138	19,9		
Πολύ υψηλή (5)	-	-		
Σύνολο	191,808	100		

Στην περιοχή μελέτης για την παράμετρο μεταβολής του μέσου ύψους κύματος εμφανίζονται οι 4 από τις 5 κλάσεις βαθμονόμησης του CSI (1, 2, 3, 4).

Πίνακας 11: Μήκος ακτογραμμής σε km και ποσοστό της % ανά κατηγορία ευαισθησίας (CSI) της παραμέτρου του μέσου ύψους κύματος.

Το μεγαλύτερο ποσοστό της ακτογραμμής (70,1 %) αποτελείται από μέτρια ευαισθησία (CSI = 3) με συνολικό μήκος 134,391 km. Εμφανίζεται στο σύνολο της ακτογραμμής του νησιού εκτός από ορισμένες περιοχές του δυτικού, ανατολικού και νότιου τμήματος του νησιού στην περιοχή του Κόλπου του Λαγανά.

Το δεύτερο μεγαλύτερο ποσοστό της ακτογραμμής (19,9 %) αποτελείται από υψηλή ευαισθησία (CSI = 4) με συνολικό μήκος 38,138 km. Εμφανίζεται στο μεγαλύτερο τμήμα των δυτικών ακτών του νησιού.

Οι περιοχές της ακτογραμμής με χαμηλή ευαισθησία αποτελούν μικρότερο αλλά σημαντικό ποσοστό (9 %) της ακτογραμμής και εμφανίζονται κυρίως στο ανατολικό τμήμα του νησιού καθώς και σε ορισμένες περιοχές της ακτογραμμής του κόλπου του Λαγανά στο νότιο τμήμα του νησιού όπου επικρατούν οι κυματικές σκιές που δημιουργούν οι νησίδες Μαραθωνήσι και Πελούζο. Στις περιοχές αυτές ο κυματισμός που επικρατεί στην ευρύτερη περιοχή εξασθενεί σημαντικά, ενώ σε αυτές, συγκαταλέγονται και οι περιοχές της ακτογραμμής στο βόρειο τμήμα των νησίδων που δεν επηρρεάζονται σημαντικά από τον κυματισμό και χαρακτηρίζονται από πολύ χαμηλή ευαισθησία.

Η ευαισθησία της ακτογραμμής για την παράμετρο του μέσου ύψους κύματος υπολογίστηκε λαμβάνοντας υπόψην χάρτες μικρής κλίμακας λόγω έλλειψης δεδομένων τοπικού χαρακτήρα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το σύνολο της δυτικής ακτογραμμής του νησιού και η ιδιαίτερη γεωμορφολογία του καθώς αποτελείται από παράκτιους βράχους που λόγω της παράκτιας διάβρωσης δημιουργούν μικρής έκτασης νησίδες και μεγάλο αριθμό κολπίσκων, στον μύχο πολλών με τη σειρά τους σχηματίζονται μικρής

έκτασης χαλικώδεις αιγιαλοί τύπου pocket beach. Σε αυτές τις περιοχές ο κυματισμός της ευρύτερης περιοχής ενδεχομένως να επηρρεάζεται και να εξασθενεί, δεδομένο το οποίο πρέπει να ληφθεί υπόψην σε τοπικές έρευνες μεγαλύτερης κλίμακας.

Από την κλίμακα βαθμονόμησης για την παράμετρο αυτή απουσιάζει η πολύ υψηλή ευαισθησία (CSI = 5) καθώς στην περιοχή μελέτης δεν παρατηρούνται μέση ύψη κυματισμού > 1.2 m που που έχει εκτιμηθεί ως ανώτερο όριο κυματισμού για τη μέγιστη ευαισθησία στον ελληνικό χώρο (Karympalis et al., 2012).



Εικόνα 31: Ραβδόγραμμα βαθμονόμησης μήκους ακτογραμμής σε km ανά κατηγορία ευαισθησίας (CSI) της παραμέτρου του μέσου ύψους κύματος.



Εικόνα 32:Διάγραμμα βαθμονόμησης ποσοστού (%) ακτογραμμής ανά κατηγορία ευαισθησίας (CSI) της παραμέτρου του μέσου ύψους κύματος.

## 6.1.6 Μέσο παλιρροιακό εύρος



Χάρτης 19: Χωρική κατανομή δείκτη παράκτιας ευαισθησίας (CSI) για την παράμετρο του μέσου παλιρροιακού εύρους.

Στην περιοχή μελέτης για την παράμετρο του μέσου παλιρροιακού εύρους εμφανίζεται μόνο η μία από τις 5 κλάσεις βαθμονόμησης του CSI (1).

Μέσο παλιρροιακό εύρος				
Ευαισθησία (CSI)	Μήκος ακτογραμμής (km)	Μήκος %		
Πολύ χαμηλή (1)	191,808	100		
Χαμηλή (2)	-	-		
Μέτρια (3)	-	-		
Υψηλή (4)	-	-		
Πολύ υψηλή (5)	-	-		
Σύνολο	191,808	100		

Πίνακας 12: Μήκος ακτογραμμής σε km και ποσοστό της % ανά κατηγορία ευαισθησίας (CSI) της παραμέτρου του μέσου παλιρροιακού εύρους.

Το σύνολο της ακτογραμμής (100 %) αποτελείται από πολύ χαμηλή ευαισθησία (CSI = 1) με συνολικό μήκος 191,808 km και υπολογίστηκε λόγω ενιαίας τιμής του μέσου παλιρροιακού εύρους στην περιοχή μελέτης λαμβάνοντας υπόψην χάρτες μικρής κλίμακας λόγω έλλειψης δεδομένων τοπικού χαρακτήρα. Η ενιαία αυτή τιμή του μέσου παλιρροιακού εύρους υπολογίσθηκε σε < 0.2 m που έχει εκτιμηθεί ως κατώτερο όριο παλίρροιας για την ελάχιστη ευαισθησία στον ελληνικό χώρο (Karympalis et al., 2012).



Εικόνα 33: Ραβδόγραμμα βαθμονόμησης μήκους ακτογραμμής σε km ανά κατηγορία ευαισθησίας (CSI) της παραμέτρου του μέσου παλιρροιακού εύρους.



Εικόνα 34: Διάγραμμα βαθμονόμησης ποσοστού (%) ακτογραμμής ανά κατηγορία ευαισθησίας (CSI) της παραμέτρου του μέσου παλιρροιακού εύρους.







Στην περιοχή μελέτης ο δείκτης παράκτιας ευαισθησίας εμφανίζει και τις 5 κλάσεις βαθμονόμησης της τακτικής κλίμακας 1 – 5.

Δείκτης Παράκτιας Ευαισθησίας				
Ευαισθησία (CSI)	Μήκος ακτογραμμής (km) Μήκος 9			
Πολύ χαμηλή (1)	124,437	64,9		
Χαμηλή (2)	40,882	21,3		
Μέτρια (3)	12,383	6,4		
Υψηλή (4)	13,418	7		
Πολύ υψηλή (5)	0,688	0,4		
Σύνολο <b>191,808 100</b>				

Πίνακας 13: Μήκος σε km και ποσοστό της % ανά κατηγορία ευαισθησίας (CSI) της ακτογραμμής της Ζακύνθου.

Το μεγαλύτερο ποσοστό της ακτογραμμής (64,9 %) αποτελείται από πολύ χαμηλό δείκτη παράκτιας ευαισθησίας (CSI = 1) με συνολικό μήκος 124,437 km. Εμφανίζεται στο σύνολο των παράκτιων κρημνών του δυτικού τμήματος, στο νοτιοδυτικό τμήμα, στη χερσόνησο του Κεριού αλλά και σε μεγάλο τμήμα του ανατολικού τμήματος του νησιού.



Χάρτης 21: Χάρτης χωρικής κατανομής δείκτη παράκτιας ευαισθησίας (CSI) της ακτογραμμής της Ζακύνθου, εστιασμένος στο βόρειο και κεντρικό τμήμα του νησιού.

Το δεύτερο μεγαλύτερο ποσοστό της ακτογραμμής (21,3 %) αποτελείται από χαμηλό δείκτη παράκτιας ευαισθησίας (CSI = 2) με συνολικό μήκος 40,882 km. Εμφανίζεται κυρίως στο βόρειο τμήμα και σε ορισμένα τμήματα του νοτιοδυτικού και νοτιοανατολικού τμήματος του νησιού.

Ο μέτριος δείκτης ευαισθησίας (CSI = 3) εμφανίζεται σε διάσπαρτα τμήματα στο σύνολο του νότιου και ανατολικού τμήματος του νησιού. Το ποσοστό εμφάνισης υπολογίστηκε σε 6,4 % και το συνολικό μήκος σε 12,383 km.



