ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΝΙΚΗΣ, ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ & ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ:
ΓΕΩΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ:
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΩΚΕΑΝΟΓΡΑΦΙΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Διάβρωση ακτών και χρήσεις γης της παράκτιας ζώνης της Αχαΐας

Coastal erosion and land uses of the coastal zone of Achaia

Αθηνά Αντζουλάτου
Διπλ. Πολιτικός Μηχανικός

Πάτρα 2015

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

Γεώργιος Παπαθεοδώρου, Καθηγητής (Επιβλέπων)

Κων/νος Νικολακόπουλος, Επίκουρος Καθηγητής

Γεώργιος Φερεντίνος, Ομότιμος Καθηγητής

Αφιερωμένο

στην κόρη μου Σεμίνα

και στους γονείς μου Κώστα & Μαρία

…για την υπομονή τους και όχι μόνο

Περίληψη

Η παράκτια ζώνη είναι η γεωγραφική περιοχή στην οποία, οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ του θαλάσσιου και χερσαίου τμήματος, που προκαλούνται από βιοτικά και αβιοτικά συστατικά, συνυπάρχοντας και αλληλεπιδρώντας με τις ανθρώπινες κοινωνίες, συνθέτουν ένα μωσαϊκό οικοσυστημάτων, δυναμικά εξελισσόμενο, μεγάλης περιβαλλοντικής, οικονομικής, κοινωνικής και πολιτισμικής σημασίας. Οι παράκτιες περιοχές αντιμετωπίζουν πλέον αυξανόμενες πιέσεις, ιδίως στους οικοτόπους, στους φυσικούς πόρους (γη, γλυκά/θαλάσσια ύδατα, ενέργεια, αλιεύματα κλπ) καθώς και μέσω της αυξανόμενης ζήτησης υποδομών (λιμένες, μεταφορές, εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων κ.α.).

Η εξέλιξη της ακτογραμμής μπορεί να είναι φυσική ή μπορεί να προκληθεί από ανθρωπογενείς παράγοντες, όπως παρενέργειες θαλάσσιων κατασκευών και δομών προστασίας ακτών. Επιπλέον, η κλιματική αλλαγή μεταβάλλει τις βασικές συνθήκες υπό τις οποίες οι ακτές εξελίσσονται. Και στις δύο περιπτώσεις, βάσιμες προβλέψεις μακροπρόθεσμης ή βραχυπρόθεσμης μετατόπισης της ακτογραμμής είναι ζωτικής σημασίας, για τον περιορισμό των αρνητικών επιπτώσεων και την προστασία των παράκτιων κατασκευών από την διάβρωση και τις λοιπές διεργασίες (όπως παλιρροιακά φαινόμενα, ανύψωση της στάθμης της θάλασσας, εναπόθεση ιζημάτων από τους ποταμούς) που μεταβάλλουν την παράκτια σταθερότητα. Η μοντελοποίηση της ακτογραμμής, εξετάζει ζητήματα όπως η ισορροπία της (equilibrium), η διάβρωση ή η προέλαση των ακτών (εποχική, στιγμιαία, σε βάθος χρόνου), το ισοζύγιο ιζημάτων κλπ. Η κατανόηση της δυναμικής των σταδιακών αλλαγών στην παράκτια γεωμορφολογία, απαιτεί την παρακολούθηση και την ιστορική ανασύνθεση της, χρησιμοποιώντας μια ποικιλία από τεχνικές και αναλυτικές διαδικασίες.

Με την παρούσα εργασία, διερευνάται η διαχρονική εξέλιξη της ακτογραμμής στην παράκτια ζώνη του Καλλικρατικού Δήμου Πατρέων τις τελευταίες δεκαετίες και καθορίζεται το μοντέλο της αλλαγής της. Για το σκοπό αυτό, εφαρμόστηκαν τεχνικές αποτύπωσης και ανίχνευσης αλλαγών της ακτογραμμής σε: α) ιστορικές αεροφωτογραφίες για τα έτη 1960, 1977, 1987, 1992-1994 και 2002 σε διάφορες κλίμακες και β) σε ορθοφωτογραφικό υλικό της ΕΚΧΑ Α.Ε. για τα έτη 1945 και 2008. Για τη συγκριτική παρατήρηση των πρωτογενών δεδομένων και την εξαγωγή αξιόπιστων συμπερασμάτων, έγινε η γεωαναφορά τους σε κοινό προβολικό σύστημα (ΕΓΣΑ’87) μέσω του λογισμικού Arcgis 9.3.

Παράλληλα, έγινε προσδιορισμός των παράκτιων γεωμορφών, των ανθρώπινων παρεμβάσεων (κυρίως των παράκτιων τεχνικών έργων) και των ιζηματολογικών μεταβολών κατά μήκος της ακτογραμμής. Αυτά τα στοιχεία συνδυάστηκαν τόσο με ωκεανογραφικά χαρακτηριστικά του Πατραϊκού και Κορινθιακού Κόλπου όσο και με μετεωρολογικές, κυματικές και υδροδυναμικές παραμέτρους.

Λέξεις Κλειδιά: ακτογραμμή, διάβρωση, ρυθμός μεταβολής, χρήσεις γης, GIS, ERDAS Imagine, DSAS

Περιεχόμενα

1 Εισαγωγή 1

1.1 Παράκτια ζώνη 1

1.1.1 Παράκτια ρεύματα και ζώνες κυματικής δράσης 4

1.1.2 Ιζήματα παράκτιας ζώνης και παράκτιες κυψέλες 7

1.1.3 Ταξινόμηση ακτών 9

1.1.4 Ταξινόμηση μεταβολών της ακτογραμμής 12

1.1.5 Πιέσεις στην παράκτια ζώνη 13

1.2 Παράκτια διάβρωση 19

1.2.1 Φυσικοί και ανθρωπογενείς παράγοντες παράκτιας διάβρωσης 21

1.2.2 Εποχιακές μεταβολές παράκτιας ζώνης 23

1.2.3 Τεκτονικές διεργασίες 24

1.2.4 Κλιματικές αλλαγές – Άνοδος στάθμης θάλασσας 25

1.2.5 Η διάβρωση των Ελληνικών ακτογραμμών 27

1.3 Διαχρονική εξέλιξη της ακτογραμμής 30

1.3.1 Μεταβολή της ακτογραμμής σε χωρο-χρονική κλίμακα 31

1.3.2 Ανίχνευση και χαρτογράφηση ακτογραμμής 34

1.3.3 Υπολογισμός ρυθμού μεταβολής ακτογραμμής 38

1.3.4 Ο ρόλος των GIS στις μελέτες εξέλιξης των ακτογραμμών 43

1.4 Αντικείμενο και σκοπός της έρευνας 45

2 Παράκτια ζώνη Δήμου Πατρέων 46

2.1.1 Πατραϊκός Κόλπος 48

2.1.2 Κορινθιακός Κόλπος 51

2.2 Χρήσεις γης 54

2.3 Ακτογραμμή 62

3 Μεθοδολογία 65

3.1 Προετοιμασία και προεπεξεργασία δεδομένων 66

3.2 Ψηφιοποίηση ακτογραμμών 74

3.3 Υπολογισμός ρυθμού μεταβολής ακτογραμμής 77

4 Παρουσίαση αποτελεσμάτων 82

5 Σύνοψη - Συμπεράσματα.....99

6 Βιβλιογραφία.....102

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1 Γεωγραφική θέση (πορτοκαλί γραμμή) Περιοχής Έρευνας (Πηγή: https://maps.google.com) 46

Εικόνα 2 Υγρότοπος Έλους Αγυιάς, Δήμου Πατρέων (*Πηγή: ΕΚΧΑ Α.Ε. και http://www.tripinview.com*) 60

Εικόνα 3 Αιγιαλός και Παραλία στις Δ.Κ. Βραχναιίκων και Παραλίας 61

Εικόνα 4 Αιγιαλός και Παραλία στο 1^{ο} Δημοτικό Διαμέρισμα Πατρέων και στις Δ.Κ. Ρίου και Αγ.Βασιλείου και στις Τ.Κ. Αραχοβιτίκων, Δρεπάνου και Ψαθόπυργου. 61

Εικόνα 5 Αεροφωτογραφίες έτους 1979 (αριστερά) και 1994 (δεξιά) με τα δύο επιμέρους τμήματα στην Ακτή Ρίου (Porto Rio Hotel) 63

Εικόνα 6 Γεωαναφορά αεροφωτογραφίας στο ERDAS Imagine v.10.0 69

Εικόνα 7 Έλεγχος Total RMS Error (στο συγκεκριμένο παράδειγμα 0,0517) 71

Εικόνα 8 Τελικό αποτέλεσμα γεωαναφερμένης αεροφωτογραφίας 72

Εικόνα 9 Ορθοδιορθωμένο σύνολο χρονοσειράς (mosaic) μετά το ERDAS Mosaic Pro 73

Εικόνα 10 (πάνω): εξαιρέσιμο τμήμα από Γλαύκο έως δυτικό όριο Λιμενικής Ζώνης, (μέση): όρια Λιμενικής Ζώνης Δήμου Πατρέων, (κάτω): εξαιρέσιμο τμήμα από ανατολικό όριο Λιμενικής Ζώνης έως οδ. Κανελλοπούλου. 76

Εικόνα 11 (πάνω) Εξαιρέσιμα από την ανάλυση, της παράκτιας «αστικής» ζώνης του Δ.Πατρέων, τμήματα των ακτογραμμών (με μαύρο ακτογραμμή έτ.1945, με κόκκινο ακτογραμμή έτ.2008) σε υπόβαθρο 2008 | (κάτω) Ψηφιακό υπόβαθρο με ορθοφωτογραφίες του 1945: είναι εμφανής η μετατόπιση της φυσικής ακτογραμμής του 1945 προς τη θάλασσα, λόγω επαναλαμβανόμενων προσχώσεων και τεχνικών έργων («επέλαση» της χέρσου εις βάρος της θάλασσας) 83

Εικόνα 12 Περιοχή Κολυμβητηρίου, Ακτή Δυμαίων | ακτογραμμές: έτ.2008 κόκκινο, έτ.1979 μπλε, έτ.1945 μαύρο | (πάνω) υπόβαθρο από ορθοφωτογραφίες 1945 | (κάτω) υπόβαθρο από ορθοφωτογραφίες 2008 | Δημιουργία Ζώνης Αναψυχής εντός της Λιμενικής Ζώνης με παράκτιες προσχώσεις της τάξεως των 120-130μ εις βάρος της θάλασσας από το 1945 έως και το 2008. 84

Εικόνα 13 Ακτογραμμή έτους 1945 (κίτρινη) – Ακτογραμμή έτους 2008 (ροζ) 85

Εικόνα 14 Ανατολικά του Ακρωτηρίου Δρέπανου, το τμήμα της υπό διάβρωση ακτής με την πυκνή βλάστηση (ευκάλυπτοι) και την στενή πλέον (5-8μ) αμμώδη παραλία (εναέρια πανοραμική λήψη, 2014) (*Πηγή: www.tripinview.com*) 86

Εικόνα 15 Τμήμα ΙΙ (συνολικά) από οδ.Κανελλοπούλου έως Ροδινή (κόκκινο: διάβρωση, πράσινο: πρόσχωση) – Διάγραμμα: Ρυθμός μεταβολής (EPR) ανά διατομή..... 87
Εικόνα 16 Πλαζ ΕΟΤ (κίτρινο:1945, ροζ: 2008) 88
Εικόνα 17 Χάραδρος, πρόσχωση λόγω αποθέσεων στις εκβολές του (βέλος=πρόσχωση) 88
Εικόνα 18 Παραλία Καστελόκαμπου έως οδ.Μ.Αλεξάνδρου 89
Εικόνα 19 Τμήμα από Σέλεμνο έως Αραχωβίτικα 90
Εικόνα 20 Τμήμα παράκτιας ζώνης ανατολικά του Ακρωτηρίου Δρέπανο έως και Ροδινή 91
Εικόνα 21 Τμήμα από Καμίνια έως Γλαύκο: (πάνω) τομές ανά 25μ, κόκκινο: θέσεις διάβρωσεις, πράσινο: θέσεις πρόσχωσης – (μέση) Ρυθμός μεταβολής ανά διατομή, θετικές τιμές: πρόσχωση, αρνητικές τιμές: διάβρωση – (κάτω) Διάγραμμα μεταβολής ακτογραμμής σε μέτρα (συνολική μετακίνηση σε απόλυτες τιμές) 92
Εικόνα 22Από Καμίνια έως Poseidon Palace (λευκά βέλη, μήκος ~2,5χλμ) (πάνω) – Ρυθμός μεταβολής ανά διατομή (μέση) – Μεταβολή ακτογραμμής σε μ ανά διατομή (κάτω)93
Εικόνα 23 Ρυθμός μεταβολής ακτογραμμής (ανά διατομή) τμήματος από Poseidon Palace έως αρχή οδ.Αλεξίου Δεσποτοπούλου (λευκό βέλος) – Βραχναίικα 94
Εικόνα 24 Λιμανάκι Τσουκαλέικα | πάνω: Ιστορικές ακτογραμμές: 1994-μπλε, 1945-κίτρινο, 2008-ροζ) | κάτω: Το 2015 έχει πλέον δημιουργηθεί αμμολωρίδα στην είσοδο του αποκλείοντας τη σύνδεσή του με τον Κόλπο (ιζηματοπαγίδα) | Ανάντη και κατάντη εντοπίζεται διάβρωση | Εκτιμάται ως αστοχία επιλογής θέσης 95
Εικόνα 25 Από οδ.Δεσποτοπούλου (Βραχναίικα) έως οδ.Παπαγιάννη (Ρογίτικα) 96
Εικόνα 26 Από Ρογίτικα έως Γλαύκο (ΔΚ Παραλίας) – ΠΕΟ Πατρών Πύργου, Ακτή Δυμαίων (πάνω) | Ρυθμός μεταβολής ακτογραμμής ανά διατομή για το χρονικό διάστημα 1945-2008 97

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1 Προτεινόμενη ταξινόμηση τύπων διάβρωσης ακτογραμμής με βάση τους τρόπους αλλαγής της (μετά από Leatherman, 1993) (Galgano and Leatherman, 2005)..... 12

Πίνακας 2 Σχέση μεταξύ ανθρώπινων δραστηριοτήτων και επιπτώσεων στην παράκτια ζώνη (Κρεστενίτης, 2011) 15

Πίνακας 3 Οι παράγοντες που προκαλούν μεταβολές (διάβρωση/ πρόσχωση) στην παράκτια μορφολογία και οι χρονικές τους κλίμακες (Ozhan, 2002)..... 21

Πίνακας 4 Μεταβολή της ακτογραμμής σε χωρο-χρονική κλίμακα από φυσικά και ανθρωπογενή αίτια (Επεξεργασία από (Stive et al., 2002)) 32

Πίνακας 5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των κυριότερων μεθόδων υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής (Dolan et al., 1991; Genz et al., 2007; Πετρέλης, 2012)..... 41