Χάρτης 22: Χάρτης χωρικής κατανομής δείκτη παράκτιας ευαισθησίας (CSI) της ακτογραμμής της Ζακύνθου, εστιασμένος στο νοτιοανατολικό τμήμα του νησιού.

Ο υψηλός δείκτης ευαισθησίας (CSI = 4) εμφανίζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον στην περιοχή μελέτης καθώς συνεπάγεται και υψηλή επικινδυνότητα λόγω της ανόδου της θαλάσσιας στάθμης. Εντοπίζεται συγκεκριμένα στους αμμώδεις αιγιαλούς του νησιού, στο μεγαλύτερο μέρος των τουριστικών περιοχών του νησιού και κυρίως στο ανατολικό και νότιο τμήμα, στις περιοχές των Αλυκών – Αλυκανά, του Τσιλιβή, του Αργασίου,της χερσονήσου του Βασιλικού, του Καλαμακίου – Λαγανά, του Αγ. Σώστη και της λίμνης του Κεριού. Υψηλό δείκτη ευαισθησίας εμφανίζουν και τμήματα του νησιού που αποτελούνται από χαλικώδεις αιγιαλούς (pocket beaches) στο βόρειο, δυτικό και νοτιοδυτικό μήκος σε 13, 418 km.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα τμήματα της περιοχής μελέτης με πολύ υψηλό δείκτη ευαισθησίας (CSI = 5) καθώς συνεπάγεται και πολύ υψηλή επικινδυνότητα στις περιοχές αυτές λόγω της ανόδου της θαλάσσιας στάθμης. Οι περιοχές αυτές αποτελούν πολύ μικρό ποσοστό εμφάνισης της τάξης του 0,4 % με συνολικό μήκος 688 m. Εμφανίζονται σε 2 περιπτώσεις χαλικώδων αιγιαλών (pocket beaches) στο δυτικό τμήμα, στην ακτογραμμή της



λιμνοθάλασσας του Κεριού στον Κόλπο του Λαγανά στο νοτιοδυτικό τμήμα και στην χαλικώδη παραλία του Μακρύ Γυαλού στο βορειοανατολικό τμήμα του νησιού.

Χάρτης 23: Χάρτης χωρικής κατανομής δείκτη παράκτιας ευαισθησίας (CSI) της ακτογραμμής της Ζακύνθου, εστιασμένος στο νοτιοδυτικό τμήμα του νησιού.







Εικόνα 36: Διάγραμμα βαθμονόμησης ποσοστού (%) ανά κατηγορία ευαισθησίας (CSI) της ακτογραμμής της Ζακύνθου.

# 6.2 Αποτίμηση ευαισθησίας περιβαλλοντικών στοιχείων της ακτογραμμής



Χάρτης 24: Κάλυψη γης Corine Land Cover 2018 σε ζώνη 1 km από την ακτογραμμή, σε συνδυασμό με τη χωρική κατανομή του δείκτη παράκτιας ευαισθησίας (CSI) της ακτογραμμής της Ζακύνθου.

	Ευαισθησία CSI						
Κάλυψη γης CLC 2018	1	2	3	4	5	Σύνολο (km)	Μήκος %
111 – Συνεχής αστικός ιστός	0,885	-	-	-	-	0,885	0,46
112 – Ασυνεχής αστικός ιστός	1,482	0,709	0,974	1,266	-	4,431	2,31
123 – Ζώνες λιμένων	4,895	0,008	0,024	0,013	-	4,942	2,58
142 – Εγκαταστάσεις							
αθλητισμού και αναψυχής	11,463	1,614	4,252	4,948	-	22,277	11,61
223 – Ελαιώνες	9.921	1,690	0,647	0,253	0,057	12,568	6,55
231 – Λιβάδια	-	1,964	0,033	0,007	-	2,002	1,04
242 – Σύνθετες καλλιέργειες	5,330	3,681	0,931	1,456	0,092	11,491	6
243 – Γη κυρίως γεωργικής							
χρήσης μαζί με σημαντικά	11,224	5,472	1,923	1,746	0,207	20,573	10,73
τμήματα φυσικής βλάστησης							
312 – Δάσος κωνοφόρων	2,309	0,234	-	-	-	2,543	1,33
313 – Μικτό δάσος	-	1,917	-	-	-	1,917	1
323 – Σκληροφυλλική							
βλάστηση	63,929	18,588	2,919	2,128	0,235	87,799	45,77
324 – Μεταβατικές δασώδεις							
και θαμνώδεις εκτάσεις	4,924	0,424	-	-	-	5,348	2,79
331 – Παραλίες, αμμόλοφοι,							
αμμουδιές	-	-	0,262	1,200	-	1,462	0,76
332 – Απογυμνωμένοι βράχοι	6,945	3,574	0,085	0,183	0,001	10,788	5,62
333 – Εκτάσεις με αραιή							
βλάστηση	1,127	1,001	0,331	0,062	-	2,521	1,31
421 – Παραθαλάσσιοι βάλτοι	-	0,006	0,002	0,156	0,096	0,260	0,14
Σύνολο (km)	124,437	40,882	12,383	13,418	0,688	191,808	100

Πίνακας 14: Μήκος σε km και ποσοστό της % ανά κατηγορία κάλυψης γης και ευαισθησίας (CSI) της ακτογραμμής της Ζακύνθου.

Το μεγαλύτερο τμήμα της ακτογραμμής αποτελείται από σκληροφυλλική βλάστηση κυρίως στο σύνολο του δυτικού τμήματος του νησιού με μήκος 87,8 km και ποσοστό 45,77 %.

Σημαντικό τμήμα της ακτογραμμής αποτελούν εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής που αναφέρονται σε τουριστική δραστηριότητα και γη κυρίως γεωργικής χρήσης μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης με μήκος 22,3 km και 20,6 km και ποσοστά 11,61 % και 10,73 % αντίστοιχα.

Ελαιώνες, σύνθετες καλλιέργιες και απογυμνωμένοι βράχοι αποτελούν αρκετά μεγάλο τμήμα της ακτογραμμής με συνολικό μήκος 34,85 km και ποσοστό 18,17 %.





Ο υψηλός δείκτης ευαισθησίας (CSI = 4) που συνεπάγεται και υψηλή επικινδυνότητα λόγω της ανόδου της θαλάσσιας στάθμης, εμφανίζεται σε αρκετούς τύπους κάλυψης γης (πιν. 14) και κυρίως σε εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής και σε παραλίες, αμμόλοφους και αμμουδιές που αποτελούν τμήματα τουριστικής δραστηριότητας.

Ο πολύ υψηλός δείκτης ευαισθησίας (CSI = 5) που συνεπάγεται και πολύ υψηλή επικινδυνότητα λόγω της ανόδου της θαλάσσιας στάθμης, εμφανίζεται σε περιορισμένα τμήματα της ακτογραμμής που αποτελούνται από 6 τύπους κάλυψης (πιν. 14) όπως ελαιώνες, σύνθετες καλλιέργειες, γη κυρίως γεωργικής χρήσης μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης, σκληροφυλλική βλάστηση, απογυμνωμένοι βράχοι και παραθαλάσσιοι βάλτοι.

Περιοχές Natura 2000				
Ευαισθησία (CSI)	Δυτικές ακτές Ζακύνθου (GR2010001)	ЕӨПΖ (GR2010002)		
Πολύ χαμηλή (1)	71,894	14,315		
Χαμηλή (2)	26,206	4,635		
Μέτρια (3)	1,232	4,607		
Υψηλή (4)	0,762	7,683		
Πολύ υψηλή (5)	0,236	0,245		
Σύνολο (km)	100,330	31,485		

Πίνακας 15: Μήκος σε km των περιοχών Natura 2000 ανά κατηγορία ευαισθησίας (CSI) της ακτογραμμής της Ζακύνθου.

Το μεγαλύτερο τμήμα της ακτογραμμής της Ζακύνθου υπάγεται στο πρόγραμμα Natura 2000 καθώς καθώς αποτελεί τα 131,815 από τα 191,808 km της συνολικής ακτογραμμής. Από αυτά τα 100,330 km αναφέρονται στις δυτικές και βορειοανατολικές ακτές τις Ζακύνθου και τα 31,485 km αναφέρονται στο ΕΘΠΖ στον Κόλπο του Λαγανά στο νότιο τμήμα του νησιού.

Στο ΕΘΠΖ 7,683 km ενώ αντίστοιχα, στις δυτικές και βορειοανατολικές ακτές Ζακύνθου 762 m, αποτελούν τμήματα αποτελούν τμήματα τα οποία παρουσιάζουν υψηλή επικινδυνότητα με δείκτη παράκτιας ευαισθησίας 4 (πιν. 15).