Πίνακας 6 Δομή Καλλικρατικού Δήμου Πατρέων (μόνιμος πληθυσμός, απογραφή 2011, Πηγή: Ελληνική Στατιστική Αρχή) 55

Ευρετήριο Σχημάτων

Σχήμα 1 Σχηματική αναπαράσταση παράκτιας κυκλοφορίας – Αριστερά: ρεύματα διαφυγής (rip currents) – Δεξιά: ρεύματα παράλληλα προς την ακτή (longshore currents) (The Comet Program, 2015)..... 4

Σχήμα 2 Τυπικό προφίλ παραλίας, που διαμορφώνεται από την κυματική ενέργεια και που δείχνει την παρουσία ενός ύφαλου αναβαθμού στην ζώνη θραύσης. (offshore: ανοικτή θάλασσα, refraction zone: ζώνη διάθλασης, nearshore zone: ζώνη κοντά στην ακτή, backshore: εσωτερική παραλία, breaker, surf and swash zone: ζώνη θραύσης, απόσβεσης και αναρρίχησης, berm: χερσαίος αναβαθμός, dunes: θίνες) (Μονιούδη, 2011)..... 5

Σχήμα 3 Παράκτιο κύτταρο και στερεομεταφορά (Conscience, 2007) 7

Σχήμα 4 Εποχιακές μεταβολές στο προφίλ (profile) της παράκτιας ζώνης - (winter profile: χειμερινό προφίλ, summer profile: καλοκαιρινό προφίλ, dune: αμμοθίνες, berm: αναβαθμός, sandbar: ανάχωμα άμμου) 23

Σχήμα 5 Κλιματική αλλαγή και παράκτιο σύστημα: σχηματική αναπαράσταση των σημαντικότερων παραγόντων της κλιματικής αλλαγής (συμπεριλαμβανομένων των εξωτερικών θαλάσσιων & χερσαίων επιρροών) (καταιγίδες: storms, κύματα: waves, θαλάσσια στάθμη: sea level, θερμοκρασία: temperature, συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα: CO2 concentration, απορροές: run-off) της κλιματικής αλλαγής (climate change), καθώς και οι εξωτερικές θαλάσσιες (external marine influences) και χερσογενείς επιδράσεις (external terrestrial influences) στο παράκτιο σύστημα (coastal system) (φυσικό: natural και κοινωνικό: societal υποσύστημα: sub-system) (Nicholls et al., 2007)..... 25

Σχήμα 6 Δείκτες που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση της θέσης της ακτογραμμή (επεξεργασία από (Boak and Turner, 2005))..... 37

Σχήμα 7 End Point Rate (EPR) (Ρυθμός Τελευταίου Σημείου) (E.A. Himmelstoss, 2009)..... 42

Σχήμα 8 α) Μορφολογικό σκαρίφημα του Πατραϊκού και Κορινθιακού Κόλπου που παρουσιάζει τα περιβάλλοντα απόθεσης. β) Βυθομετρικές τομές εγκάρσια στον Κορινθιακό Κόλπο που απεικονίζουν την γεωμετρία του (Ιατρού, 2013)..... 52

Σχήμα 9 (a)Βέλτιστη και (b) Μη-βέλτιστη επιλογή εδαφικού σημείου ελέγχου (McWilliam et al., 2005) 68

Σχήμα 10 Αριστερά: HWL – O Dolan et al. (1978) κατέδειξε ότι είναι ένας σταθερός δείκτης ακτογραμμής και είναι λιγότερο ευαίσθητος κατά το παλιρροιακό στάδιο (Dolan et al., 1978) | Δεξιά: Wet/Dry Line (παρόλο που είναι ταυτόχρονα ένα υγρό/στεγνό όριο, δεν

είναι απαραίτητα κορεσμένο τη στιγμή της λήψης της αεροφωτογραφίας) (Limber et al., 2007) 74

Σχήμα 11 Ακτογραμμές (shorelines), γραμμή αναφοράς (baseline), κάθετες τομές (transect), μήκος τομής (transect length), απόσταση τομών (transect spacing) (E.A. Himmelstoss, 2009) 77

Σχήμα 12 Διάγραμμα ροής εργασίας με το DSAS 78

Σχήμα 13 Ενδεικτικές γραμμές αναφοράς (μαύρο χρώμα) σε θέση χωρίς σχετική ευθυγραμμία (θέση «ακρωτηρίου») (E.A. Himmelstoss, 2009) 80

Σχήμα 14 Ενδεικτικό σχήμα αυτόματης δημιουργίας κάθετων τομών από το DSAS . 80

Σχήμα 15 Ρυθμός μεταβολής τελικού σημείου (EPR) όπου όλες οι διατομές (transects) προσδιορίζουν διάβρωση (τιμές κάτω από τον άξονα των χ) 85

Σχήμα 16 Μέση τιμή ρυθμού μεταβολής -27,48 cm/y (διάβρωση) 86

Σχήμα 17 Μεταβολή ακτογραμμής σε μέτρα (απόλυτος αριθμός), για το χρονικό διάστημα 1945-2008 86

1

Εισαγωγή

1.1 Παράκτια ζώνη

Οι έννοιες του Παράκτιου Χώρου (Coastal Area) και της Παράκτιας Ζώνης (Coastal Zone) είναι δύσκολο να αποσαφηνιστούν, παρόλο που κατ' αρχήν είναι διαισθητικά κατανοητές.

Αυτό συμβαίνει καθώς πρόκειται για περιοχές με ιδιαίτερα ρευστό και όχι μονοσήμαντα ορισμένο γεωγραφικό περιεχόμενο στις οποίες επέρχονται διαφοροποιήσεις με την πάροδο του χρόνου (Κιουσόπουλος, 2000). Σ' αυτές τις περιοχές αναπτύσσονται ευαίσθητα και ιδιαίτερης αξίας οικοσυστήματα και ταυτόχρονα δημιουργούνται πολύπλοκες κοινωνικές και οικονομικές δομές και σχέσεις. Ο επιχειρησιακός προσδιορισμός τους και η σαφής διαφοροποίησή τους δεν μπορεί να γίνει με απόλυτα και αντικειμενικά κριτήρια στο σύνολο των περιπτώσεων λόγω της πολυπλοκότητας και του δυναμικού χαρακτήρα αυτών των περιοχών οπότε και οι διαφορετικοί ορισμοί προκύπτουν ως αποτέλεσμα: α) των τοπικών φυσικο-γεωγραφικών χαρακτηριστικών και ιδιαιτεροτήτων, β) των κοινωνικών και οικονομικών λειτουργιών που σε αυτόν συντελούνται, γ) του γνωστικού επιπέδου θεώρησης και τέλος δ) της κλίμακας προσέγγισης (Ηλιάδης et al., 2011; Κοκκώσης et al., 2004; Κοτζαμάνης et al., 2008).

Η έκφραση **«Παράκτιος Χώρος»** χρησιμοποιείται με κάπως ευρύτερη γεωγραφική και περιβαλλοντική σημασία περιλαμβάνοντας την παράκτια ζώνη (Κοκκώσης et al., 2004). Ως μεταβατικός χώρος μεταξύ ξηράς και θάλασσας, χαρακτηρίζεται από σημαντικό βιολογικό, γεωφυσικό, αισθητικό και πολιτισμικό πλούτο με αποτέλεσμα να αποτελεί παραδοσιακά πόλο έλξης πολλών ανθρώπινων δραστηριοτήτων και έργων.

Αποτελεί ένα ιδιόμορφο, ευαίσθητο και πολύπλοκο οικοσύστημα που με τη σειρά του περιλαμβάνει θαλάσσια, παράκτια και χερσαία υποσυστήματα. Αν και κάθε θαλάσσια υποπεριοχή είναι σχετικά ομοιογενής όσον αφορά το κλίμα, τη γεωλογία του θαλάσσιου πυθμένα, τα ωκεάνια ρεύματα, τα χαρακτηριστικά της μάζας του νερού (θερμοκρασία και αλατότητα), τις παράκτιες γεωμορφές, τα θαλάσσια φυτά, πτηνά και θηλαστικά (ή περιέχει επαναλαμβανόμενα μοτίβα από αυτά τα χαρακτηριστικά) (Kelleher and Kenchington, 1991) εντούτοις η ποικιλότητα των φυσικών πόρων και ενδεχομένως η ποικιλότητα των συγκρουόμενων χρήσεων γης δημιουργούν συχνά προβλήματα (conflicts) και στα τρία αυτά υποσυστήματα.

Ο όρος «**Παράκτια Ζώνη**» χρησιμοποιείται ευρύτατα στη διεθνή βιβλιογραφία με βάση την ορολογία που εμφανίσθηκε στη νομοθεσία των ΗΠΑ το 1972, για τη διαχείριση της Παράκτιας Ζώνης (U.S. Congress, 1972), η οποία αναφέρει ότι: «*Παράκτια Ζώνη είναι το χερσαίο και γειτονικό θαλάσσιο τμήμα (υδάτινο και βυθός), στο οποίο οι χερσαίες διεργασίες επηρεάζουν άμεσα τις θαλάσσιες διεργασίες και αντίστροφα. Αποτελεί μια ζώνη μεταβλητού εύρους που συνορεύει (περιβάλλει /περικλείει) την ηπειρωτική, τη νησιωτική χώρα και τις λίμνες. Λειτουργικά ορίζεται σαν η ζώνη μετάβασης από την ξηρά στη θάλασσα, όπου η παραγωγή, η κατανάλωση και οι διεργασίες ανταλλαγής, έχουν τις υψηλότερες τιμές τους. Οικολογικά αποτελεί περιοχή δυναμικών βιοχημικών διεργασιών με ορισμένης δυναμικότητας υποστήριξη διαφόρων μορφών ανθρώπινης ζωής*».

Η εγγενής αδυναμία προσδιορισμού απόλυτων αντικειμενικών κριτηρίων ορισμού της παράκτιας ζώνης (είτε του παράκτιου χώρου) έχει δημιουργήσει μια σειρά ορισμών που διαφοροποιούνται.

Βέβαια, οι επικρατέστεροι ορισμοί που συναντούνται, προσπαθούν να ορίσουν τη γεωγραφική έκταση της παράκτιας ζώνης, για διαχειριστικούς κυρίως λόγους (Κοκκώσης et al., 2004)

Σύμφωνα με το Πρωτόκολλο Ολοκληρωμένης Διαχείρισης Παράκτιων Περιοχών, της Σύμβασης της Βαρκελώνης *«Παράκτια ζώνη» ορίζεται η γεωγραφική περιοχή στην οποία οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ του θαλάσσιου και χερσαίου τμήματος συμβαίνουν σε μορφή σύνθετων οικολογικών συστημάτων, που προκαλούνται από βιοτικά και αβιοτικά συστατικά, συνυπάρχοντας και αλληλεπιδρώντας με τις ανθρώπινες κοινωνίες και τις σχετικές κοινωνικό-οικονομικές δραστηριότητες.*

Στην Ελλάδα (Χάρτης 1) ο Παράκτιος Χώρος (ή Παράκτια Περιοχή) ορίζεται από το Ειδικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης (Ε.Π.Χ.Σ.Α.Α.) ως: «*Ο γεωμορφολογικός χώρος εκατέρωθεν της ακτογραμμής, όπου εκδηλώνεται διαδραστικά η σχέση μεταξύ του θαλάσσιου και του χερσαίου τμήματος, μέσω των σύνθετων οικολογικών συστημάτων πού περιλαμβάνουν βιοτικές και αβιοτικές συνιστώσες. Πρόκειται για μεταβατική ζώνη μεταβλητού πλάτους πού αποτελεί, ταυτόχρονα, ζωτικό χώρο ανθρώπινων κοινωνιών και κοινωνικο-οικονομικών δραστηριοτήτων*».



Χάρτης 1 Η Ελληνική Παράκτια Ζώνη για τους ΟΤΑ Α’ Βαθμού (επίπεδο Δήμων) (με σκούρο γκρι χρώμα) (Beriatos and Papageorgiou, 2010)

1.1.1 Παράκτια ρεύματα και ζώνες κυματικής δράσης

Παράκτια ρεύματα. Παράκτια είναι τα ρεύματα που δημιουργούνται κατά την προσέγγιση των κυμάτων στην ακτή, μετακινώντας ταυτόχρονα ιζήματα από και προς την ακτή, ανάλογα με τις κυματικές συνθήκες που κάθε φορά επικρατούν (ύψος, πλάτος, διεύθυνση κυματισμού).

Κοντά στην ακτή ξεχωρίζουμε δύο κύριους τύπους ρευμάτων (Σχήμα 1):

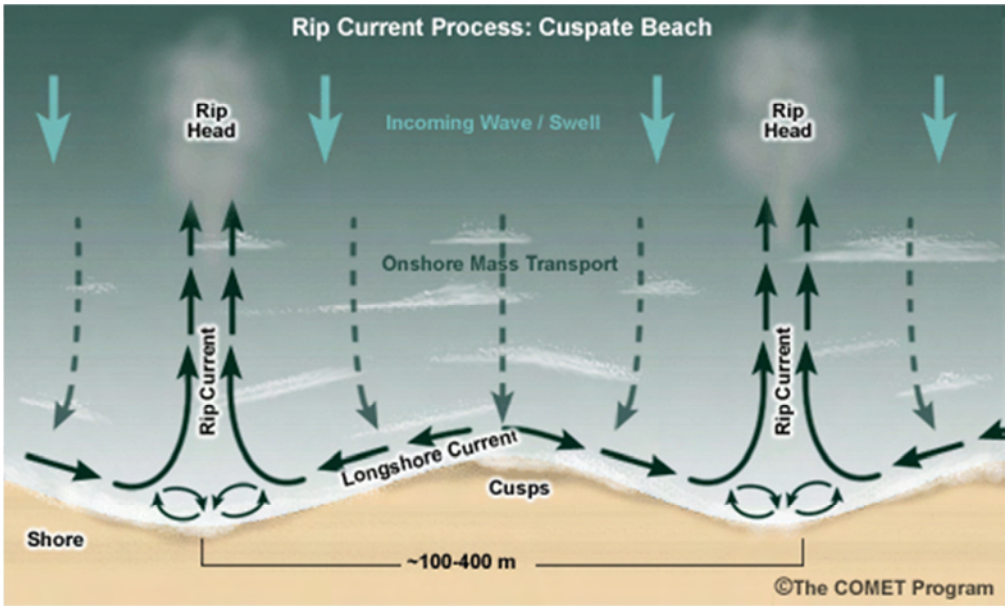
α. Τα ρεύματα διαφυγής (rip currents) που γενικά μετακινούν τα ιζήματα από την ακτή προς την ανοικτή θάλασσα και

β. Τα παράλληλα προς την ακτή ρεύματα (longshore currents) που μετακινούν ιζήματα κατά μήκος της ακτής.

Η μεταφορά μάζας νερού προς την ακτή από τη δράση των κυμάτων, αντισταθμίζεται από μια αντίστροφη κίνηση του νερού με κατεύθυνση προς την εσωτερική θάλασσα.

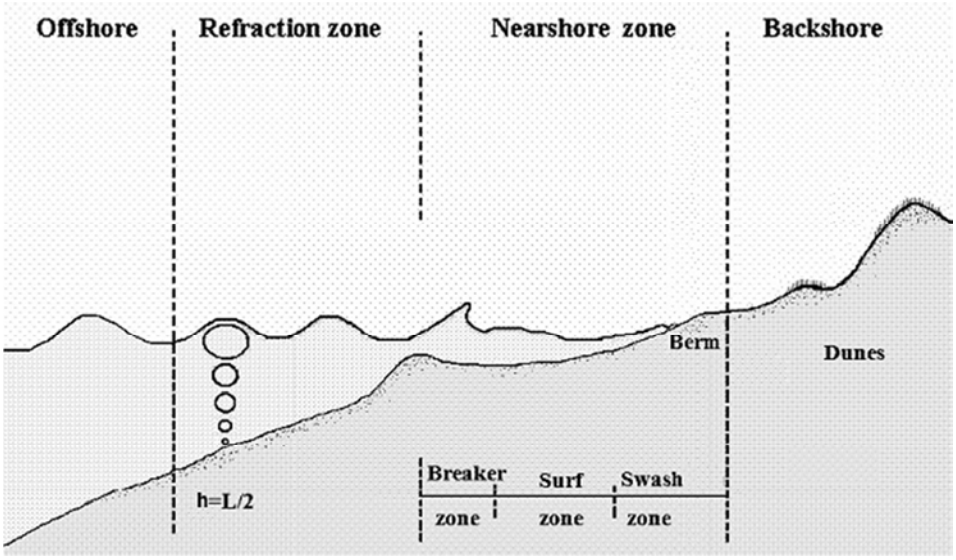
Τα ομαλά κύματα μέσου ύψους προκαλούν μετακίνηση της άμμου προς την ακτή επάνω από τον πυθμένα της θάλασσας, ενώ η προς την ανοικτή θάλασσα κίνηση, παρασύρει τα ιζήματα σε αιώρηση και μάλιστα σε μέσα βάθη.

Το αποτέλεσμα αυτών των ενεργειών είναι η μεταφορά και η απόθεση του ιζήματος στην ακτή. Τα μεγάλα και βίαια κύματα προκαλούν μεταφορά ιζημάτων του πυθμένα μακριά από την ακτή, την οποία και διαβρώνουν.



Σχήμα 1 Σχηματική αναπαράσταση παράκτιας κυκλοφορίας – Αριστερά: ρεύματα διαφυγής (rip currents) – Δεξιά: ρεύματα παράλληλα προς την ακτή (longshore currents) (The Comet Program, 2015)

Ζώνες κυματικής δράσης. Κατά την διάδοση των κυματισμών προς την παραλία δημιουργούνται κυματικές ενεργειακές ζώνες (Σχήμα 2) παράλληλα στην ακτογραμμή, οι οποίες χαρακτηρίζονται από διαφορετική υδροδυναμική και ιζηματοδυναμική και, συνεπώς, μορφολογία και ιζηματολογία (Μονιούδη, 2011).



Σχήμα 2 Τυπικό προφίλ παραλίας, που διαμορφώνεται από την κυματική ενέργεια και που δείχνει την παρουσία ενός ύφαλου αναβαθμού στην ζώνη θραύσης. (offshore: ανοικτή θάλασσα, refraction zone: ζώνη διάθλασης, nearshore zone: ζώνη κοντά στην ακτή, backshore: εσωτερική παραλία, breaker, surf and swash zone: ζώνη θραύσης, απόσβεσης και αναρρίχησης, berm: χερσαίος αναβαθμός, dunes: θίνες) (Μονιούδη, 2011)

Η ζώνη της ανοικτής θάλασσας ***(offshore zone).*** Είναι το τμήμα εκείνο της (εγκάρσιας) παραλιακής διατομής όπου το βάθος της υδάτινης στήλης h είναι μεγαλύτερο από το μισό του μήκους κύματος L (h >L/2).

Η ζώνη διάθλασης ***(refraction zone).*** Σε αυτήν τη ζώνη, το βάθος της υδάτινης στήλης h είναι μικρότερο από το ήμισυ του μήκους κύματος (h ≤ L/2) και μεγαλύτερο από το ~80% του κυματικού ύψους (γραμμή / ζώνη κυματικής θραύσης - breaker zone).

Η ζώνη θραύσης ***(breaker zone).*** Στο τμήμα αυτό της παραλιακής διατομής οι κυματισμοί καθίστανται ασταθείς και τελικά θραύονται. Στις περιπτώσεις μονοχρωματικών κυματισμών, η ζώνη θραύσης εκφυλίζεται σε γραμμή θραύσης. Σε ευρείες και χαμηλού ανάγλυφου (μικρής κλίσης) παραλίες, είναι δυνατόν να εμφανίζονται διαδοχικές ζώνες θραύσης στις οποίες οι θραυσμένοι κυματισμοί επανασχηματίζονται και επαναθραύονται. Οι

κυματικές παράμετροι αλλάζουν σημαντικά μετά την θραύση, ιδιαίτερα η ταχύτητα φάσης και το κυματικό ύψος, που μειώνονται ταχύτατα.

Η ζώνη απόσβεσης / κυματωγής ***(surf zone).*** Στη ζώνη αυτή, που βρίσκεται μεταξύ της ζώνης θραύσης και του μετώπου της ακτής, αποσβένεται σημαντικότατο μέρος της ενέργειας του κύματος. Σημαντικό μέρος της ενέργειας καταναλώνεται για τη δημιουργία των παράκτιων, κυματογενών ρευμάτων και την μετακίνηση των παραλιακών ιζημάτων.

Η ζώνη διαβροχής / αναρρίχησης ***(swash zone).*** Αποτελεί το τμήμα της χερσαίας παραλίας το οποίο διαδοχικά καλύπτεται και αποκαλύπτεται από τους κυματισμούς και όπου λαμβάνει χώρα η τελική απόσβεση της κυματικής ενέργειας. Η ζώνη διαβροχής διαδραματίζει ουσιαστικό ρόλο σε όλες σχεδόν τις παράκτιες διεργασίες, χαρακτηρίζεται από έντονη στερεομεταφορά όπου οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των παράκτιων ρευμάτων και των παράκτιων ιζημάτων προσδιορίζουν τη διάβρωση ή πρόσχωση της ακτής. Η θραύση των κυμάτων τροποποιεί επίσης τις δυνάμεις που επιδρούν στις παράκτιες κατασκευές. (Elfrink and Baldock, 2002).

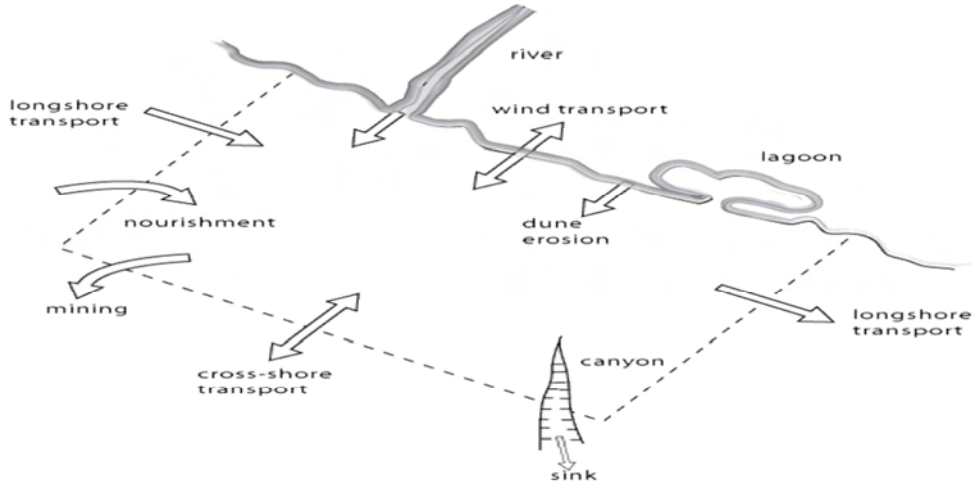
Εσωτερική παραλία ***(Backshore).*** Αποτελεί το χερσαίο τμήμα της παραλίας, το οποίο εκτείνεται από το πάνω όριο της ζώνης διαβροχής μέχρι κάποια φυσιογραφική αλλαγή, όπως ένας παράκτιος κρημνός ή ένα πεδίο θινών (dunes) ή μέχρι το σημείο όπου υπάρχει μόνιμη βλάστηση (Komar, 1977). Στη ζώνη αυτή (συνήθως) απουσιάζει η κυματική ενέργεια και τον δυναμικό ρόλο παίζει ο άνεμος. Στην περιοχή αυτή των έντονων αιολικών διεργασιών παρατηρείται μείωση του μεγέθους των ιζημάτων (Inman, 1953).

1.1.2 Ιζήματα παράκτιας ζώνης και παράκτιες κυψέλες

Η δυναμική μιας παράκτιας περιοχής καθορίζεται κυρίως από δυο μηχανισμούς, το μηχανισμό τροφοδοσίας των ακτών της περιοχής με φερτές ύλες και το μηχανισμό διευθέτησης των υλών αυτών στις ακτές. Ο μηχανισμός τροφοδοσίας εξαρτάται από το γεωλογικό υπόστρωμα της ευρύτερης περιοχής, από τη γεωμορφολογία, από το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής και από τη φυτοκάλυψή της, ενώ ο μηχανισμός διευθέτησης των φερτών υλών εξαρτάται κυρίως από το ανεμολογικό και κυματικό καθεστώς της περιοχής (οι παλίρροιες στις ακτές του ελληνικού χώρου δεν παίζουν αξιοσημείωτο ρόλο στην παράκτια δυναμική). Η εποχικότητα των μετεωρολογικών φαινομένων κατευθύνει τη δυναμική της παράκτιας μεταφοράς των υλικών και τις εποχικές μεταβολές της ακτογραμμής (Κομπιάδου et al., 2009).

Οι παράγοντες που επιδρούν στην ιζηματογένεση των ακτών είναι κυρίως: α) η διάβρωση γεωλογικών σχηματισμών της ενδοχώρας και η μεταφορά τους από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, ποτάμιες οδούς, πλημμύρες κλπ, β) η αποσάθρωση των υπαρχόντων γεωλογικών σχηματισμών της ακτογραμμής (*οι ακτές που χαρακτηρίζονται από εκτεθειμένα πετρώματα και ισχυρή δραστηριότητα κυμάτων είναι σημαντικοί προμηθευτές του ιζήματος των παραλιών*) και γ) αποσαθρωμένοι βιολογικοί παράγοντες, όπως κομμάτια και θρύψαλα κελυφών θαλασσίων οργανισμών, κοράλλια κλπ.

Ως **ιζηματικό κύτταρο** (littoral cell) ή **παράκτιο κύτταρο** (coastal cell) ορίζεται μια γεωγραφικά καθορισμένη περιοχή της ακτής, όπου το ισοζύγιο φερτών υλών είναι μηδενικό και έχει αυτοτελή κύκλο ιζηματογένεσης (U.S. Army Corps of Engineers, 2011). Σε κάθε τέτοιο τμήμα είναι δυνατό να υπάρχουν παγίδες αλλά και πηγές ιζημάτων (Σχήμα 3).



Σχήμα 3 Παράκτιο κύτταρο και στερεομεταφορά (Conscience, 2007)

Στην πράξη, τα ιζηματικά κελιά ορίζονται συνήθως από τους κόλπους και τα ακρωτήρια: ένας κόλπος, από ένα ακρωτήριο έως το επόμενο, αποτελεί ένα ιζηματικό κελί. Ανάλογα με το μήκος της μελετώμενης ακτογραμμής και την ύπαρξη τεχνικών έργων (λιμάνια, πρόβολοι κτλ.) τα ιζηματικά κελιά μπορούν να χωριστούν είτε σε υπο-κελιά και να οριστούν μικρότερα από έναν κόλπο είτε μπορούν να οριστούν μικρότερες παράκτιες περιοχές σε κάθε ιζηματικό κελί (COASTGAP - MED, 2014).

Οι κυριότερες παγίδες φερτών υλών είναι τα παλιρροιακά στόμια, όπου οι προς την ακτή στερεοπαροχές κατά την πλήμμη είναι μεγαλύτερες από αυτές προς την ανοιχτή θάλασσα κατά την άμπωτη. Ιζήματα παγιδεύονται επίσης στα υφαλοπρανή και στα υποβρύχια φαράγγια. Εξίσου σημαντικές παγίδες αποτελούν και τα παράκτια τεχνικά έργα αλλά και οι αμμοληψίες.

Κυριότερες πηγές φερτών υλών είναι τα υδατορέματα, τα οποία μεταφέρουν υλικά που προέρχονται από τη διάβρωση χερσαίων εκτάσεων γης. Τα πλέον χονδρόκοκκα ιζήματα παραμένουν στις ακτές, ενώ τα υπόλοιπα καθιζάνουν σε μεγαλύτερα βάθη. Η διάβρωση γαιωδών όγκων σε ακτές αποτελεί μια δεύτερη πηγή ιζήματος. Τέλος, η μεταφορά κόκκων από τους ανέμους, η βιογενής απόθεση από κελύφη νεκρών θαλάσσιων οργανισμών και η τεχνητή τροφοδοσία ακτών είναι ιζήματος.

Η μελέτη των διεργασιών που συμβαίνουν σε ένα παράκτιο κελί είναι πολύ **σημαντική** ώστε να γίνει σωστή χωροθέτηση των έργων προστασίας της ακτής, σε μια συγκεκριμένη περιοχή και να αποφευχθεί πιθανή αστοχία. Πρέπει να εντοπισθούν οι παγίδες και οι πηγές των ιζημάτων, να εξεταστεί η επίδραση των υδροδυναμικών συνθηκών και να γίνει εκτίμηση της στερεομεταφοράς και του ισοζυγίου των φερτών (Kamphuis, 2001). Για να γίνει ποσοτική ανάλυση του ισοζυγίου φερτών υλών, κατά τη διάρκεια του έτους κατά μήκος μιας ακτής, χωρίζεται η ακτή σε τμήματα και υπολογίζεται το αλγεβρικό άθροισμα των στερεοπαροχών προς τα δεξιά και προς τα αριστερά. Στα τμήματα όπου εμφανίζεται έλλειμμα αναμένεται διάβρωση της ακτογραμμής, ενώ στα τμήματα με περίσσευμα πρόσχωση.

1.1.3 Ταξινόμηση ακτών

Κάθε ακτή έχει το δικό της χαρακτήρα, με συνέπεια να υπάρχουν μεγάλες διαφοροποιήσεις τόσο σε παγκόσμιο επίπεδο, όσο και σε αρκετά μικρές αποστάσεις. Αυτή η πολυπλοκότητα έχει προκαλέσει και διαφορετικούς τρόπους ταξινόμησης των ακτών.