Στο ΕΘΠΖ 245 m ενώ αντίστοιχα, στις δυτικές και βορειοανατολικές ακτές Ζακύνθου 236 m, αποτελούν τμήματα τα οποία παρουσιάζουν πολύ υψηλή επικινδυνότητα με δείκτη παράκτιας ευαισθησίας 5 (πιν. 15).



Χάρτης 25: Περιοχές Natura 2000 σε συνδυασμό με τη χωρική κατανομή του δείκτη παράκτιας ευαισθησίας (CSI) της ακτογραμμής της Ζακύνθου.

#### ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Ο κύριος σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι ο υπολογισμός της ευαισθησίας της παράκτιας ζώνης του νησιού της Ζακύνθου στους παράκτιους κινδύνους με έμφαση στην άνοδο της θαλάσσιας στάθμης που συντελείται λόγω της κλιματικής αλλαγής. Ο σκοπός αυτός επιτεύχθηκε σε μεγάλο βαθμό με τον εντοπισμό των τμημάτων της παράκτιας ζώνης που διατρέχουν το μεγαλύτερο κίνδυνο μέσω του υπολογισμού του δείκτη παράκτιας ευαισθησίας, μιας μεθόδου που χρησιμοποιείται ευρέως για το σκοπό αυτό σε παγκόσμια κλίμακα.

Η συμβολή της Γεωπληροφορικής για την υλοποίηση της παρούσας πτυχιακής εργασίας, καθώς και για τη μελέτη της παράκτιας ζώνης της Ζακύνθου υπήρξε σημαντική. Η αξιοποίηση της επιστήμης της Γεωπληροφορικής μέσα από τους αυτοματισμούς, το συνδυασμό και τη χρησιμοποιήση διαφόρων εργαλείων και μεθόδων Τηλεπισκόπισης και GIS συντέλεσαν στην παραγωγή σημαντικών αποτελεσμάτων για την περιοχή μελέτης, σε ελάχιστο χρόνο και με μηδαμινό κόστος.

Ένα ακόμη σημαντικό πλεονέκτημα της Γεωπληροφορικής και των GIS ειδικότερα, είναι ο συνδυασμός διαφορετικού τύπου και κλίμακας δεδομένων. Στη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποίηθηκαν δεδομένα μεγάλης κλίμακας και ακρίβειας, μέσης αλλά και μικρής κλίμακας δεδομένα που αναφέρονται σε ολόκληρο τον ελληνικό χώρο. Η διάκριση αυτή έγινε καθώς αναζητήθηκαν δεδομένα διαθέσιμα, ελεύθερα και εύκολα ανακτήσιμα. Έτσι τα αποτελέσματα αποτελούν δεδομένα μέσης κλίμακας και αξίας καθώς και ανάλογης ακρίβειας σε ένα ευρύτερο πλαίσιο για την περιοχή μελέτης. Για μια προσέγγιση μεγαλύτερης ακρίβειας και μεγαλύτερης κλίμακας και αξίας θα πρέπει να ανακτηθούν πλουσιότερα δεδομένα ή να δημιουργηθούν μετά από έρευνα στο πεδίο δεδομένα μεγαλύτερης κλίμακας που δεν είναι διαθέσιμα.

Κατά τη διάρκεια της υλοποίησης της συγκεκριμένης μεθοδολογίας παρουσιάστηκαν κάποια προβλήματα που αξίζει να αναφερθούν, καθώς και να προταθούν περαιτέρω λύσεις και ιδέες με σκοπό τη βελτίωση των αποτελεσμάτων.

Όσο αναφορά τη μέθοδο Τηλεπισκόπισης που χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία του επιπέδου της πρόσφατης ακτογραμμής του 2020, στις οπτικές δορυφορικές εικόνες Sentinel 2 που χρησιμοποιήθηκαν, παρατηρήθηκαν σκιές στις περιπτώσεις που η ακτογραμμή εμφάνιζε παράκτιους απότομους κρημνούς. Έτσι τα αποτελέσματα στα τμήματα αυτά στερήθηκαν

ακρίβειας, η οποία βελτιώθηκε μετά από επαλήθευση των αποτελεσμάτων με τη χρησιμοποίηση λογισμικών όπως το Google Earth Pro και το υπόβαθρο της ESRI του ArcGIS.

Το διανυσματικό επίπεδο της Γεωλογίας στερείται ακρίβειας του τύπου της ακτογραμμής κυρίως στις περιπτώσεις αιγιαλών και ανθρωπογενών κατασκευών, παρουσίαζοντας τη γεωλογική σύσταση του υποβαθρου των τμημάτων αυτών. Για το λόγο αυτό είναι πολύ σημαντική η παράμετρος της Γεωμορφολογίας, η οποία συνεκτιμήθηκε καθώς στις περιπτώσεις αυτές η ευαισθησία δεν εξαρτάται μόνο από τη γεωλογική σύσταση αλλά και από τον τύπο των γεωμορφών αυτών.

Στην παράμετρο της παράκτιας κλίσης η πρώτη προσπάθεια χωρίς τη χρησιμοποίηση της εστιακής λειτουργίας Focal Statistics παρουσίασε προβλήματα τοπικών ακραίων τιμών τα οποία οφείλονται σε διάφορους παράγοντες και δεν αντικατοπτρίζουν τις πραγματικές συνθήκες. Με τη χρησιμοποίηση της λειτουργίας αυτής με φίλτρο μέσου όρου (MEAN) μειώθηκε η ακρίβεια, αλλά απομακρύνθηκαν οι τοπικές αυτές ακραίες τιμές και εξομαλύνθηκε το τελικό αποτέλεσμα.

Τα αποτελέσματα της παράκτιας κλίσης επίσης βοήθησαν στην επαναξιολόγηση της Γεωμορφολογίας της ακτογραμμής και στον επαναπροσδιορισμό τμημάτων της βάση της παράκτιας κλίσης. Για μεγαλύτερη ακρίβεια αποτελεσμάτων προτείνεται και επί τόπου έρευνα στις περιοχές που η παράκτια κλίση παρουσιάζει ακραίες τιμές.

Ένα από τα αίτια της μεταβολής της θαλάσσιας στάθμης αποτελεί και ο τεκτονισμός της περιοχής μελέτης. Η Ζάκυνθος όπως αναφέρθηκε αποτελεί περιοχή πλούσιας τεκτονικής με πλήθος ενεργών ρηγμάτων. Λόγω της έλλειψης δεδομένων για το ρυθμό ολίσθησης των ρηγμάτων αυτών χρησιμοποιήθηκαν αποτελέσματα από έρευνες για κινήσεις ολόκληρων ρηξιγενών τεμαχών. Προτείνεται η περαιτέρω έρευνα των κινήσεων μεμονωμένων ρηγμάτων που εμφανίζονται στην παράκτια ζώνη για μεγαλύτερη ακρίβεια αποτελεσμάτων.

Για τις παραμέτρους του κυματισμού και της παλίρροιας χρησιμοποιήθηκαν μικρής κλίμακας χάρτες με δεδομένα για την ευρύτερη περιοχή του ελληνικού χώρου. Έγινε προσπάθεια για των υπολογισμό κυματικών σκιών των 2 νησίδων με σημαντική έκταση στην περιοχή του Κόλπου του Λαγανά στο νότιο τμήμα της Ζακύνθου. Προτείνεται περαιτέρω έρευνα των τοπικών συνθηκών κυματισμού και παλίρροιας της περιοχής μελέτης κυρίως στο δυτικό τμήμα του νησιού, του οποίου η παράκτια ζώνη αποτελείται από μεγάλο πλήθος κολπίσκων και νησίδων που επηρρεάζουν τοπικά τις παραμέτρους αυτές.

Προτείνεται επίσης η έρευνα για τη χρήση βαρών στις παραμέτρους και η εφαρμογή της μεθόδου της **Σταθμισμένης Χαρτογραφικής Υπέρθεσης** ανάλογα με τη βαρύτητα της κάθε παραμέτρου απέναντι στην ευαισθησία στους παράκτιους κινδύνους, για την εξαγωγή ακριβέστερων αποτελεσμάτων.

Τέλος, προτείνεται ο συνυπολογισμός των ανθρωπογενών μεταβλητών όπως το οδικό δίκτυο, αλλά και η εφαρμογή του δείκτη **Βαθμολογίας Παράκτιας Κοινωνικής Τρωτότητας** (Coastal Social Vulnerability Score – CsoVI) που προτάθηκε το 2005 από τον Boruff και συνδυάζει το Δείκτη Παράκτιας Επικινδυνότητας (CVI) και το δείκτη κοινωνικής τρωτότητας (Social Vulnerability Index – SoVI) που αναφέρεται στην ανάλυση των κύριων κοινωνικών δεδομένων που προέρχονται από απογραφή (Boruff et al., 2005).

### **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Από τη βιβλιογραφία, τη μεθοδολογία, τα αποτελέσματα και την παραπάνω συζήτηση, για την περιοχή μελέτης μπορούν να εξαχθούν τα εξής συμπεράσματα:

- Η ακτογραμμή του νησιού της Ζακύνθου έχει συνολικό μήκος 191,81 km. Το μεγαλύτερο τμήμα της ακτογραμμής αποτελείται από παράκτιους κρημνούς διαφόρων κλίσεων και ασβεστολιθικής σύστασης στο μεγαλύτερο ποσοστό, συνολικού μήκους 153,39 km κυρίως στο δυτικό τμήμα του νησιού. Σημαντικό τμήμα της ακτογραμμής αποτελούν οι αμμώδεις και χαλικώδεις αιγιαλοί συνολικού μήκους 23,92 km που εμφανίζονται κυρίως στο ανατολικό και νότιο τμήμα του νησιού αλλά και στο δυτικό τμήμα σαν αιγιαλοί τύπου pocket beach.
- Σημαντικό τμήμα της ακτογραμμής αποτελούν οι ανθρωπογενείς κατασκευές που αφορούν λιμένες, μέτρα προστασίας από τη διάβρωση, αλλά και κατασκευές τουριστικής δραστηριότητας κυρίως στο ανατολικό και νότιο τμήμα του νησιού. Καταλαμβάνουν συνολικό μήκος 14, 5 km ακτογραμμής.
- Στις παραμέτρους της Γεωλογίας Γεωμορφολογίας και της παράκτιας κλίσης, κυριαρχεί η πολύ χαμηλή ευαισθησία της ακτογραμμής σε ποσοστό 67,1 % και 76 % αντίστοιχα.

- Στις παραμέτρους του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής και του μέσου ύψους κύματος, κυριαρχεί η μέτρια ευαισθησία της ακτογραμμής σε ποσοστό 95,1 % και 70,1 % αντίστοιχα.
- Στις παραμέτρους της μεταβολής της μέσης θαλάσσιας στάθμης και του παλιρροιακού εύρους, κυριαρχεί η πολύ χαμηλή ευαισθησία της ακτογραμμής σε ποσοστό 82,5 % και 100 % αντίστοιχα.
- Το μεγαλύτερο ποσοστό της ακτογραμμής (64,9 %) παρουσιάζει πολύ χαμηλή ευαισθησία με δείκτη 1 που αντιστοιχεί σε 124,437 km ακτογραμμής. Χαμήλη ευαισθησία με δείκτη 2 παρουσιάζει το 21,3 % της ακτογραμμής που αντιστοιχεί σε 40,882 km, ενώ μέτρια ευαισθησία με δείκτη 3 παρουσιάζει το 6,4 % της ακτογραμμής που αντιστοιχεί σε 12,383 km.

Ιδιαίτερη αναφορά και ανάλυση πρέπει να γίνει για τα τμήματα της ακτογραμμής που παρουσιάζουν υψηλή και πολύ υψηλή ευαισθησία με δείκτη 4 και 5 αντίστοιχα. Από τα αποτελέσματα μπορούν να εξαχθούν τα εξής συμπεράσματα:

- Τα τμήματα της ακτογραμμής που παρουσιάζουν υψηλή ευαισθησία με δείκτη 4, εμφανίζονται κυρίως στο ανατολικό και νότιο τμήμα του νησιού, αντιστοιχούν ως επί το πλείστον σε αιγιαλούς, έχουν συνολικό μήκος 13,418 km και καταλαμβάνουν σε ποσοστό το 7 % της ακτογραμμής. Από αυτά, τα 8,445 km αφορούν προστατευμένες περιοχές Natura των δυτικών ακτών της Ζακύνθου και του ΕΘΠΖ. Πιο συγκεκριμένα η ακτογραμμή της υψηλής ευαισθησίας (CSI = 4) αποτελείται από:
  - 1. 1.266 m ασυνεχούς αστικού ιστού
  - 2. 13 m ζωνών λιμένων
  - 3. 4.948 m εγκαταστάσεων αθλητισμού και αναψυχής
  - 4. 253 m ελαιώνων
  - 5. 7 m λιβαδιών
  - 6. 1.456 m σύνθετων καλλιεργειών
  - 7. 1.746 m γης γεωργικής χρήσης μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης
  - 8. 2.128 m σκληροφυλλικής βλάστησης
  - 9. 1.200 m παραλιών, αμμόλοφων και αμμουδιών
  - 10. 183 m απογυμνωμένων βράχων
  - 11. 62 m εκτάσεων αραιής βλάστησης
  - 12. 156 m παραθαλάσσιων βάλτων

- Τα τμήματα της ακτογραμμής που παρουσιάζουν πολύ υψηλή ευαισθησίας με δείκτη
  5, εμφανίζονται κυρίως στο ανατολικό και νότιο τμήμα του νησιού, αντιστοιχούν ως
  επί το πλείστον σε αιγιαλούς, έχουν συνολικό μήκος 688 m και καταλαμβάνουν σε
  ποσοστό το 0,4 % της ακτογραμμής. Από αυτά, τα 481 m αφορούν προστατευμένες
  περιοχές Natura των δυτικών ακτών της Ζακύνθου και του ΕΘΠΖ. Πιο συγκεκριμένα
  η ακτογραμμή της πολύ υψηλής ευαισθησίας (CSI = 5) αποτελείται από:
  - 1. 57 m ελαιώνων
  - 2. 92 m σύνθετων καλλιεργειών
  - 3. 207 m γης γεωργικής χρήσης μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης
  - 4. 235 m σκληροφυλλικής βλάστησης
  - 5. 1 m απογυμνωμένων βράχων
  - 6. 96 m παραθαλάσσιων βάλτων

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Ελληνόγλωσση

- Αστάρας, Θ., Οικονομίδης, Δ., Μουρατίδης, Α., 2011. Ψηφιακή Χαρτογραφία και Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Πανεπιστημιακές σημειώσεις. Τμήμα εκδόσεων Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.
- Δανδουλάκη, Μ., Καρύμπαλης, Ε., Σκορδίλη, Σ., 2018. Σύγχρονα θέματα φυσικών και ανθρωπογενών καταστροφών. Εκδόσεις ΚΨΜ, Αθήνα. 131 – 161 σελ.
- Δερμάνης, Α., Ρωσσικόπουλος, Δ., Φωτίου, Α., 1994. Τοπογραφικοί υπολογισμοί και συνορθώσεις δικτύων. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη. 228 σελ.
- Δούτσος, Θ., 2000. Γεωλογία: Αρχές και Εφαρμογές, Εκδόσεις Leader Books, Αθήνα, 368 σελ.
- Ευελπίδου, Ν., 2017. Μεταβολές Θαλάσσιας Στάθμης. Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα. 25, 36 42 σελ.
- ΙΓΜΕ, 1980. Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος. Φύλλο Ζάκυνθος, από Perry, L. J., Temple, P. G., Δημόπουλος, Β., κλίμακα 1:50.000, Αθήνα.
- Καρύμπαλης, Ε. και Γάκη Παπαναστασίου, Κ., 2008. Γεωμορφολογική μελέτη των δέλτα των ποταμών Πηνειού, Καλαμά, Εύηνου και Μόρνου. Πρακτικά 4<sup>ου</sup> Πανελλαδικού Συνεδρίου Διαχείρηση και Βελτίωση Παράκτιων Ζωνών, έκδοση Εργαστηρίου Λιμενικών Έργων, ΕΜΠ. 85 – 94 σελ.
- Καρύμπαλης, Ε., 2010. Παράκτια Γεωμορφολογία. Εκδόσεις Ίων, Αθήνα.
- Καρύμπαλης, Ε., Παπαδόπουλος, Γ. Α., Χαλκιάς, Χ., 2014. Η Γεωγραφία του Παράκτιου και Νησιωτικού Χώρου. Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε., Αθήνα. 15 – 37 σελ.
- Κοντογιάννη, Α., Τουρκολιάς, Χ., Σκούρτος, Μ., Παπανικολάου, Δ., Παπανικολάου, Μ., Πούλος, Σ., 2011. Οι κίνδυνοι και οι επιπτώσεις της κλιματικής μεταβολής από την άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Οι Περιβαλλοντικές, Οικονομικές και Κοινωνικές Επιπτώσεις της Κλιματικής Αλλαγής στην Ελλάδα. Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής, Τράπεζα της Ελλάδας. 165 – 189 σελ.
- Κουτίτας, Χ., 1998. Εισαγωγή στην παράκτια τεχνική και τα λιμενικά έργα. Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονική. 182 σελ.
- Κουτσόπουλος, Κ. και Ανδρουλακάκης, Ν., 2003. Εφαρμογές Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών με χρήση του λογισμικού ArcGIS. Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα. 397 σελ.
- Λιβιεράτος, Ε., 2002. Χαρτογραφίας και Χαρτών Περιήγησις. 3<sup>η</sup> έκδοση, Εθνικό Κέντρο Χαρτών και Χαρτογραφικής Κληρονομιάς. Εθνική Χαρτοθήκη, Θεσσαλονίκη. 300 σελ.