Έτσι, οι ακτές ταξινομούνται κυρίως με βάση τον μηχανισμό σχηματισμού τους, τον τύπο των πετρωμάτων (υποστρώματος) και την τεκτονική δομή τους (Bird, 2008; Thurman, 1983). Περαιτέρω υποδιαιρέσεις κάθε ομάδας γίνονται με βάση τον παράγοντα που έχει τη μεγαλύτερη σχετική επίδραση, αν και είναι λίγες οι περιπτώσεις των ακτών που οφείλουν τη διαμόρφωση τους αποκλειστικά σε ένα μόνο παράγοντα.

Ο Shepard παρήγαγε μια περισσότερο περιεκτική ταξινόμηση, όπου οι ακτές χωρίζονται σε πρωτογενείς και δευτερογενείς. Πρωτογενείς είναι εκείνες που έχουν διαμορφωθεί κυρίως από χερσαίους παράγοντες και υποδιαιρούνται σε: α) ακτές χερσογενούς διάβρωσης (κατακλυσθείσες ποτάμιες κοιλάδες, ακτές που προέρχονται από παγετώδη διάβρωση και κατακλυσθείσες περιοχές καρστικής διάβρωσης, ακτές που προέκυψαν λόγω κατολίσθησης, ηφαιστειακές ακτές και τεκτονικές ακτές) και β) ακτές χερσογενούς απόθεσης (ακτές των ποταμίων αποθέσεων, ακτές τύπου Δέλτα, ακτές αλλουβιακών πεδιάδων, ακτές παγετωδών αποθέσεων και αιολικών αποθέσεων). Δευτερογενείς είναι εκείνες στις οποίες η δράση των κυμάτων και άλλων παράκτιων διεργασιών είναι το κυρίαρχο στοιχείο ελέγχου της φόρμας της ακτής, προέρχονται από πρωτογενείς, οι οποίες διαμορφώθηκαν εκ των υστέρων από θαλάσσιους παράγοντες και υποδιαιρούνται σε: α) ακτές διάβρωσης λόγω των κυμάτων (π.χ. κρημνοί ευθυγραμμισμένοι από τα κύματα, των οποίων το βασικό χαρακτηριστικό είναι ότι γειτονεύουν με πυθμένα που έχει μικρή κλίση) β) απόθεσης (από ιζηματογενείς δομές) (φραγμούς, αμμολωρίδες, «μπάγκους», βραχίονες και τόξα) (εμπόδια, αλυκές, κλπ), και γ) ακτές που «χτίζονται» από οργανισμούς (κοραλλιογενείς ακτές, ακτές μαγκρόβια) (Davidson-Arnott, 2010). Το πλεονέκτημα της κατάταξης Shepard είναι ότι είναι πιο λεπτομερής από τις άλλες, επιτρέποντας έτσι να ενσωματωθούν περισσότερες ακτές (USACE, 2006).

Ο Fairbridge (2004), θεωρεί ότι για την απλούστερη περιγραφή μιας δεδομένης ακτής απαιτούνται το λιγότερο τρείς όροι, με έμφαση στους ακόλουθους: (1) υλικό (σκληρό/ μαλακό, διαλυτό ή όχι); (2) διεργασίες (διαβρωτικές/εποικοδομητικές, φυσικές, χημικές, βιολογικές και γεωλογικές), και (3) ιστορικοί παράγοντες (χρονική κλίμακα: ευστατισμός, τεκτονική, ιζηματογένεση κλπ) (Fairbridge, 2004).

Περαιτέρω, και ανάλογα με την εξυπηρέτηση του αντικείμενου της έρευνας, χρησιμοποιούνται και άλλες υπό-ταξινομήσεις. Έτσι, σύμφωνα με τον τύπο των πετρωμάτων τους οι ακτές διακρίνονται κυρίως σε βραχώδεις και αμμώδεις, ενώ εμφανίζονται και ενδιάμεσες μορφές. Στις ενδιάμεσες αυτές μορφές ανήκουν και οι διαβρωσιγενείς ακτές οι οποίες προκύπτουν από τις καταστροφικές διαδικασίες θαλάσσιας προέλευσης που δρουν κυρίως σε θαλάσσιους κρημνούς με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός εντυπωσιακού τοπίου (Μιχαήλογλου, 2011).

Σε ένα άλλο μοντέλο ταξινόμησης οι ακτές κατηγοριοποιούνται σύμφωνα με την προέλευσή τους και τον τρόπο σχηματισμού τους σε βυθισμένες ακτές ή ακτές από ανάδυση. Η ταξινόμηση αυτή συνδέεται κυρίως με τις διακυμάνσεις της ανόδου της στάθμης της θάλασσας, το κλίμα και το ανάγλυφο της κάθε περιοχής (Καρύμπαλης, 2010).

Φυσιογραφικά διακρίνονται σε χαμηλές, υψηλές, ομοιόμορφες και διακεκομμένες, ενώ από την άποψη προσβολής τους από τους ανέμους διακρίνονται σε προσήνεμες και υπήνεμες. Χαρακτηριστικοί τύποι *χαμηλών* ακτών αποτελούν οι χερσονησίδες, οι λιμνοθάλασσες, τα τενάγη[1] κλπ. Οι *υψηλές* ακτές, ανάλογα με τη γωνία κλίσης τους ως προς τη επιφάνεια της θάλασσας, διακρίνονται σε ομαλές (γωνία κλίσης μέχρι 15^o), υπόκρημνες (γωνία κλίσης 15^o-25^o), κρημνώδεις (γωνία κλίσης 25^o-45^o), απόκρημνες (γωνία κλίσης μέχρι 75^o) και κάθετες (γωνία κλίσης 90^o). Από μορφολογική άποψη διακρίνονται σε βραχώδεις, χαλικώδεις, αμμώδεις και λασπώδεις (Ν. Τσιμενίδης, 2000).

Η προσέγγιση του έργου «Eurosion: Living with coastal erosion in Europe»[2] (Eurosion, 2004a) χρησιμοποιεί μια αναθεωρημένη μορφή παράκτιας τυπολογίας, στην οποία διακρίνονται τέσσερις βασικοί τύποι ακτών:

(α) βραχώδεις ακτές και/ή κρημνοί από σκληρό υλικό

(β) κρημνοί από κροκαλοπαγή και/ή μαλακούς βραχώδεις σχηματισμούς που συχνά εμπεριέχουν και μικρές (<200m), παραλίες κλειστής κυκλοφορίας (pocket beaches)

(γ) παράλιες ζώνες είτε μικρού μήκους (200-1000m) που διαχωρίζονται από βραχώδη ακρωτήρια είτε εκτεταμένες παραλίες (>1km) ποικίλης κοκκομετρικής σύστασης και

[1] *Τέναγος θεωρείται η έκταση που καλύπτεται από ρηχά νερά κοντά σε αμμώδεις παραλίες, στις εκβολές ποταμών(παρουσιάζει δε, χαρακτηριστικά βάλτου)*

[2] *http://ec.europa.eu/ourcoast/download.cfm?fileID=1233*

ακτογραμμές παράκτιων σχηματισμών θαλάσσιας απόθεσης (π.χ. barriers, spits) συμπεριλαμβανομένων και των τεχνητά εμπλουτισμένων παραλιών και

(δ) δελταϊκές παραλίες (συνήθως αργιλικής σύστασης) (Αλεξανδράκης et al., 2009).

Πολύ πρόσφατα, ο Alcantara-Carrio (Alcantara-Carrio, 2014), έδωσε μία σύγχρονη ταξινόμηση, λαμβάνοντας υπόψη τον κυρίαρχο ρόλο των ανθρώπινων παρεμβάσεων. Υπό την επίδρασή τους, ορίζει τρία είδη ακτών:

1^{ον} οι φυσικές έμμεσα-τροποποιημένες (natural indirectly-modified) ακτές,

2^{ον} οι αγροτικές ή ενδιάμεσες (rural or intermediate) ακτές και

3^{ον} οι ανθρωπογενώς αναπτυγμένες (human-developed) ακτές, οι οποίες μπορούν να υποδιαιρεθούν περαιτέρω σε: α) ημι-αστικές (semi-urban) ακτές, β) αστικές (urban) ακτές γ) τεχνητές (man-made coasts) ακτές και δ) λιμάνια (harbors).

1.1.4 Ταξινόμηση μεταβολών της ακτογραμμής

Η κατηγοριοποίηση των μορφών μεταβολής της ακτογραμμής, βασισμένη σε γεωμορφολογικούς κανόνες, μας παρέχει ένα καλά καθορισμένο πλαίσιο με τη βοήθεια του οποίου τα δεδομένα μεταβολής της ακτογραμμής μπορούν να ερμηνευθούν με περισσότερη ακρίβεια και μας εφοδιάζει με ένα πρακτικό εργαλείο διαχείρισης (Del Río et al., 2013).

Σαν "τύπος" μεταβολής της ακτογραμμής ορίζεται ένα διακριτό πρότυπο (μοτίβο) μετακίνησης της ακτογραμμής που αναγνωρίζεται από μία ιδιαίτερη αλλαγή στο σχήμα, στον ρυθμό ή στην περιοδικότητα. Οι τύποι μεταβολής της ακτογραμμής μπορούν να εμφανισθούν ως δισδιάστατες (γραμμικές) ή τρισδιάστατες (κατά μήκος της ακτής) μεταβολές που εξελίσσονται σε διάφορες χρονικές και χωρικές κλίμακες (Galgano and Leatherman, 2005).

Οι τύποι μεταβολής της ακτογραμμής που έχουν εντοπιστεί έως σήμερα και προταθεί για την ταξινόμηση των μεταβολών της ακτογραμμής, συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 1 Προτεινόμενη ταξινόμηση τύπων διάβρωσης ακτογραμμής με βάση τους τρόπους αλλαγής της (μετά από Leatherman, 1993) (Galgano and Leatherman, 2005).

Type	**Ταξινόμηση (Classification)**
1	Απλή γραμμική υποχώρηση
2	Εναλλασσόμενη διάβρωση-πρόσχωση
3	Προοδευτική διάβρωση κατά μήκος της ακτής
4	Διάβρωση εξαιτίας θύελλας (επεισοδιακή)
5	Διάβρωση όρμων
6	Κυκλική μεταβολή ακτογραμμής
7	Συμπεριφορά μεσο-παλιρροιακού ύφαλου
8	Εμφανής περιστροφή νησιού
9	Ελεγχόμενη Προ-Ολοκαινικά διαμόρφωση
10	Παροδική προοδευτική διάβρωση
11	Χαρακτηριστικά ακρωτηρίου
12	Επιμήκυνση αμμολωρίδας

1.1.5 Πιέσεις στην παράκτια ζώνη

Οι παράκτιες περιοχές αντιμετωπίζουν πλέον αυξανόμενες πιέσεις, ιδίως στους οικοτόπους, στους φυσικούς πόρους (γη, γλυκά/θαλάσσια ύδατα, ενέργεια, αλιεύματα κτλ) καθώς και μέσω της αυξανόμενης ζήτησης υποδομών (λιμένες / μαρίνες, μεταφορές, εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, κτλ) (ΕΕΑ, 2000).

Ήδη στην Εθνική Έκθεση για την διαχείριση των παράκτιων ζωνών στην Ελλάδα (ΥΠΕΚΑ, 2006) έχουν αναγνωρισθεί τέσσερις τύποι προβλημάτων που προκύπτουν από τις ανθρώπινες δραστηριότητες αλλά και την ανθρώπινη κακοδιαχείριση, αδιαφορία και άγνοια στα παράκτια οικοσυστήματα:

α) συγκέντρωση πληθυσμού και δραστηριοτήτων σε σχετικά περιορισμένο και ευαίσθητο χώρο,

β) συχνές συγκρούσεις από ασύμβατες χρήσεις στον ίδιο ή γειτονικούς χώρους,

γ) υπερεκμετάλλευση των φυσικών πόρων και

δ) αδυναμία στη λήψη αποφάσεων, σε εφαρμογή των πολιτικών και σε συντονισμό των αρμόδιων αρχών.

Οι πιέσεις στις παράκτιες περιοχές μπορούν να ενταχθούν σε τέσσερις βασικές κατηγορίες (Δημοπούλου et al., 2005) :

(i) Πιέσεις στη δομή και τη λειτουργία των φυσικών οικοσυστημάτων, οι οποίες προέρχονται από ανθρωπογενή «οικοσυστήματα» και από τις ανθρώπινες δραστηριότητες στην περιοχή αλλά και από το σύνολο της αναπτυξιακής διαδικασίας, είτε άμεσα είτε έμμεσα.

(ii) Πιέσεις στην ποιότητα και την ποσότητα των οικοσυστημάτων (έδαφος, υδάτινοι πόροι κ.α.), οι οποίες είναι το αποτέλεσμα της συγκέντρωσης ανθρώπων και των δραστηριοτήτων τους. Το γεγονός αυτό οδηγεί σε αυξημένη ζήτηση για «κατανάλωση» φυσικών πόρων αλλά και για απόθεση των καταλοίπων αυτών.

(iii) Πιέσεις που προέρχονται από τις συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες σε χώρο, όσον αφορά στα χερσαία οικοσυστήματα, γεγονός που αποτελεί συνέπεια της ανάπτυξης των ανθρώπινων δραστηριοτήτων.

(iv) Πιέσεις στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον, εξαιτίας του μεγέθους και της κλίμακας των υποδομών που είναι αναγκαίες για την υποστήριξη του υφιστάμενου αναπτυξιακού σχεδιασμού.

Οι κυριότερες πιέσεις που δέχεται σήμερα το θαλάσσιο και χερσαίο παράκτιο περιβάλλον (Cicin-Sain and Belfiore, 2005) είναι:

- ✓ Η βιομηχανική ανάπτυξη στην παράκτια ζώνη μπορεί να μειώσει την παραγωγικότητα των υγροτόπων με την εισαγωγή ρύπων, συμπεριλαμβανομένων των βαρέων μετάλλων και θρεπτικών ουσιών (κίνδυνος ευτροφισμού), και αλλάζοντας τις συνθήκες κυκλοφορίας και τη θερμοκρασία του νερού.

- ✓ Η κατασκευή αναχωμάτων ή φραγμάτων, για δέσμευση ποσοτήτων ύδατος για χρήση στη γεωργία μπορεί να επηρεάσει τη λειτουργία των παράκτιων υγροτόπων μέσω της μείωσης των εισροών του γλυκού νερού και μέσω των αλλαγών στην κυκλοφορία του νερού.

- ✓ Η ανάπτυξη δραστηριοτήτων στην παράλια ζώνη και στα αμμόλοφους, μπορεί να αλλάξει τα πρότυπα της μεταφοράς φερτών υλών ή να τροποποιήσει τα υπάρχοντα.

- ✓ Οι δραστηριότητες θαλάσσιας υδατοκαλλιέργειας (που σε τροπικές περιοχές συχνά περιλαμβάνουν την καταστροφή μαγκρόβιων δασών, για να δημιουργήσουν τεχνητές λίμνες υδατοκαλλιέργειας), μπορεί να επηρεάσουν σημαντικά τις πολύπλοκες λειτουργίες στα μαγκρόβια συστήματα τα οποία χρησιμεύουν ως ρυθμιστικά για τις παράκτιες καταιγίδες και τα ενδιαιτήματα γόνου ψαριών.

- ✓ Η ανάπτυξη των λιμένων (βυθοκορήσεις, απόρριψη βυθοκορημάτων) μπορεί π.χ. να υποβαθμίσει τους κοραλλιογενείς υφάλους και τα θαλάσσια λιβάδια μέσω της συσσώρευσης των ιζημάτων.

- ✓ Αλλά και χερσαίες δραστηριότητες όπως η υλοτομία, γεωργικές πρακτικές όπως η αλόγιστη χρήση φυτοφαρμάκων (νιτρορύπανση) και πρακτικές κτηνοτροφικής παραγωγής όπως η ρύπανση των ρεμάτων από ζωικά απόβλητα, καταλήγουν στις εκβολές των ποταμών άρα τελικά στο παράκτιο, χερσαίο & θαλάσσιο, περιβάλλον.

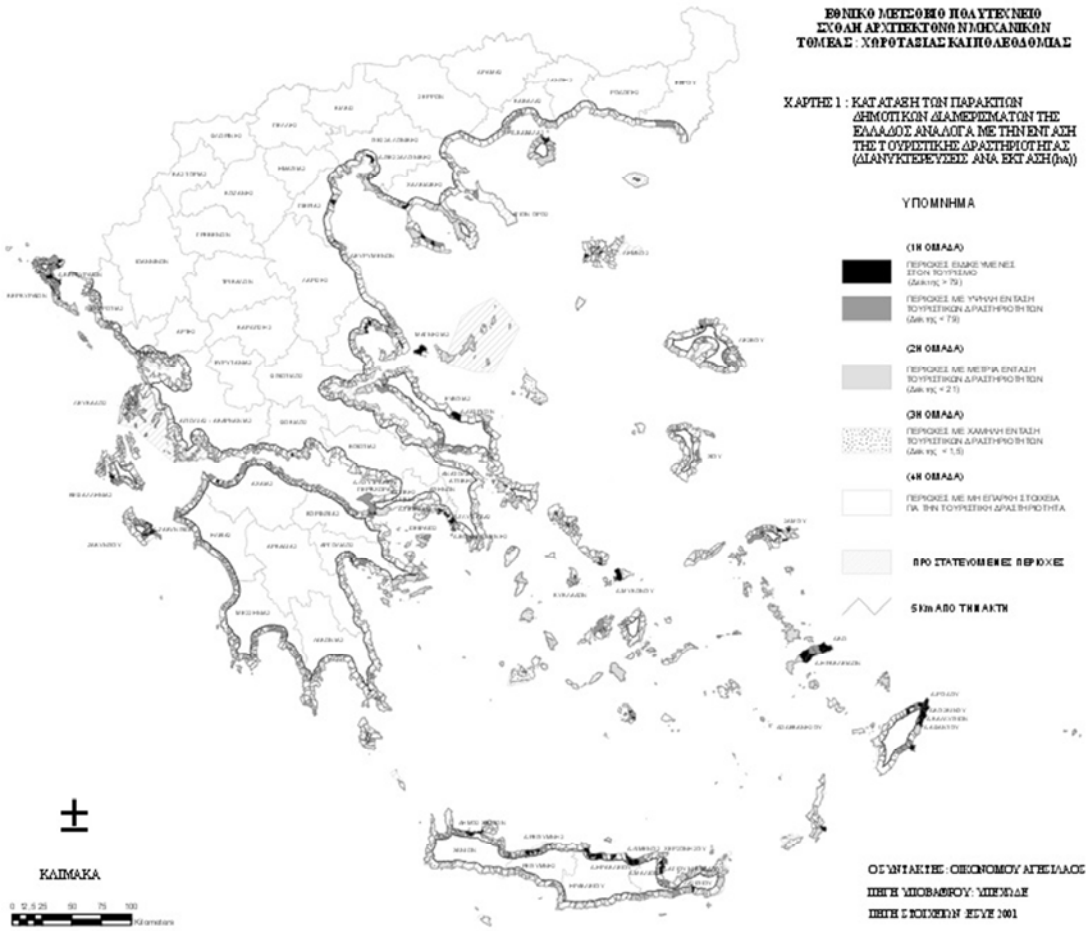
Οι κύριες δραστηριότητες στην παράκτια ζώνη και οι σχετιζόμενες επιπτώσεις τους, αποτυπώνονται συγκεντρωτικά στον επόμενο πίνακα

Πίνακας 2 Σχέση μεταξύ ανθρώπινων δραστηριοτήτων και επιπτώσεων στην παράκτια ζώνη (Κρεστενίτης, 2011)

	Ανθρωπογενείς επεμβάσεις	**Επιπτώσεις**
Αστικοποίηση - Τουρισμός - Μεταφορές	•Μεταβολή χρήσεων γης •Έντονη ανοικοδόμηση •Λιμενικές κατασκευές •Παράκτιες κατασκευές •Διαχείριση υδάτων •Διαχείριση αστικών λυμάτων και αποβλήτων •Κατασκευή οδικών έργων •Σιδηρόδρομοι •Θαλάσσιες μεταφορές	•Ρύπανση νερών •Μόλυνση νερών •Ευτροφισμός •Αισθητική υποβάθμιση περιβάλλοντος •Ηχορύπανση •Αέρια ρύπανση •Διάβρωση •Εξάντληση υπόγειων αποθεμάτων γλυκών νερών •Υφαλμύρωση υπόγειων υδροφορέων •Διατάραξη των παράκτιων και παράλιων ενδιαιτημάτων •Επίδραση στην βιοποικιλότητα
Αγροτικές Δραστηριότητες	•Βελτίωση εδαφών με χρήση λιπασμάτων •Χρήση φυτοφαρμάκων •Άντληση νερού •Διευθετήσεις ποταμών •Διάνοιξη τάφρων	•Ρύπανση υδάτων – εδάφους •Ευτροφισμός •Επίδραση στη βιοποικιλότητα •Διατάραξη των παράκτιων και παράλιων ενδιαιτημάτων •Ραγδαία μείωση των εισροών γλυκού νερού και φερτών υλικών στην παράκτια ζώνη •Μείωση του υδατικού αποθέματος •Υφαλμύρωση υπόγειων υδροφορέων
Αλιεία – Υδατο καλλιέργειες	•Λιμενικές κατασκευές •Εγκαταστάσεις υποδομής για τη συντήρηση και επεξεργασία των αλιευμάτων •Αλιευτικά εργαλεία •Εγκαταστάσεις στο υδατικό περιβάλλον •Ναυπηγεία	•Υπεραλίευση •Θνησιμότητα παραλιευμάτων •Ρύπανση •Ευτροφισμός •Αλλαγή της ποιότητας της υδάτινης στήλης και των υλικών του βυθού
Βιομηχανία	•Χρήσεις γης •Εξόρυξη φυσικών πόρων •Χρήση υδάτινων μαζών για ψύξη •Χρήση υδάτινων ροών για παραγωγή ενέργειας	•Ρύπανση νερών •Θερμική ρύπανση •Ηχορύπανση •Αέρια Ρύπανση •Διακοπή της φυσικής τροφοδοσίας του θαλάσσιου συστήματος με γλυκά νερά •Διατάραξη παράκτιων και παράλιων ενδιαιτημάτων •Επίδραση στη βιοποικιλότητα και την φυσιολογία των οργανισμών •Εξάντληση φυσικών πόρων •Διάβρωση

Οι κατηγορίες χρήσεων γης της Ελλάδος γενικότερα, αλλά και του παράκτιου χώρου ειδικότερα, περιγράφονται από το πρόγραμμα του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος (ΕΟΠ) για την κάλυψη γης που είναι γνωστό ως CORINE 2000 (CORINE LAND COVER 2000).

Σύμφωνα με τα Πλαίσια Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης των Περιφερειών της Ελλάδος η Παράκτια Ζώνη περιλαμβάνει γεωργικές, κτηνοτροφικές και βιομηχανικές εκτάσεις, μονάδες μεταποίησης προϊόντων, αστικές περιοχές με οικισμούς μόνιμης κατοικίας και β' κατοικίας (Χάρτης 2), αρχαιολογικούς χώρους, ιστορικούς τόπους και μνημεία, φυσικά τοπία και οικοσυστήματα οικολογικής σημασίας όπως υγροβιότοπους, λίμνες, λιμνοθάλασσες, δέλτα ποταμών (Αγγελίδης and Οικονόμου, 2005).



Χάρτης 2 Κατάταξη των παράκτιων ΔΔ της Ελλάδος ανάλογα με την ένταση της τουριστικής δραστηριότητας (Αγγελίδης and Οικονόμου, 2008)

Από το σύνολο του ελληνικού πληθυσμού, το 33% κατοικεί σε παράκτιες περιοχές που απέχουν 1-2 χλμ από την ακτή. Οι 12 από τις 13 περιφέρειες της ελληνικής επικράτειας καταγράφονται ως παράκτιες περιοχές. Τα μεγαλύτερα αστικά κέντρα (Αθήνα, Θεσσαλονίκη,

Πάτρα, Ηράκλειο, Καβάλα, Βόλος) χωροθετούνται στην παράκτια ζώνη. Το 80% των βιομηχανικών δραστηριοτήτων, το 90% του τουρισμού και των δραστηριοτήτων αναψυχής, το 35% της αγροτικής γης (συνήθως υψηλής παραγωγικότητας), η αλιεία και οι υδατοκαλλιέργειες, αλλά και ένα σημαντικό μέρος των υποδομών (λιμάνια, αεροδρόμια, δρόμοι, ηλεκτρικό και τηλεπικοινωνιακό δίκτυο κ.ά.) ασκούνται στην παράκτια ζώνη (ΥΠΕΚΑ, 2006).

Οι αλλαγές χρήσεων γης αυξάνουν την τρωτότητα της παράκτιας ζώνης απέναντι σε φυσικούς κινδύνους. Όταν το σύνολο σχεδόν της ακτής βρισκόταν σε φυσική ή ημι-φυσική κατάσταση και η παράκτια ζώνη δεν ήταν πυκνοκατοικημένη, οι επιπτώσεις των βίαιων καιρικών φαινομένων ήταν πολύ λιγότερο καταστροφικές, αφού η ανθρώπινη επίδραση ήταν κυρίως παραδοσιακές γεωργικές και κτηνοτροφικές δραστηριότητες, ενώ οι οικισμοί κατείχαν μόνο ένα μικρό ποσοστό της ακτής. Σήμερα, βίαια φαινόμενα όπως πλημμύρες, τυφώνες, σεισμογενείς κυματισμοί (tsunamis) κλπ, προκαλούν τεράστιες καταστροφές στις περισσότερες παράκτιες ζώνες που φιλοξενούν πολλές δραστηριότητες και μεγάλους πληθυσμούς. Η ενδεχόμενη κλιματική αλλαγή θα ενισχύσει σημαντικά αυτούς τους κινδύνους (Χατζημπίρος and Παναγιωτίδης, 2008).

Πέραν των συγκεντρώσεων αστικού πληθυσμού, οι ανταγωνιστικές χρήσεις των γαιών κατά μήκος των ακτών που προέρχονται από την υποδομή του τουρισμού, της γεωργίας, της αλιείας και της υδατοκαλλιέργειας, των μεταφορών, της ενέργειας και της βιομηχανίας, επιταχύνουν τη μεταβολή της μορφολογίας του παράκτιου συστήματος (EEA, 2000).

Η ταχεία (και συνήθως άναρχη) αστικοποίηση, ιδιαίτερα των παράκτιων ζωνών, με την παράλληλη τάση επέκτασης δεύτερων (παραθεριστικών) κατοικιών, την έλλειψη σχεδιασμού και απαραίτητης υποδομής κατά τη διαδικασία γεωργικής, βιομηχανικής και κυρίως τουριστικής ανάπτυξης, την ανεπάρκεια στο σύστημα διάθεσης και επεξεργασίας αντίστοιχων λυμάτων, και με φαινόμενα διάβρωσης του εδάφους κ.ά. έχει οδηγήσει σε αδιέξοδα από άποψη φυσικού περιβάλλοντος ιδιαίτερα στις παρακείμενες σε κύρια αστικά κέντρα περιοχές. Η έλλειψη Κτηματολογίου και η κατάληψη και ιδιοποίηση γης του Δημοσίου επιτείνει τις συγκρούσεις χρήσεων γης και την περιβαλλοντική υποβάθμιση (Σταματίου, 2003).

Πολλές παράκτιες ζώνες σήμερα υφίστανται έντονη περιβαλλοντική πίεση εξαιτίας των αυξημένων καταναλωτικών απαιτήσεων μεσαίων ή μικρομεσαίων κοινωνικών στρωμάτων που έχουν επωφεληθεί σημαντικά από την οικονομική ανάπτυξη των παράκτιων περιοχών τις τελευταίες δεκαετίες. Εύκολα οδηγείται η τοπική κοινωνία στο συμπέρασμα ότι δεν χρειάζεται ειδικός σχεδιασμός για να διατηρηθεί η φυσική εξέλιξη των πραγμάτων. Από την άλλη μεριά, η ένταση της τουριστικής αιχμής κατά τους θερμότερους και συνήθως ξηρότερους μήνες του έτους επιβαρύνει δυσανάλογα όχι μόνο το περιβάλλον, αλλά και τις κοινωνικές λειτουργίες. Κατά την χειμερινή περίοδο προκαλείται κοινωνική ερήμωση και διάθεση παραίτησης ή εγκατάλειψης. Έτσι, η αλόγιστη εκμετάλλευση υπονομεύει την συνεκτική λειτουργία τόσο των οικολογικών όσο και των κοινωνικών συστημάτων (Χατζημπίρος and Παναγιωτίδης, 2008).

Στην Ελλάδα η περιβαλλοντική διάσταση δεν έχει, ακόμη, ενταχθεί επαρκώς στην κατάρτιση περιφερειακών και αναπτυξιακών προγραμμάτων και χωροταξικών σχεδίων (Μπεριάτος, 2013) εξαιτίας του σχεδιασμού, της στρατηγικής και της μεθοδολογίας που έχουν υιοθετήσει, μέχρι σήμερα οι εμπλεκόμενοι φορείς. Έτσι, ιδιαίτερα στα αστικά - και κυρίως στα παράκτια - κέντρα και στις ευρύτερες περιοχές τους, εντοπίζονται εξαιτίας της συγκέντρωσης χρήσεων γης, χρόνια χωρικά και περιβαλλοντικά προβλήματα οφειλόμενα, σε μεγάλο βαθμό, στην έλλειψή της.

1.2 Παράκτια διάβρωση

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

Εμφανίζεται όταν και όπου η παραλία δεν μπορεί πλέον να ισορροπήσει την ενέργεια που παράγεται από τα κύματα και από τους υδάτινους όγκους που συσσωρεύονται σ' αυτήν. Μπορεί συνεπώς να θεωρηθεί ότι προκύπτει από την έλλειψη ισορροπίας μεταξύ, αφενός της εισροής ενέργειας και αφετέρου της αντίστασης της παράκτιας λωρίδας στην μετακίνηση των ιζημάτων της. Η ίδια η διαδικασία της διάβρωσης είναι εν τέλει ένας τρόπος ώστε να επανέλθει η ισορροπία μέσω της διάχυσης της ενέργειας (Anthony, 2005).