- Λέκκας, Ε., 1993. Νεοτεκτονικός χάρτης της Ελλάδος. Φύλλα Ζάκυνθος Βολίμες. Κλίμακα 1:50.000. Τομέας Δυναμικής, Τεκτονικής και Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Αθηνών. 116 σελ.
- Λέκκας, Ε., Κολυβά, Μ., Αντωνόπουλος, Γ., Κοπανάς, Ι., 1997. Οι σεισμοί της Ζακύνθου. Προσπάθεια ερμηνείας των περιγραφών των σεισμών και συσχέτισης με την υφιστάμενη γεωλογική δομή. Τομέας Δυναμικής, Τεκτονικής και Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Αθηνών, ανάτυπο των Γεωλογικών Χρονικών και Ελληνικών Χώρων, 37, 1996 97. 1033 1073 σελ.
- Λεοντάρης, Σ., 1992. Εισαγωγή στην Ωκεανογραφία. Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα. 441 σελ.
- Μίρκου Περιποπούλου, Ρ., 1974. Στρωματογραφία και Γεωλογία του Βόρειου τμήματος της Ζακύνθου. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Αθηνών. 105 σελ.
- Μουντράκης, Μ. Δ., 2010. Γεωλογία και Γεωτεκτονική Εξέλιξη της Ελλάδας. Εκδόσεις University Studio Press, Θεσσαλονίκη. 18 – 20, 172 – 185 σελ.
- Μουρατίδης, Α., 2010. Συμβολή της υποστηριζόμενης από GPS και GIS διαστημικής Τηλεπισκόπισης στη Μορφοτεκτονική έρευνα της Κεντρικής Μακεδονίας. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ. 218 σελ.
- Μπαθρέλλος, Γ., Σκυλοδήμου, Χ., Χουσιανίτης, Κ., 2010. Εκτίμηση της εδαφικής διάβρωσης στη νήσο Ζάκυνθο με χρήση γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών. Πρακτικά του 9ου Πανελλήνιου Γεωγραφικού Συνεδρίου της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας. Αθήνα, 04 – 06.11.2010. 246 – 253 σελ.
- Νασοπούλου, Ι., Πούλος, Σ., Καρύμπαλης, Ε., Γάκη Παπαναστασίου, 2012. Μελέτη της τρωτότητας των βόρειων ακτών Αντίρριο – Ερατείνη, του δυτικού Κορινθιακού Κόλπου ως προς την αναμενόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης. Πρακτικά 10<sup>ου</sup> Πανελλήνιου Συμποσίου Ωκεανογραφίας και Αλιείας, CD – ROM.
- Νικολάου, Κ., 1983. Συμβολή στη γνώση και οριοθέτηση της Ιόνιας και Προαπουλίας ζώνης σε σχέση με πετρελαιογεωλογικές παρατηρήσεις στα νησιά Στροφάδες, Ζάκυνθο και Κεφαλληνία. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Αθηνών. 350 σελ.
- Νόμος 2971/2001. Αιγιαλός, παραλία και άλλες διατάξεις. ΦΕΚ Α' 285/19.12.2001.
- ΟΑΣΠ, 2004. Αναθεωρημένος χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας Ελλάδας.
- Παρχαρίδης, Ι., 2015. Αρχές δορυφορικής Τηλεπισκόπισης. Θεωρία και εφαρμογές. Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα, <u>www.kallipos.gr</u>, Αθήνα.
- Σουκισιάν, Τ., Χατζηνάκη, Μ., Κορρές, Γ., Παπαδόπουλος, Α., Κάλλος, Γ., Αναδρανιστάκης, Ε., 2007. Άτλας Ανέμου και Κύματος των Ελληνικών Θαλασσών. Εκδόσεις Ελληνικό Κέντρο Θαλασσίων Ερευνών. 300 σελ.
- Φωτίου, Α. και Πικριδάς, Χ., 2006. GPS και Γεωδαιτικές Εφαρμογές. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη. 319 σελ.
- Χαλκιάς, Χ., 2006. Όροι και έννοιες της επιστήμης των γεωγραφικών πληροφοριών, Geographic Information System. Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα.

- Χαλκιάς, Χ., 2015. Γεωγραφική Ανάλυση με την αξιοποίηση της Γεωπληροφορικής, Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα, <u>www.kallipos.gr</u>, Αθήνα.
- Χατζηελευθερίου, Μ., Αλεξανδράκης, Γ., Πούλος, Σ., Γάκη Παπαναστασίου, Κ., Μαρουκιάν, Χ., 2010. Εκτίμηση της τρωτότητας της παράκτιας ζώνης των Α και ΒΑ ακτών της Αττικής σε σχέση με μια μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης. Πρακτικά 8<sup>ου</sup> Πανελλήνιου Γεωγραφικού Συνεδρίου. 298 – 305 σελ.
- Χουσιανίτης, Κ., 2009. Ιδιότητες σεισμικών πηγών και προσδιορισμός εδαφικής παραμόρφωσης ευρύτερης περιοχής Κεφαλληνίας – Ζακύνθου βάσει γεωφυσικών και διαστημικών μεθόδων. Διδακτορική Διατριβή, Τομέας Γεωφυσικής – Γεωθερμίας, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Αθηνών.

#### Ξενόγλωσση

- Abuodha, P. A. and Woodroffe, C. D., 2006. Assessing vulnerability of coasts to climate change. A review of approaches and their application to the Australian coast. Woodroffe, C. D., Bruce, E., Puotinen, M., Furness, R. A. (ed.). GIS for the Coastal Zone. A selection of Papers from CoastGIS, 2006. Australian National Centre for Ocean Resources and Security University of Wollongong, Wollongong, Australia.
- Abuodha, P. A. and Woodroffe, C. D., 2010. Assessing vulnerability to sea level rise using a coastal sensitivity index. A case study from southeast Australia. J. Coast. Conserv., 14. 189 205 pp.
- Alexandrakis, G., Karditsa, A., Poulos, S., Ghionis, G., Kampanis, N. A., 2010. An assessment of the vulnerability to erosion of the coastal zone due to a potential rise to sea – level. The case of the Hellenic Aegean coast. Sydow, A. (ed.). Environmental Systems, Encyclopedia of Life Support Systems EOLSS. Developed under the Auspices of the UNESCO, EOLSS Pub, Oxford.
- Aubouin, J. & Dercourt, J., 1962. Zone Preapoulien, Zone Ionienne et Zone de Gavrovo en Pelloponnese occidentale. Bulletin de la Societe geologique de France, 4. 785 794 pp.
- Bartlett , D. and Smith, J., 2005. GIS for Coastal Zone Management, CRC Press.
- Bijlsma, L., 1996. Coastal zones and small islands. R. T. Watson, M. C. Zinyowera and R. H. Moss (eds.). Climate change 1995. Impacts, adaptations and mitigation of climate change: scientific technical analyses (Contribution of working group II to the second assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change). Cambridge University Press, Cambridge. 289 324 pp.
- Boruff, B. J., Emrich, C., Cutter, S. L., 2005. Erosion hazard vulnerability of US coastal countries. Journal of Coast Research. 21, 5. 932 – 943 pp.
- Briggs, D., Smithson, P., Addison, K., Atkinson, K., 1997. Fundamentals of the physical environment. 2<sup>nd</sup> edition, Routledge, London.

- Bruun, P., 1962. Sea level rise as a cause of shore erosion. Journal of Waterways and Harbour Division, 88. 117 130 pp.
- Burrough, P. A., 1992. Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. Clarendon Press, Oxford. 194 p.
- Burrough, P. A. and McDonnell, A., 2000. Principles of Geographical Information Systems. Oxford University Press, New York. 333 p.
- Caputo, R., 2007. Sea level curves. Perplexities of an end user in morphotectonic applications. Global and Planetary Change, 57. 417 423 pp.
- Carter, R. W. G. and Stone, G. W., 1989. Mechanisms associated with the erosion of sand dune cliffs, Magillilan, Northern Ireland. Earth Surface Processes and Landforms, 14. 1 10 pp.
- Carter, R. W. G., 1990. The impact on Ireland of changes in mean sea level. Programme of expert studies in climate change, No 2. Department of the Environment, Dublin.
- Chousianitis, K., Sakkas, V., Parcharidis, I., Vassilopoulou, S., Lagios, E., 2010. Surface Deformation of Zakynthos Island deduced from DGPS measurements and Differential Sar Interferometry. Hellenic Journal of Geosciences, Vol. 45. 33 44 pp.
- Dermitzakis, M., 1977. Stratigraphy and sedimentary history of the Miocene of Zakynthos, Ionian Islands, Greece. Annales geologiques des Pays Helleniques, 29. 47 – 186 pp.
- Dermitzakis, M., Papanikolaou, D., Karotsieris, Z., 1977. The marine Quaternary formations of SE Zakynthos island and their palaeographic implications. Proceedings of VI Colloquim on the Geology of the Aegean Region. Institute of Geological and Mining Research, I. 407–415 pp.
- Diez, P. G., Perillo, G. M. E., Piccolo, C. M., 2007. Vulnerability to sea level rise on the coast of Buenos Aires Province. Journal of Coastal Research, 23. 19 – 126 pp.
- Dominguez, C. M., Church, J. A., White, N. J., Gleckler, P. J., Wijffels, S. E., Barker, P. M., Dunn, J. R., 2008. Improved estimates of upper – ocean warming and multi – decadal sea – level rise. Nature, 453, 1090 – 1093 pp.
- European Commission, 2002. Recommendation of the European Parliament and Council of 20 May 2002, concerning the implementation of the Integrated Coastal Zone Management in Europe, 2002/413/EC OJ L148, 06.06.2002. 24 pp.
- European Commission, 2004. Living with coastal erosion in Europe, sediment and space for sustainability. Results form the EUROSION study. Ed. P. Doody, M. Ferreira, S. Lombardo, I. Lucius, R. Misdorp, H. Niesing, A. Salman, M. Smallegange.
- Ferentinou, M., Karympalis, E., Shanganlall, A., Smith, A., 2019. A Coastal Susceptibility Index Assessment of KwaZulu-Natal, East Coast of South Africa. Geologic Hazards. Earthquakes, Land Subsidence, Coastal Hazards and Emergency Response.

- FitzGerald, D. M., Fenster, M. F., Argow, B. A., Buynevich, I. V., 2008. Coastal impacts due to sea level rise. Annual Review of Earth and Planetary Sciences 36. 601 – 647 pp.
- Forbes, D. L., Taylor, R. B., Solomon, S. M., Craymer, M., Manson, G. K., Dyke, A. S., Hodgson, D. A., 2003. Crustal motion, climate change and coastal morphodynamics in the western Canadian Arctic. International Conference on Arctic margins, 30.09 – 03.10.2003. Geological Survey of Canada – Atlantic, Dartmouth, Nova Scotia, Canada, Abstract, 3.
- Gaki Papanastassiou, K., Maroukian, H., Pavlopoulos, K., Zamani, A., 1997. The implications of the expected sea level rise on the low lying areas of continental Greece in the next century. Marinos, P. G., Koukis, G. C., Tsianbaos G. C., Stournaras, G. C. (ed.), Proceedings International Symposium on Engineering Geology and the Environment. 121 126 pp.
- Gaki Papanastassiou, K., Karympalis, E., Maroukian, H., 2010. Recent Geomorphic changes and anthropogenic activities in the delta plain of Pinios River in central Greece. Bulletin of the Geological Society of Greece, XLIII, 1. 409 – 417 pp.
- Gaki Papanastassiou, K., Karympalis, Poulos, S., Seni, A., Zouva, Ch., 2010. Coastal vulnerability assessment to sea – level rise based on geomorphological and oceanographical parameters: the case of Argolikos Gulf, Peloponnese, Greece. Hellenic Journal of Geosciences, 45. 109 – 121 pp.
- Ganas, A., Oikonomou, I. A., Tsimi, C., 2013. NOAfaults: a digital database for active faults in Greece. Bulletin of the Geological Society of Greece, XLVII, 2013. Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Congress, Chania, 11.2013.
- Goodchild, M. I., 1985. Geographical Information Systems in Undergraduate Geography: A Contemporary Dilemma. The Operation Geographer, No. 34 38 pp.
- Gornitz, V., Kanciruk, P., 1989. Assessment of global coastal hazards from sea level rise. Coastal Zone '89. Proceedings of 6<sup>th</sup> Symposium on Coastal and Ocean Management, ASCE, Charleston, South Carolina. 1345 – 1359 pp.
- Gornitz, V., 1991. Global coastal hazards from future sea level rise. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology Global and Planetary Change Section, 89. 379 398 pp.
- Gornitz, V. M., White, T. W., Cushman, R. M., 1991. Vulnerability of the U. S. to future sea level rise. Coastal Zone '91. Proceedings of 7<sup>th</sup> Symposium on Coastal and Ocean Management, American Society of Civil Engineers. 1345 – 1359 pp.
- Grinsted, A., Moore, J. C., Jevrejeva, S., 2010. Reconstructing sea level from paleo and projected temperatures 200 to 2100 AD. Climate Dynamics, 34. 461 472 pp.
- Hughes, P., Brundrit, G. B., 1992. An index to assess South Africa's vulnerability to sea level rise. South African Journal of Science, 88. 308 311 pp.

- IPCC, 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Core Writing Team, Pachauri, R. K. and Reisinger, A. (eds.). IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.
- IPCC, 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Core Writing Team, R. K., Pachauri and L. A. Meyer (eds.). IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- Ishii, M., Kimoto, M., 2009. Reevaluation of historical ocean heat content variations with time varying XBT and MBT depth bias. Journal of Oceanography, 65 (3), 287 299 pp.
- Jenks, G. F., 1977. Optimal data classification for choropleth maps. Lawrence Kan, University of Kansas.
- Karympalis, E., Chalkias, C., 2005. A GIS RS approach in vulnerability assessment of deltaic coastal zone due to the impact of sea – level rise. Dalezios, N. R., Dobesch, H. (ed.), Proceedings of International on GIS and Remote Sensing: Environmental Applications, Volos, Greece, 7 – 9 November 2003. 299 – 306 pp.
- Karympalis, E., Karageorgiou, M. M., Parcharidis, I., Karageorgiou, D., 2006. Recent coastline changes and implications of the future sea – level rise at the Kalamas river delta Western Greece. Turbielewicz, A. (ed.), Coastal Dynamics Geomorphology and Protection. 197 – 204 pp.
- Karympalis, E., Gaki Papanastassiou, K., Maroukian, H., 2007. Recent geomorphic evolution of the fan delta of the Mornos river, Greece: Natural Processes and Human Impacts. Bulletin of the Geological Society of Greece XXXX, Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Congress. 1538 – 1551 pp.
- Karympalis, E., Chalkias, C., Chalkias, G., Grigoropoulou, E., Manthos, G., Ferentinou, M., 2012. Assessment of the sensitivity of the southern coast of the Gulf of Corinth Peloponnese, Greece, to sea – level rise. Central European Journal of Geosciences, 4, 4. 561 – 577 pp.
- Karymbalis, E., Chalkias, C., Ferentinou, M., Chalkias, G., Magklara, M., 2014. Assessment of the Sensitivity of Salamina and Elafonissos islands to Sea-Level Rise. Journal of Coastal Research, Special Issue, 70. 378-384 pp.
- Katrivanos, E., Kilias, A., 2013. Kinematics of deformation and structural evolution of the Paikon Massif, Central Macedonia, Greece. A Pelagonian tectonic window? Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen, 269, 2. 149-171 pp.
- Katselidis, A. K., Schofield, G., Dimopoulos, P., Pantis, D. J., 2014. Employing sea level rise scenarios to strategically select sea turtle nesting habitat important for long – term management at a temperature breeding area. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 450, 2014. 47 – 54 pp.
- Kearney, M. S., 2013. Coastal risk versus vulnerability in an uncertain sea level future. Coastal Hazard Springer, Netherlands. 101 – 115 pp.
- Keller, A. and Blodgett, R., 2006. Natural Hazards, Earth's Processes as Hazards, Disasters and Catastrophes. Pearson Prentice Hall. 395 pp.