Χαρακτηρίζεται ως «κρίσιμη» όταν προκαλεί σοβαρό πρόβλημα κάθε φορά που ο ρυθμός διάβρωσης, συνυπολογισμένος με οικονομικούς, βιομηχανικούς, ψυχαγωγικούς, αγροτικούς, ναυσιπλοϊκούς, πληθυσμιακούς, οικολογικούς & άλλους σχετικούς παράγοντες, σηματοδοτεί ότι η δράση για την εξυγίανση (την ανακοπή ή καθυστέρηση) της διάβρωσης είναι επιβεβλημένη (Ozhan, 2002).

Μπορεί να διακριθεί κυρίως σε:

(i) μακροπρόθεσμη (long-term) διάβρωση, δηλαδή μη αναστρέψιμη μακροχρόνια οπισθοχώρηση της ακτογραμμής, κυρίως λόγω ανόδου της μέσης (και σχετικής) θαλάσσιας στάθμης ή/και λόγω αρνητικών παράκτιων ιζηματικών ισοζυγίων (Nicholls et al., 2007), αιτίες δηλαδή που προκαλούν είτε τη μετανάστευση των ακτογραμμών προς την ξηρά (beach transgression) ή τον κατακλυσμό τους (beach drowning) και

(ii) σε βραχυπρόθεσμη (short-term) διάβρωση, η οποία οφείλεται κυρίως σε ακραία φαινόμενα (μετεωρολογικές παλίρροιες (storm surges) και θυελλώδεις κυματισμούς), τα οποία μπορεί να μην έχουν σαν αναγκαίο αποτέλεσμα μόνιμες οπισθοχωρήσεις της ακτογραμμής αλλά μπορούν να προκαλέσουν μεγάλης κλίμακας καταστροφές (Μονιούδη, 2011).

Εναλλακτικά και κατά περίπτωση, θα μπορούσε να χαρακτηριστεί είτε ως οξεία (acute) είτε ως χρόνια (chronic) (Anthony, 2005). Οξεία διάβρωση συμβαίνει συνεπεία ενός μοναδικού - επεισοδιακού γεγονότος ενώ η χρόνια διάβρωση είναι ένα συνεχές εξελισσόμενο φαινόμενο.

Για καθαρά διαχειριστικούς λόγους μπορεί να διακριθεί και σε:

i) διάβρωση από φυσικά αίτια και

ii) διάβρωση από επίδραση ανθρώπινων παρεμβάσεων.

Ο βαθμός διάβρωσης των ακτών δεν είναι παντού ο ίδιος αλλά εξαρτάται από πολλούς τοπικούς παράγοντες, όπως:

- την τοπογραφία της ακτής (ακτή σε κόλπο ή στην ανοιχτή θάλασσα)
- τη γεωλογία της ακτής (αμμώδης ή βραχώδης, τεκτονικές κινήσεις ακτών)
- την μορφολογία της ακτής (ήπια ή απότομη κλίση)
- τις επικρατούσες κλιματικές και κυματικές συνθήκες (επιμήκη ρεύματα, άνεμοι, σύνηθες ύψος κυμάτων)
- την συχνότητα και ένταση των ακραίων καιρικών και κυματικών φαινομένων
- τα αποθέματα των ιζημάτων στην περιοχή (ακτή κοντά σε ποτάμι ή όχι)

Μεγάλη σημασία στην όλη διαδικασία της διάβρωσης και την μεταφορά των ιζημάτων προς μεγαλύτερα βάθη, έχει και η κλίση του παράκτιου πυθμένα. Μια μικρή κλίση μπορεί να επιβραδύνει την εγκάρσια μετακίνηση υλικού, διαχωρίζοντας έτσι την άνοδο της στάθμης της θάλασσας από την διάβρωση των ακτών, σαν φαινόμενα. Μία ευσταθής κεκλιμένη παράκτια ζώνη, στην οποία αποβάλλεται το μεγαλύτερο μέρος της κυματικής ενέργειας, μπορεί να θεωρηθεί και ως η καλύτερη και φυσικότερη προστασία μιας ακτής. Αντίθετα, μια μεγάλη, απότομη κλίση επιφέρει συχνά την επιτάχυνση του φαινομένου της διάβρωσης αλλά και της ανόδου της στάθμης της θάλασσας (Πετρέλης, 2012).

Ο υπολογισμός των ρυθμών διάβρωσης (erosion rates) αποτελεί σημαντική συνιστώσα στην κατανόηση των αιτίων που οδηγούν στην εξέλιξη των ακτογραμμών και είναι εξίσου σημαντική για την ορθή διαχείριση του φυσικού και ανθρώπινου παράκτιου περιβάλλοντος και ειδικότερα για την επίλυση διαχειριστικών θεμάτων (Moore, 2000).

Ο μηχανισμός «διάβρωση - μεταφορά - απόθεση» αποτελεί αέναο φαινόμενο στον πλανήτη αλλά γίνεται πρόβλημα όταν δεν υπάρχει χώρος για να φιλοξενήσει μια αλλαγή, π.χ. μια ιδιαίτερα αστικοποιημένη παράκτια ζώνη θα αντιμετωπίσει σίγουρα δυσκολίες με τη διάβρωση των ακτών. Το ερώτημα είναι πόσος χώρος χρειάζεται και ποιες ανθρώπινες χρήσεις είναι συμβατές με μια δυναμική ακτογραμμή.

1.2.1 Φυσικοί και ανθρωπογενείς παράγοντες παράκτιας διάβρωσης

Οι φυσικοί παράγοντες που προκαλούν μεταβολές (διάβρωση/πρόσχωση) στην παράκτια ζώνη και οι χρονικές τους κλίμακες συνοψίζονται στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 3 Οι παράγοντες που προκαλούν μεταβολές (διάβρωση/ πρόσχωση) στην παράκτια μορφολογία και οι χρονικές τους κλίμακες (Ozhan, 2002)

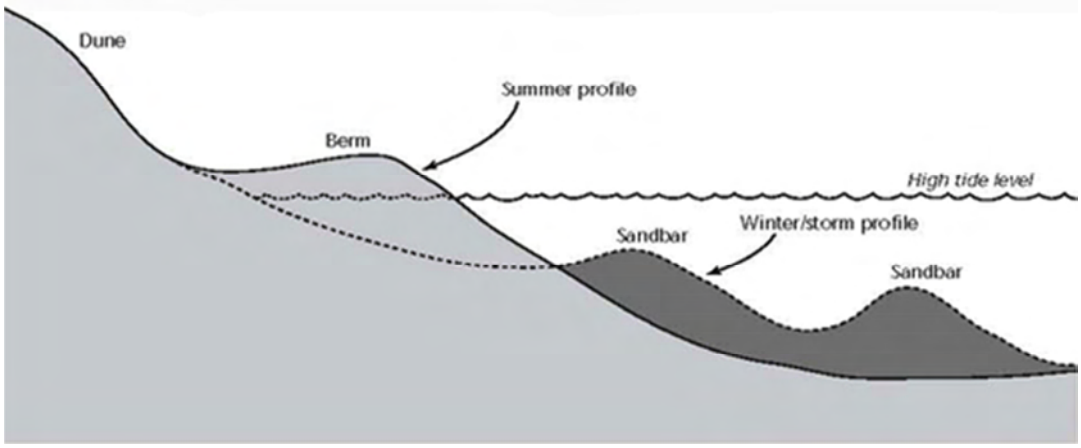
Αίτιο	**Επίπτωση**	**Χρονική κλίμακα**	**Σχόλια**
Παροχή ιζήματος (πηγές και καταβόθρες)	Πρόσχωση/ Διάβρωση	Δεκαετίες έως χιλιετία	Φυσική παροχή από την ενδοχώρα ή το μέτωπο της παραλίας μπορεί να συνεισφέρουν στην ισορροπία της ακτογραμμής ή την πρόσχωση
Άνοδος της στάθμης της θάλασσας	Διάβρωση	Αιώνες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

Οι ανθρωπογενείς παρεμβάσεις που προκαλούν παράκτια διάβρωση, σχεδόν πάντοτε συγχρόνως με τις φυσικές αιτίες, είναι κυρίως οι εξής:

- Τα διαχειριστικά έργα των παράκτιων λεκανών απορροής (υδροηλεκτρικά φράγματα ισχύος, αρδευτικά φράγματα, φράγματα ύδρευσης) καθώς και οι τεχνικές παρεμβάσεις στις πηγές των ποταμών και στα δέλτα, μπορούν να μειώσουν δραματικά τις ποτάμιες απορροές φερτών και συνεπώς την παράκτια ιζηματοπαροχή (Poulos et al., 2008; Poulos and Chronis, 2001)
- Έντονη κατασκευή παράκτιων αμυντικών έργων (π.χ. κυματοθραύστες, προβλήτες) άστοχων τις πλείστες των περιπτώσεων αλλά και επιχωματώσεις και αναχώματα (Mertzanis et al., 2012)
- Η εξαγωγή ιζημάτων (αμμοληψίες) από τις ποτάμιες κοίτες, παραλίες και την εσωτερική υφαλοκρηπίδα που μπορεί να αλλάξει σημαντικά το παράκτιο ιζηματικό ισοζύγιο (Kapsimalis et al., 2005)
- Η έντονη αστική ανάπτυξη πολύ κοντά στην ακτογραμμή ειδικά με κατασκευές μέσα στην ενεργό ζώνη του κύματος, οι οποίες εμποδίζουν τις φυσικές διεργασίες της κυματικής ενέργειας, προκαλώντας διαβρώσεις και γενική διαταραχή της δυναμικής συμπεριφοράς μεγάλων τμημάτων της ακτής (Loizidou and Iacovou, 1999) καθώς και η κατασκευή παράκτιων δρόμων και λιμενικών έργων που μπορεί να μεταβάλλει σημαντικά την παράκτια ιζηματομεταφορά και έτσι να προκαλέσει συστηματικές διαβρώσεις (Marchand, 2010)
- Η υπεράντληση των παρακτίων υδροφόρων οριζόντων (που προκαλεί και φαινόμενα υφαλμύρωσης) ή/και κοιτασμάτων φυσικού αερίου που μπορεί να αυξήσει δραματικά την σχετική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης
- Και πρόσφατα, η δημιουργία ισχυρών κυματισμών μεγάλης καμπυλότητας από ταχύπλοα επιβατηγά πλοία που πλέουν κοντά στις ακτές (Soomere, 2005) οι οποίοι μπορούν να δημιουργήσουν έντονες παραλιακές διαβρώσεις.

1.2.2 Εποχιακές μεταβολές παράκτιας ζώνης

Κατά τους χειμερινούς μήνες, οι κυματικές καταιγίδες (storm surges) ανυψώνουν γρήγορα τα επίπεδα της θαλάσσιας στάθμης (επεισοδιακή κάλυψη χερσαίας παράκτιας ζώνης) και ενισχύουν την ενέργεια των παράκτιων ρευμάτων, τα οποία είναι υπεύθυνα για την στερεομεταφορά του ιζήματος (άμμος, ψηφίδες, χάλικες) υπεράκτια και έτσι επέρχεται η απώλεια των εδαφών (Σχήμα 4). Η απώλεια αυτή εξαρτάται τόσο από την ένταση, την διάρκεια, την κατεύθυνση και την ταχύτητα μετακίνησης της καταιγίδας, όσο και από την απόσταση της ακτής από το κέντρο της καταιγίδας. Επίσης εξαρτάται και από τα ύψη των κυμάτων και την γωνία προσέγγισης αυτών στην ακτή αλλά και από το στάδιο της παλίρροιας στις παράκτιες περιοχές κατά τη στιγμή της καταιγίδας. Για τον ελληνικό χώρο οι κυματικές καταιγίδες παρουσιάζονται με ύψη από 1-3 m αλλά πολύ πιο συχνά σήμερα από ότι στο παρελθόν (Δουκάκης, 2006).



Σχήμα 4 Εποχιακές μεταβολές στο προφίλ (profile) της παράκτιας ζώνης - (winter profile: χειμερινό προφίλ, summer profile: καλοκαιρινό προφίλ, dune: αμμοθίνες, berm: αναβαθμός, sandbar: ανάχωμα άμμου)

Αντίθετα, κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών, που επικρατούν πιο ήπιες καιρικές συνθήκες, κύματα μικρότερης έντασης άρα σχετικά μικρής ενέργειας, κινούνται αργά, δυνάμενα να «μεταφέρουν» ιζήματα προς την ακτή, μεταβάλλοντας τη διατομή της και εν τέλει η ακτή να βρεθεί σε ισοζύγιο (equilibrium) ή αντισταθμίζεται (όπου δεν υπάρχει ανθρωπογενής παρέμβαση) από τις λοιπές διαδικασίες απόθεσης ιζήματος.

Η γνώση της εποχιακής διακύμανσης της ακτογραμμής έχει αυξηθεί σημαντικά κατά τα τελευταία χρόνια, λόγω της χρήσης των τεχνικών τηλεπισκόπησης.

1.2.3 Τεκτονικές διεργασίες

Οι τεκτονικές διεργασίες σε μια παράκτια περιοχή αναγκάζουν την ακτογραμμή να μετακινείται προς το μέρος της θάλασσας ή της χέρσου, αναλόγως με το αν η περιοχή αναδύεται ή βυθίζεται αντιστοίχως.

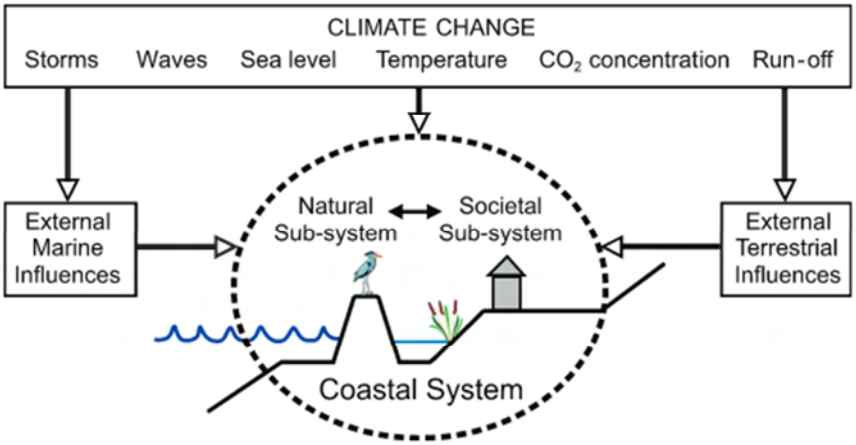
Τα γεωτεκτονικά χαρακτηριστικά, δηλαδή η δράση των ρηγμάτων και οι ευστατικές κινήσεις του φλοιού της γης, προξενούν ανοδικές ή καθοδικές κινήσεις της ξηράς, με συνέπεια την αντίστοιχη μεταβολή της θέσης και της διαμόρφωσης της ακτογραμμής. Οι κινήσεις που οφείλονται στον ευστατισμό είναι συνήθως συνεχείς και με μικρές ταχύτητες ανύψωσης ή καταβύθισης. Οι κινήσεις που οφείλονται σε τεκτονικά αίτια λόγω της ενεργοποίησης ρηγμάτων από τη σεισμική δραστηριότητα της περιοχής προκαλούν απότομες ανυψώσεις ή καταβυθίσεις της ξηράς με τις συνεπακόλουθες μεταβολές της ακτογραμμής (Νικολακόπουλος et al., 2008).