- Kilias, A., Tranos, M., Mountrakis, D., Shallo, M., Marto, A., Turku, I., 2001. Geometry and kinematics of deformation in the Albanian orogenic belt during the Tertiary. Journal of Geodynamics, 31. 169 187 pp.
- Kilias, A., Falalakis, G., Sfeikos, A., Papadimitriou, E., Vamvaka, A., Gkarlaouni, Ch., 2012. The Thrace basin in the Rhodope province of NE Greece. A Tertiary supradetachment basin and its geodynamic implications. Tectonophysics, 2012, 05, 008.
- Lagios, E., Sakkas, V., Papadimitriou, P., Parcharidis, I., Damiata, B. N., Chousianitis, K., Vassilopoulou, S., 2007. Crustal deformation in the Central Ionian Islands, Greece. Results from DGPS and DInSAR analyses (1995–2006). Tectonophysics, Vol. 444, Issues 1 – 4, 01.11.2007. 119 – 145 pp.
- Lekkas, E., 1999. Active fault deformation Antiseismic Planning in the island of Zakynthos, Western Greece. EUG 10, European Union of Geosciences. Extended Abstract, Vol. 4, No 1, Strasbourg. 546 p.
- Lekkas, E. and Mavroulis, S., 2018. The Mw 6.8 October 26, 2018 Zakynthos, Ionian Sea, Greece Earthquake. Newsletter of Environmental, Disaster and Crises Management Strategies, National and Kapodistrian University of Athens, Issue No 10, 11.2018.
- Levitus, S., Antonov, J. I., Boyer, T. P., Locarnini, R. A., Garcia, H. E., Mishonov, A. V., 2009. Global ocean heat content 1955 – 2007 in light of recently revealed instrumentation problems. Geophysical Research Letters, 36, L07608.
- Makropoulos, K. and Burton, P., 1984. Greek tectonics and seismicity. Tectonophysics, 106. 275 304 pp.
- Marcos, M. & Tsimplis, M. N., 2007. Forcing of coastal sea level rise patterns in the North Atlantic and the Mediterranean Sea. Geophysical Research Letters, 34 (18), L01604.
- Maroukian, H., 1990. Implications of sea level rise for Greece. Report of IPCC, Miami Conference, 2. 161 181 pp.
- Mavromatidi, A. and Karympalis, E., 2016. Assessment of Susceptibility to Sea Level Rise in the Coastal Area of Pieria Prefecture. Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. L, 2016. Proceedings of the 14<sup>th</sup> International Conference, Thessaloniki, 05.2016.
- McLean, R. F., 2004. Bruun Rule. A.S. Goodie (ed.). Encyclopedia of Geomorphology, Vol. 1. Routledge. 103 106 pp.
- Mimura, N., 1999. Vulnerability of island countries in the South Pacific to sea level rise and climate change. Climate Research, 12. 137 – 143 pp.
- Mountrakis, D., 1986. The Pelagonian zone in Greece. A polyphase deformed fragment of the Cimmerian continent and its role in the geotectonic evolution of the Eastern Mediterranean. Journal of Geology, 94. 335 – 347 pp.
- Nageswara, Rao, H., Subraelu, P., Venkateswara, Rao, T., Hema, Malini, B., Ratheesh, R., Bhattacharya, S., Rajawat, Ajai, A. S., 2008. Sea – level rise and coastal vulnerability. An assessment of Andhra Pradesh coast, India through remote sensing and GIS. Journal of Coast Conservation, 12. 195 – 207 pp.
- Papoulia, M., Karympalis, E., Gaki Papanastasiou, K., Maroukian, H., 2013. Assessment of the Susceptibility of the Coast of Astypalaea Island (SE Aegean Sea) to Sea – Level Rise. Bulletin of the Geological Society of Greece, XLVII, 2013. Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Congress, Chania, 11.2013.
- Pendleton, E. A., Thieler, E. R., Williams, S. J., 2004. Coastal vulnerability assessment of Cape Hattaras National Seashore CAHA, to sea – level rise. USGS Open File Report 1064, 15.12.2011.
- Pethick, J. and Crooks, S., 2000. Development of coastal vulnerability index. A geomorphological perspective. Environmental Conservation, 27. 359 – 367 pp.
- Poulos, S. E., Ghionis, G., Maroukian, H., 2009. The consequences of a future eustatic sea level rise on the deltaic coasts on Inner Thermaikos Gulf Aegean Sea and Kyparissiakos Gulf Ionian Sea, Greece. Geomorphology, 107. 18 – 24 pp.
- Reading, H. G., Collinson, J. D., 1996. Clastic coasts. In: H. G. Reading (ed.): Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy. 3<sup>rd</sup> edition, Blackwell Science, Oxford. 157 231 pp.
- Ring, U., Glodny, J., Will, T., Thomson, S., 2010. The Hellenic subduction system. High pressure metamorphism, exhumation normal faulting and large scale extension. Annual reviews of Earth and Planetary Sciences, 38. 45 – 76 pp.
- Rus Copernicus training kit HUA1019, 2019. Water bodies mapping from space with Sentinel 1 & Sentinel 2. Rus – Copernicus, ESA.
- Sakkas, V., Novali, F., Vassilopoulou, S., Damiata, B. N., Fumagalli, A., 2014. Ground Deformation of Zakynthos Island, Western Greece, observed by PSI and DGPS. IGARSS 2014, Quebec, Canada.
- Sankari, Siva, T., Chandramouli, A. R., Gokul, K., Mangala, Surya, S. S., Saravanavel, J., 2015. Coastal Vulnerability Mapping Using Geospatial Technologies InCuddalore – Pichavaram Coastal Tract, Tamil Nadu, India. International Conference on Water Resources, Coastal and Ocean Engineering (ICWRCOE, 2015). Aquatic Procedia, 4. 412 – 418 pp.
- Shaw, J., Taylor, R. B., Forbes, D. L., Ruz, M., H., Solomon, S., 1998. Sensitivity of the coasts of Canada to sea level rise. Bulletin of the Geological Survey of Canada, 505. 1 79 pp.
- Sorel, D., 1976. Tectonique et neotectonique de la zone preapulienne, Bulletin de la Societe geologique de France, 18. 383 – 384 pp.
- Stowe, K., 1996. Exploring Ocean Science. 2<sup>nd</sup> edition, Wiley, New York.
- Thieler, E. R., Hammar Klose, E. S., 1999. National Assessment of Coastal Vulnerability to Sea Level Rise, U. S. Atlantic Coast. U. S. Geological Survey, Open – File Report. 99 – 593 pp.
- Thieler, E. R., 2000. National Assessment of Coastal Vulnerability to Future Sea Level Rise. USGS Fact Sheet, 076 00.
- Tsimplis, M. N., 1994. Tidal Oscillations in the Aegean and Ionian Seas. Estuarine Coastal and Shelf Science, 3. 201 – 208 pp.

- United Nations Conference on Environment and Development (UNCED), 1992. Agenda 21 and the UNCED proceedings, Oceania Publications, New York.
- Underhill, J. R., 1989. Late Cenozoic deformation of the Hellenic foreland, Western Greece. Geological Society of America Bulletin, 101. 613 634 pp.
- UNEP, 1992. The World Environment 1972 1992. Chapman & Hall, London.
- Wu, S., Yarnal, B., Fisher, A., 2002. Vulnerability of coastal communities to sea level rise: a case study of Cape May County, New Jersey, USA. Climate Research 22. 255 – 270 pp.

## Ιστοσελίδες

http://www.geodata.gov.gr/ http://www.gozakynthos.gr/gr/ https://www.igme.gr/ https://www.ktimatologio.gr/ https://and.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018 https://natura2000.eea.europa.eu/ https://nmp-zak.org/ https://rus-copernicus.eu/portal/ https://rus-training.eu/ https://scihub.copernicus.eu/ https://scihub.copernicus.eu/ https://sentinel.esa.int/web/sentinel/home https://sete.gr/el https://www.shutterstock.com/home https://en.wikipedia.org/wiki/Zakynthos



## ПАРАРТНМА

Εικόνα παραρτήματος 1: Γεωμορφολογικός χάρτης της Ζακύνθου.



Εικόνα παραρτήματος 2: Προοπτική άποψη της Ζακύνθου από Β – ΒΑ με το πρόγραμμα ArcScene της ESRI.



Εικόνα παραρτήματος 3: Προοπτική άποψη της Ζακύνθου από Α – ΝΑ με το πρόγραμμα ArcScene της ESRI.



Εικόνα παραρτήματος 4: Προοπτική άποψη της Ζακύνθου από B – B $\Delta$  με το πρόγραμμα ArcScene της ESRI.



Εικόνα παραρτήματος 5: Master Plan Εθνικού Θαλάσσιου Πάρκου Ζακύνθου και περιοχών Natura 2000 (www.zantechristo.com).



Εικόνα παραρτήματος 6: Αναλυτικό Master Plan Εθνικού Θαλάσσιου Πάρκου Ζακύνθου στον κόλπο του Λαγανά (www.zantechristo.com).



Εικόνα παραρτήματος 7: Νεοτεκτονικές ενότητες της Ζακύνθου και εμφάνιση των μεγαλύτερων ρηξιγενών δομών που αποτελούν όριά τους στο Google Earth (Lekkas et al., 2018).



Εικόνα παραρτήματος 8: Η βραχονησίδα Βόιδι στην ανατολική πλευρά της Ζακύνθου. Επάνω αριστερά άποψη του 1950 από ταινία της εποχής, επάνω δεξιά άποψη του 2010 και κάτω άποψη του 2018. Η νησίδα αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα παράκτιας διάβρωσης σε συνδυασμό με σεισμική δραστηριότητα.



Εικόνα παραρτήματος 9: Λιμενοβραχίωνες και κυμματοθραύστες για την προστασία του λιμένα της πόλης της Ζακύνθου στην ανατολική πλευρά του νησιού.



Εικόνα παραρτήματος 10: Θαλάσσια αψίδα (sea arch) που υποδηλώνει ένδειξη μεταβολής θαλάσσιας στάθμης και παράκτιας διάβρωσης στο ακρωτήριο Μαραθιάς, στο νοτιοδυτικό τμήμα της Ζακύνθου.



Εικόνα παραρτήματος 11: Θαλάσσιες σπηλιές (sea caves) μέσα σε όρμο που υποδηλώνει ένδειξη μεταβολής θαλάσσιας στάθμης και παράκτιας διάβρωσης στο δυτικό τμήμα της Ζακύνθου.



Εικόνα παραρτήματος 12: Άποψη παράκτιων κρημνών στο νοτιοδυτικό τμήμα της Ζακύνθου.



Εικόνα παραρτήματος 13: Άποψη παράκτιων κρημνών στο νοτιοδυτικό τμήμα της Ζακύνθου, με υποψία δημιουργίας γεωμορφής τόμπολο (tompolo) μεταξύ της βραχονησίδας και του κυρίως νησιού.



Εικόνα παραρτήματος 14: Άποψη παράκτιων κρημνών στο νοτιοδυτικό τμήμα της Ζακύνθου. Χαρακτηριστική η στρώση των μαργαϊκών ασβεστολίθων Ηωκαινικής ηλικίας της ενότητας Παξών.



Εικόνα παραρτήματος 15: Άποψη της παραλίας του Μαραθιά στο νοτιοδυτικό τμήμα της Ζακύνθου που αποτελεί μια γεωμορφή τύπου pocket beach.



Εικόνα παραρτήματος 16: Άποψη της κατολίσθησης στο νοτιοδυτικό τμήμα της Ζακύνθου, αποτέλεσμα του ισχυρού σεισμού μεγέθους M = 6.8 R στις 26/10/2018 σε συνδυασμό με την παράκτια διάβρωση των ασβεστολιθικών παράκτιων κρημνών. Η κατολίσθηση δημιούργησε νέο μέτωπο παραλίας και προέλαση της ακτογραμμής προκαλώντας την ένωση της μεγαλύτερης εκ των βραχονησίδων Μυζήθρες με το κυρίως νησί.



Εικόνα παραρτήματος 17: Άποψη της κατολίσθησης το καλοκαιριού του 2018 στη γνωστή παραλία του Ναυαγίου στο βορειοδυτικό τμήμα της Ζακύνθου, αποτέλεσμα της καταπόνησης των ασβεστολίθων από την παράκτια διάβρωση.



Εικόνα παραρτήματος 18: Άποψη της παραλίας Ξύγκια στο βορειοανατολικό τμήμα της Ζακύνθου που αποτελεί μια γεωμορφή τύπου pocket beach. Χαρακτηριστική είναι η ρηξιγενής επιφάνεια του ρήγματος που επαναδραστηριοποιήθηκε κατά τη σεισμική δραστηριότητα του 1893 (Λέκκας κ.α., 1997).



Εικόνα παραρτήματος 19: Άποψη της παραλίας Πελαγάκι τύπου pocket beach στο βορειοανατολικό τμήμα της Ζακύνθου με χαρακτηριστική εμφάνιση γεωμορφής τόμπολο (tompolo).



Εικόνα παραρτήματος 20: Άποψη παραλίας τύπου pocket beach στο βορειοανατολικό τμήμα της Ζακύνθου.



Εικόνα παραρτήματος 21: Άποψη του όρμου των Αλυκών – Αλυκανά με τις αμμώδεις παραλίες του στο ανατολικό τμήμα της Ζακύνθου (www.gozakynthos.gr/).



Εικόνα παραρτήματος 22: Άποψη αμμώδους παραλίας στην τουριστική περιοχή του Τσιλιβή στο ανατολικό τμήμα της Ζακύνθου.



Εικόνα παραρτήματος 23: Άποψη της κυρίως αμμώδους παραλίας της τουριστικής περιοχής του Τσιλιβή στο ανατολικό τμήμα της Ζακύνθου (www.gozakynthos.gr/).



Εικόνα παραρτήματος 24: Άποψη της κυρίως αμμώδους παραλίας της τουριστικής περιοχής του Αργασίου και στο βάθος της πόλης του νησιού στο ανατολικό τμήμα της Ζακύνθου. Χαρακτηριστικές είναι οι ανθρωπογενείς κατασκευές με την παρουσία πρόβολων (groins) για την προστασία από την παράκτια διάβρωση (www.gozakynthos.gr/).



Εικόνα παραρτήματος 25: Άποψη της χερσόνησου του Βασιλικού και στο βάθος του ακρωτηρίου Γέρακας στο νοτιοανατολικό τμήμα της Ζακύνθου από την κορυφή του ορεινού όγκου του σκοπού.



Εικόνα παραρτήματος 26: Θαλάσσιες εγκοπές (marine notches) στη βάση παράκτιων κρημνών στη χερσόνησο του Βασιλικού στο νοτιοανατολικό τμήμα της Ζακύνθου, αποτέλεσμα της τεκτονικής ανύψωσης της περιοχής σε συνδυασμό με τη δραση του κυματισμού.



Εικόνα παραρτήματος 27: Άποψη του ακρωτηρίου και της αμμώδους παραλίας Γέρακας στη χερσόνησο του Βασιλικού στο νοτιοανατολικό τμήμα της Ζακύνθου (www.gozakynthos.gr/).



Εικόνα παραρτήματος 28: Άποψη της αμμώδους παραλίας της Δάφνης στον Κόλπο του Λαγανά στο νοτιοανατολικό τμήμα της Ζακύνθου. Στο βάθος διακρίνεται το νησί Πελούζο. Η περιοχή εντάσσεται στο ΕΘΠΖ και αποτελεί ζώνη αναπαραγωγής της θαλάσσιας χελώνας Caretta – Carreta.



Εικόνα παραρτήματος 29: Άποψη του Κόλπου του Λαγανά με τις αμμώδεις παραλίες του στο νότιο τμήμα της Ζακύνθου από την κορυφή του ορεινού όγκου του Σκοπού. Το σύνολο της περιοχής εντάσσεται στο ΕΘΠΖ και αποτελεί ζώνη αναπαραγωγής της θαλάσσιας χελώνας Caretta – Carreta.



Εικόνα παραρτήματος 30: Άποψη του νησιού Cameo και στο βάθος του νησιού Μαραθωνήσι στον Κόλπο του Λαγανά στο νότιο τμήμα της Ζακύνθου. Η γέφυρα που ενώνει το νησί Cameo με το κυρίως νησί κατά τη χειμερινή περίοδο καταστρέφεται λόγω της παράκτιας διάβρωσης και της δράσης του κυμματισμού.



Εικόνα παραρτήματος 31: Γεωλογικός σχηματισμός Αγ. Σώστη. Περιλαμβάνει στη βάση κροκαλοπαγή και στη συνέχεια ακολουθία μαργαϊκών ασβεστολίθων, ψαμμιτών, ιλυόλιθων, γαλαζωπών μαργών, άμμων, αργίλων και γύψων ηλικίας Μέσου – Άνω Μειοκαίνου. Εμφανίζεται στο κεντρικό και νότιο τμήμα της Ζακύνθου και καλύπτεται από παχύ ευαποσάθρωτο εδαφικό μανδύα (Λέκκας κ.α., 1997).



Εικόνα παραρτήματος 32: Άποψη της λιμνοθάλασσας του Κεριού στον Κόλπο του Λαγανά στο νοτιοδυτικό τμήμα του νησιού. Τοποθετείται στην τεκτονική ενότητα Κεριού και είναι αποτέλεσμα της χαρακτηριστικής μορφολογικής ταπείνωσης που αποτελεί τυπική μορφή τεκτονικής τάφρου.