Η ανύψωση και η βύθιση τμημάτων του στερεού φλοιού της γης μπορεί να συμβαίνει ταυτόχρονα σε διαφορετικά μέρη της ίδιας παράκτιας περιοχής. Οι ακτές οι οποίες ανυψώνονται τεκτονικά χαρακτηρίζονται από βραχώδεις, απότομες ακτογραμμές και ακρωτήρια που διακόπτονται από στενούς και ακανόνιστου σχήματος κόλπους. Όσο πιο σκληρή και βραχώδης είναι η σύνθεση του εδάφους τόσο πιο ακανόνιστο είναι το σχήμα της ακτογραμμής. Στα μαλακότερα εδάφη, οι κλίσεις είναι πιο ομαλές (Δουκάκης, 2007a).

Όπου υπάρχει βύθιση της ακτής, τα ιζήματα τείνουν να επαναφέρουν την ακτογραμμή στην αρχική της θέση. Οι παράκτιες ζώνες σε αυτή την περίπτωση, χαρακτηρίζονται από μικρές κλίσεις, πλατιές αμμώδεις παραλίες και μεγάλης επιφάνειας περιοχές χαμηλού υψομέτρου στο τμήμα της ξηράς όπου υπάρχουν σχετικά πρόσφατα (γεωλογικής κλίμακας) ιζήματα. Τυπικοί σχηματισμοί σε τεκτονικά βυθιζόμενες παράκτιες περιοχές είναι μικρά αμμώδη νησιά κοντά στην ακτογραμμή και ακριβώς πίσω και κατά μήκος αυτής πολύ συχνά σχηματίζονται σωροί άμμου (αμμοθίνες) αλλά και περιοχές της στεριάς οι οποίες καλύπτονται από τα νερά των παλιρροιών. Φαίνεται να υπάρχει μια ισορροπία μεταξύ της ποσότητας του υλικού που διαβρώνεται λόγω της καθίζησης της ακτής και αυτής που επικάθεται μέχρι κάποιο βάθος για να καλύψει τη διαφορά που δημιουργείται από την τεκτονική βύθιση (Δουκάκης, 2007a).

1.2.4 Κλιματικές αλλαγές – Άνοδος στάθμης θάλασσας

Η **κλιματική αλλαγή** (π.χ. μέσω του φαινομένου του θερμοκηπίου) επιφέρει διαταραχές στο θαλάσσιο και παράκτιο περιβάλλον με σημαντικές επιπτώσεις (Σχήμα 5) : ξηρασίες, πλημμύρες, μεταβολές στη διάβρωση του εδάφους και διεργασίες απερήμωσης, καταιγίδες, διάβρωση των ακτών, θερμοκρασία των θαλάσσιων υδάτων και αλατότητα σε συνδυασμό με αύξηση της στάθμης της θάλασσας και μείωση της βιοποικιλότητας[3].



Σχήμα 5 Κλιματική αλλαγή και παράκτιο σύστημα: σχηματική αναπαράσταση των σημαντικότερων παραγόντων της κλιματικής αλλαγής (συμπεριλαμβανομένων των εξωτερικών θαλάσσιων & χερσαίων επιρροών) (καταιγίδες: storms, κύματα: waves, θαλάσσια στάθμη: sea level, θερμοκρασία: temperature, συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα: CO2 concentration, απορροές: run-off) της κλιματικής αλλαγής (climate change), καθώς και οι εξωτερικές θαλάσσιες (external marine influences) και χερσογενείς επιδράσεις (external terrestrial influences) στο παράκτιο σύστημα (coastal system) (φυσικό: natural και κοινωνικό: societal υποσύστημα: sub-system) (Nicholls et al., 2007)

Η άνοδος της μέσης στάθμης της θάλασσας, αποτελεί μία από τις σοβαρότερες συνέπειες του φαινομένου του θερμοκηπίου και των ευρύτερων κλιματικών αλλαγών.

Οι φυσικές της επιπτώσεις είναι: 1) Αύξηση της συχνότητας κατάκλυσης και πλημμύρων από καταιγίδες 2) Επιταχυνόμενη παράκτια διάβρωση 3) Υφαλμύρωση παράκτιων υδροφορέων 4) Εισχώρηση θαλάσσιων υδάτων σε εκβολές ποταμών και ποτάμια συστήματα 7) Υποβάθμιση ή και εξαφάνιση παράκτιων υγροβιότοπων.

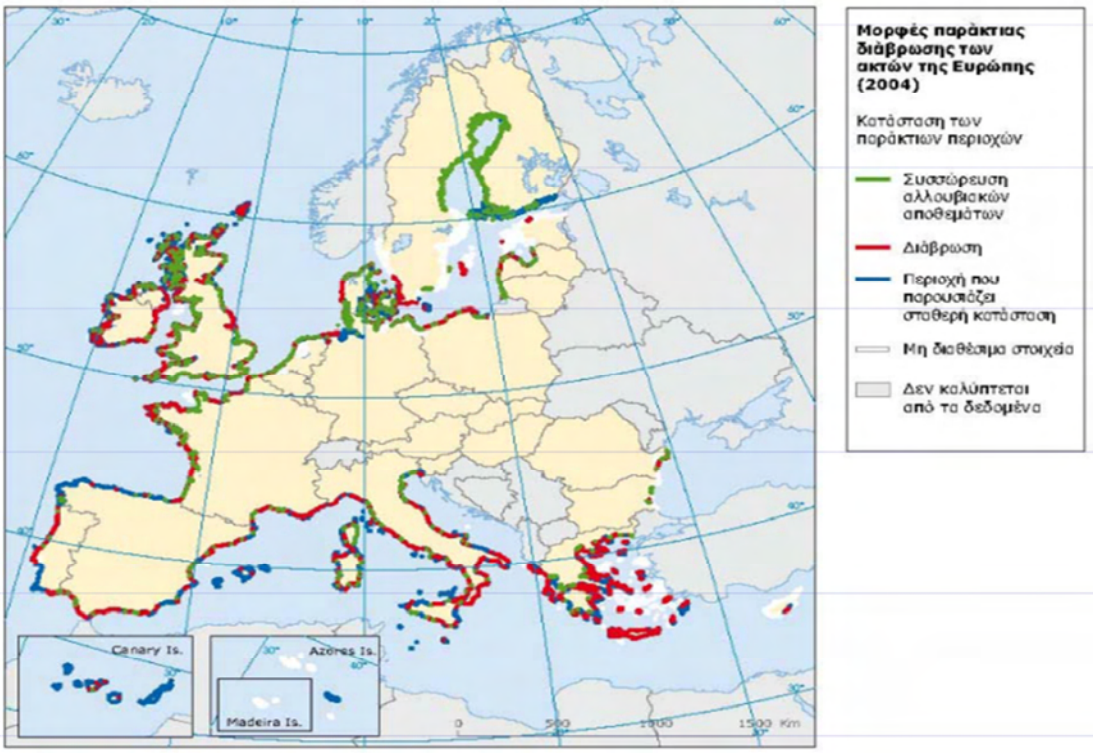
[3] *Η μείωση των οικοτόπων που προκαλείται λόγω των ανθρωπογενών πιέσεων, της ανάπτυξης των παράκτιων εκτάσεων και του παράκτιου ευτροφισμού έχει άμεσες επιπτώσεις στην παραγωγικότητα αλλά και στις περιοχές εκκόλαψης και οδηγεί σε μείωση της βιοποικιλότητας και σε μεταβολές στα οικοσυστήματα.*

Οι κοινωνικοοικονομικές της επιπτώσεις είναι: 1) Αυξανόμενος κίνδυνος πλημμύρων και ανθρώπινων απωλειών 2) Καταστροφή ή ζημιές σε παράκτιους οικισμούς, προστατευτικά έργα και άλλες υποδομές 3) Υποβάθμιση ανανεώσιμων φυσικών πόρων 4) Δυσχέρειες στον τουρισμό και τις μεταφορές 5) Κίνδυνος για παράκτια ιστορικά και πολιτιστικά μνημεία (Δουκάκης, 2007b).

Αν και πολλοί παράγοντες συνεισφέρουν στην πρόσχωση της ακτογραμμής, εντούτοις η άνοδος της στάθμης της θάλασσας θεωρείται ο βασικός παράγοντας που αντιπροσωπεύει την πανταχού παρούσα παράκτια υποχώρηση (Leatherman, 2001). Ακόμη και η ελάχιστη άνοδος της στάθμης μπορεί να προκαλέσει δραματικές οριζόντιες επιπτώσεις στη θέση της ακτογραμμής, ειδικά σε χαμηλής κλίσης ακτές. Για ανοικτές αμμώδεις ακτές (ocean-facing sandy beaches) ένα εκατοστό ανόδου της στάθμης της θάλασσας, μπορεί να προκαλέσει οριζόντια υποχώρηση από ένα μέτρο και περισσότερο (Camfield and Morang, 1996). Επιπλέον, μια αύξηση 10 εκατοστών στη μέση στάθμη της θάλασσας, μπορεί να συμβάλλει σε αύξηση της ταχύτητας εξάπλωσης της παλίρροιας καθώς και σε πιθανή αύξηση του παλιρροιακού πρίσματος της τάξεως του 22% (Silva and Duck, 2001; Phillips, 2008).

1.2.5 Η διάβρωση των Ελληνικών ακτογραμμών

Μελέτες έδειξαν ότι στην Ευρώπη (Χάρτης 3) το 1/5 των ακτών της υποχωρούν με ρυθμούς που ανέρχονται μεταξύ 0,5 και 2 m/έτος ενώ σε ακραίες περιπτώσεις ο ρυθμός τους αγγίζει τα 15 m/έτος. Σύμφωνα με τη μελέτη EUROSION[4] πάνω από 15 τετραγωνικά χιλιόμετρα το χρόνο χάνονται ή επηρεάζονται σε σημαντικό βαθμό (Eurosion, 2004b) . Τα αποτελέσματα της διάβρωσης των ακτών διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή. Η Ελλάδα είναι η 4^{η} σε κατάταξη χώρα της Ε.Ε. με τα υψηλότερα επίπεδα διάβρωσης (28,6%) μετά την Λετονία (32.8%), την Κύπρο (37.8%) και την Πολωνία (55%) (CoPraNet, 2004). Χαρακτηριστικό επίσης είναι και το γεγονός ότι η διάβρωση των ακτών που προκαλείται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες στην Ευρώπη, έχει ξεπεράσει τη διάβρωση των ακτών που καθοδηγείται από τους φυσικούς παράγοντες (Eurosion, 2004a).



Χάρτης 3 Παράκτια μοτίβα διάβρωσης στην Ευρώπη
(Πηγή: http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/coastal-erosion-patterns-in-europe-1)

[4] *Το πρόγραμμα EUROSION βασίζεται στο αξίωμα ότι η παράκτια διάβρωση αποτελεί ένα φαινόμενο που είναι αδύνατο να τεθεί υπό ολοκληρωτικό έλεγχο, αλλά μπορεί να το διαχειριστεί κανείς με οικονομικά και οικολογικά βιώσιμο τρόπο (Τζανετάτου, 2010)*

Οι σημαντικότερες αιτίες για την αυξημένη διάβρωση στην Ελλάδα, είναι οι ιδιαίτερα ισχυροί άνεμοι και οι θυελλογενείς κυματισμοί (ιδίως στο Αιγαίο Πέλαγος), η τρωτότητα που προκαλείται στις ακτές από ανθρωπογενείς παρεμβάσεις (π.χ. φράγματα που μειώνουν τη στερεοπαροχή (Llasat et al., 2010), αλλά και το γεωμορφολογικό υπόστρωμα της Ελληνικής ακτογραμμής: τα 2.400 χλμ (15% της συνολικής ακτογραμμής) αντιστοιχούν σε νεογενή μαλακά ιζήματα, ενώ 960 χλμ (6% της συνολικής ακτογραμμής) αντιστοιχούν σε παράκτιες δελταϊκές περιοχές. Η διάβρωση αναμένεται να ενταθεί στο προσεχές μέλλον λόγω: (α) της προβλεπόμενης ανόδου της μέσης θαλάσσιας στάθμης (β) της επιδείνωσης των ακραίων κυματικών φαινομένων και (γ) της περαιτέρω μείωσης των ποτάμιων ιζηματοπαροχών εξαιτίας αλλαγών στη βροχόπτωση και της κατασκευής ποτάμιων διαχειριστικών έργων (Επιτροπή Μελέτης των Επιπτώσεων της Κλιματικής Αλλαγής, 2011).

Στα πλαίσια παράκτιας μελέτης που έγινε για έναν μεγάλο αριθμό παράκτιων περιοχών της Ελλάδας, προέκυψαν μια σειρά χρήσιμων συμπερασμάτων για τις διαβρωτικές/προσχωτικές τάσεις που αναπτύσσονται στις ελληνικές ακτές. Οι περιοχές μελέτης περιλάμβαναν πλήθος νησιών (Κω, Ρόδο, Λήμνο, Κρήτη, Λέσβο, Κέρκυρα, Σάμο), παράκτιες περιοχές της Πελοποννήσου (Νομό Ηλείας, Βαρθολομιό, Νότιο Κορινθιακό κόλπο, την ευρύτερη περιοχή του Ναυπλίου, την λιμνοθάλασσα Κοτύχι στο νομό Ηλείας, την Κορώνη στη Μεσσηνία, το Δερβένι στο νότιο Κορινθιακό κόλπο, το Περιγιάλι Κορινθίας, το Κιάτο, το Μετόχι Αχαΐας, το Κατάκολο Πύργου, την Κυπαρισσία/Στροφάδες στη Μεσσηνία, τις εκβολές του Αλφειού ποταμού, την λίμνη Μουριά στον Πύργο κ.α.) και παράκτιες περιοχές της κεντρικής και βορείου Ελλάδος (τις παράκτιες περιοχές της πεδιάδας της Θεσσαλονίκης, την Κεραμωτή στο νομό Καβάλας, τα δέλτα των ποταμών Νέστου και Αχελώου, τις Αλυκές Κίτρους στην Πιερία, το Μεσολόγγι, το Πόρτο Λάγος, την Αλεξανδρούπολη, τμήμα της ακτογραμμής της Κατερίνης στην Πιερία, τα Άβδηρα στην Ξάνθη κ.α.) (Δουκάκης, 2007b).

Στην ανωτέρω μελέτη υπολογίστηκε ένας τελικός προβλεπόμενος (μελλοντικός) ρυθμός μεταβολής της ακτογραμμής για κάθε μία από τις παράκτιες περιοχές και υπολογίστηκαν τα εδάφη που θα διαβρωθούν ή θα προσχωθούν μέχρι τα έτη 2050 και 2100, έτσι ώστε να γίνει μια εκτίμηση των απωλειών γης εξαιτίας της ανόδου της μ.σ.θ., της διάβρωσης του εδάφους και της πιθανής δράσης κυματικών καταιγίδων, σε όσες περιοχές παρουσιάζουν αυξημένη τρωτότητα (είτε λόγω χαμηλής κλίσης του εδάφους, είτε λόγω υψηλών ρυθμών διάβρωσης). Τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τον υπολογισμό των

ρυθμών μεταβολής της ακτογραμμής και των εδαφών που θα διαβρωθούν, για όλες τις προαναφερθείσες παράκτιες περιοχές της μελέτης έχουν ως εξής:

• Σε 38 παράκτιες περιοχές της χώρας μας, προσμετρώντας την ιστορική οπισθοχώρηση σε συνδυασμό με τα σενάρια κλιματικών αλλαγών για άνοδο της μ.σ.θ. κατά 1m έως το 2100, υπολογίστηκε ένας μέσος ετήσιος ρυθμός μεταβολής της ακτογραμμής (ως μελλοντική πρόβλεψη) της τάξης των -1,76 m/y (έντονη διαβρωτική τάση).

• Σε 30 παράκτιες περιοχές της χώρας μας, ο μέσος ετήσιος ρυθμός μεταβολής της ακτογραμμής, προσμετρώντας αποκλειστικά την ιστορική οπισθοχώρηση της ακτογραμμής σε κάθε εφαρμογή, υπολογίστηκε σε -0,14 m/y (μικρή διαβρωτική τάση).

Από τα παραπάνω προκύπτει πως για έναν μεγάλο αριθμό παράκτιων περιοχών στην Ελλάδα, υπολογίζεται ένας μέσος ετήσιος ρυθμός μεταβολής της ακτογραμμής λίγο μεγαλύτερος από το -1,0 m/y, κάτι που σε γενικές γραμμές σημαίνει ότι οι συγκεκριμένες ακτές παρουσιάζουν τάσεις έντονης διάβρωσης που θα έχει σαν αποτέλεσμα την απώλεια εδαφών, εγκαταστάσεων και περιουσιών που βρίσκονται κοντά στην ακτογραμμή, για ένα χρονικό ορίζοντα πρόβλεψης των 50 (2050) ή των 100 χρόνων (2100) από την εκπόνηση της εν λόγω μελέτης (Δουκάκης, 2007b) αποτελώντας σημαντική απειλή για τις παράκτιες οικονομίες όπου η αγορά τουριστικών υπηρεσιών αποτελεί βασικό παράγοντα για την οικονομική ανάπτυξη.

Συχνά στην ιστορία της Ελλάδος, η κατασκευή τεχνικών έργων σε παράκτιες περιοχές ή η ανάπτυξη άλλων παρόμοιων δραστηριοτήτων, διατάραξε τις φυσικές ισορροπίες και επιτάχυνε τις διαδικασίες διάβρωσης και υποχώρησης της ακτογραμμής (Πετρέλης, 2012). Έχει επιβεβαιωθεί πλέον ότι η ευρεία χρήση σκυροδέματος, αν και είχε καταρχήν στόχο την σταθεροποίηση της ακτής, εντούτοις έφερε αρνητικά αποτελέσματα. Στις περισσότερες περιπτώσεις τα τμήματα της ακτής που ήταν υπό «σκληρές» μεθόδους «προστασίας» μετά από όχι μεγάλα χρονικά διαστήματα κατέληξαν σε χειρότερη κατάσταση. Η αναποτελεσματικότητα αυτής της αμιγώς τεχνικής προσέγγισης άρχισε να είναι ιδιαίτερα προφανής, όταν το κόστος των εργασιών επισκευής άρχισε να υπερβαίνει το κόστος των μονάδων προστασίας των ακτών.

Είναι συνεπώς φανερό, ότι ο σχεδιασμός και η εκτέλεση ενός τεχνικού έργου στην ακτογραμμή απαιτεί συνεργασία μηχανικών και ωκεανογράφων ώστε να μεγιστοποιείται η αποτελεσματικότητα του έργου και να ελαχιστοποιούνται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Παναγιωτίδης and Χατζημπίρος, 2004).

1.3 Διαχρονική εξέλιξη της ακτογραμμής

Η ανάλυση της μεταβλητότητας της ακτής και οι τάσεις διάβρωσης-προσαύξησης της ακτογραμμής είναι θεμελιώδεις για ένα ευρύ φάσμα επιστημόνων, οι οποίοι εμπλέκονται με τους παράκτιους χώρους (Boak and Turner, 2005). Σύμφωνα με την Ομοσπονδιακή Επιτροπή Γεωγραφικών Δεδομένων (FGDC) των Ηνωμένων Εθνών, οι ακτογραμμές είναι ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά της περιβαλλοντικής κληρονομιάς στην επιφάνεια της γης. Αποτελεί επίσης και ένα από τα πιο μοναδικά χαρακτηριστικά της (Li et al., 2001). Η χαρτογράφηση των ακτογραμμών και η παρακολούθηση των μεταβολών τους αποκτούν κρίσιμη σημασία για την ασφάλεια της ναυσιπλοΐας, τη διαχείριση των παράκτιων πόρων, την προστασία του παράκτιου περιβάλλοντος, τη βιώσιμη ανάπτυξη και το σχεδιασμό των παράκτιων ζωνών (Li et al., 2002).

Η κατανόηση της δυναμικής των σταδιακών αλλαγών στην παράκτια γεωμορφολογία απαιτεί την παρακολούθηση και την ιστορική ανασύνθεση, χρησιμοποιώντας μια ποικιλία από τεχνικές και αναλυτικές διαδικασίες. Η ικανότητά μας να κατανοήσουμε και κυρίως να προβλέψουμε αυτή τη μεταβλητότητα είναι ακόμη περιορισμένη, ενίοτε δε οδηγούμαστε σε παρερμηνεία των πληροφοριών για την παράκτια ζώνη, με αποτέλεσμα την λανθασμένη λήψη αποφάσεων σχετικά με τον ορθό σχεδιασμό και την υλοποίηση δράσεων, με απρόβλεπτα και αρνητικά αποτελέσματα.

Η ιστορική εξέλιξη της ακτογραμμής συνδέεται άρρηκτα με την εξέλιξη των ποτάμιων λεκανών απορροής και την ικανότητά τους να παραδίδουν τα ιζήματα στην ακτογραμμή (Carter and Woodroffe, 1994), παράγοντας που πρέπει να συνεκτιμάται για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων στις εκτιμήσεις των μεταβολών των ακτογραμμών.

1.3.1 Μεταβολή της ακτογραμμής σε χωρο-χρονική κλίμακα

Ένας εξιδανικευμένος ορισμός της ακτογραμμής είναι ότι αυτή συμπίπτει με την φυσική διασύνδεση της γης και του νερού (Dolan et al., 1980). Παρά την φαινομενική απλότητα, ο ορισμός αυτός, για να ισχύει στην πράξη, είναι μια πρόκληση αφού η θέση της μεταβάλλεται συνεχώς μέσα στο χρόνο, κυρίως λόγω της κάθετης και οριζόντιας προς την ακτή, κίνησης των ιζημάτων (στερομεταφορά) αλλά και ειδικότερα λόγω της δυναμικής φύσης της στάθμης της θάλασσας κατά το παράκτιο όριο (π.χ. κύματα, παλίρροιες, υπόγεια ύδατα, κύματα καταιγίδας, κλπ). Ως εκ τούτου, η ακτογραμμή πρέπει να εξετάζεται προσεκτικά κατά την χρονική έννοια, και η χρονική κλίμακα που τελικά επιλέγεται, να εξαρτάται από το γενικό πλαίσιο της έρευνας (Boak and Turner, 2005).

Η στιγμιαία ακτογραμμή είναι η θέση της διεπαφής ξηράς-υδάτων σε μία χρονική στιγμή. Όπως έχει σημειωθεί από αρκετούς συγγραφείς (Smith and Zarillo, 1990; Morton, 1991; List and Farris, 1999) η πιο σημαντική και ενδεχομένως εσφαλμένη υπόθεση σε πολλές έρευνες σχετικά με την ακτογραμμή είναι ότι η στιγμιαία ακτογραμμή αντιπροσωπεύει "κανονικές" ή "μέσου όρου" συνθήκες.

Μια ακτογραμμή μπορεί επίσης να μελετηθεί σε ένα ελαφρώς μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, όπως έναν παλιρροϊκό κύκλο, όπου η οριζόντια / κατακόρυφη θέση της μπορεί να ποικίλει οπουδήποτε, μεταξύ μερικών εκατοστών και δεκάδων μέτρων (ή περισσότερο), ανάλογα με την κλίση της παραλίας, το παλιρροϊκό εύρος και τις επικρατούσες κυματικές και ανεμολογικές συνθήκες (Boak and Turner, 2005).

Για ένα μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, π.χ. 50-100 χρόνια, η θέση της ακτογραμμής μπορεί να ποικίλει από εκατοντάδες μέτρα ή περισσότερο (Komar and Enfield, 1987). Η ακτογραμμή είναι ένα φαινόμενο εξαρτώμενο από το χρόνο που μπορεί να εμφανίζει σημαντική βραχυπρόθεσμη μεταβλητότητα (Morton, 1991) οπότε η χρήση μίας μόνο ακτογραμμής είναι ανεπαρκής για να μελετήσει τα βραχυπρόθεσμα μορφοδυναμικά γεγονότα. Για μεγάλες χρονικές περιόδους, πιθανόν από μία και μόνο συγκεκριμένη ακτογραμμή να μπορούν να εξαχθούν αξιόπιστα συμπεράσματα (Oertel, 2005).

Η μεταβολή της ακτογραμμής σε χωρο-χρονική κλίμακα, από φυσικά και ανθρωπογενή αίτια, παρουσιάζεται στον Πίνακας 4

Χρονική - Χωρική Κλίμακα	Φυσικά αίτια	Ανθρωπογενή Αίτια
Αιώνες ή Χιλιετηρίδες **> των 100km**	▶ Διαθεσιμότητα σε ιζήματα ▶ Σχετική μεταβολή της στάθμης της θάλασσας ▶ Κατακόρυφες κινήσεις του πυθμένα ▶ Γεωλογικό υπόβαθρο ▶ Γεωλογικής κλίμακας κλιματικές αλλαγές ▶ Παλαιομορφολογία	▶ Κλιματικές αλλαγές προκαλούμενες από ανθρώπινες δραστηριότητες ▶ Μεταβολή στην απορροή μεγάλων ποταμών (φράγματα κλπ) ▶ Μεγάλες παράκτιες κατασκευές ▶ Αναμορφώσεις της παράκτιας ζώνης σε μεγάλη κλίμακα ▶ (Μη) Διαχείριση παράκτιων ζωνών με σειρά από τεχνικά έργα
Δεκάδες χρόνια έως μερικούς αιώνες **από 10 έως 100km**	▶ Σχετική μεταβολή της στάθμης της θάλασσας ▶ Τοπικές κλιματικές μεταβολές ▶ Ακραία καιρικά φαινόμενα	▶ Μεταβολή στην απορροή μεγάλων ποταμών (φράγματα κλπ) ▶ Παράκτια τεχνικά έργα ▶ Αναμορφώσεις της παράκτιας ζώνης ▶ Παράκτια (μη) διαχείριση ▶ Υπερεκμετάλλευση φυσικών πόρων
1 έως 10 χρόνια **από 1 έως 5km**	▶ Κλιματικές μεταβολές κυμάτων ▶ Ακραία καιρικά φαινόμενα	▶ Κατασκευές στη ζώνη κυματαγωγής ▶ Ανατροφοδότηση παραλιών με άμμο
Ώρες έως 1 έτος **από 10m έως 1km**	▶ Κυματικές καταιγίδες, παλίρροιες ▶ Εποχιακές κλιματικές αλλαγές	▶ Κατασκευές στη ζώνη κυματαγωγής ▶ Ανατροφοδότηση παραλιών με άμμο

Πίνακας 4 Μεταβολή της ακτογραμμής σε χωρο-χρονική κλίμακα από φυσικά και ανθρωπογενή αίτια (Επεξεργασία από (Stive et al., 2002))

Οι **μεταβολές της ακτογραμμής** που οφείλονται σε φυσικές πιέσεις (natural forcings) είναι πρόδηλες σε όλες τις κλίμακες του χρόνου. Οι μεταβολές που οφείλονται σε ανθρωπογενείς πιέσεις (human forcings) τυπικά εμφανίζονται μετά από δεκαετίες ή και εκατονταετίες. Σε πολλές περιπτώσεις, η βραχυπρόθεσμη μεταβολή της ακτογραμμής (εκφρασμένη σε μέτρα/ημέρα) μπορεί να είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από ότι η μακροπρόθεσμη τάση αλλαγής της γραμμής (long-term change of the coastline).

Παράγοντες όπως γεωμορφολογία, παράκτια κλίση, οπισθοχώρηση/πρόσχωση ακτογραμμής παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη μεταβλητότητα συναρτήσει της χωρικής κλίμακας και γι' αυτό έχουν τη μεγαλύτερη επίδραση στην τελική τιμή παράκτιας

επικινδυνότητας. Ιδιαίτερα, η γεωμορφολογία και η παράκτια κλίση είναι χαρακτηριστικές για κάθε ακτή ή τμήμα της και θεωρούνται ως οι κυρίαρχοι παράγοντες προσδιορισμού της παράκτιας επικινδυνότητας λόγω ανόδου της στάθμης της θάλασσας. Ακόμα, η οπισθοχώρηση / πρόσχωση ακτογραμμής παρουσιάζει μεγάλη μεταβλητότητα σε μικρές χωρικές κλίμακες (~3km) (Hammar-Klose and Thieler, 2001; Δουκάκης, 2007a).

Σχεδόν όλες οι φυσικές αλλαγές συνδέονται με βραχυπρόθεσμες ή μακροπρόθεσμες περιοδικές επιπτώσεις, αρκετές από τις οποίες δεν είναι σαφώς καθορισμένες. Οι ανθρωπογενείς παράγοντες είναι «ανωμαλίες» που προστίθενται στις φυσικές αλλαγές, και δίνουν αθροιστικά αποτελέσματα (Camfield and Morang, 1996).

1.3.2 Ανίχνευση και χαρτογράφηση ακτογραμμής

Η πιο σημαντική παράμετρος για τον σωστό υπολογισμό του ρυθμού μεταβολής ακτογραμμών είναι ο προσδιορισμός της θέσης κάθε ακτογραμμής να είναι όσο το δυνατόν ακριβέστερος. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τη διαδικασία αυτή είναι πολυάριθμες αλλά σε κάθε περίπτωση η συλλογή καλής ποιότητας δεδομένων από ένα ευρύ φάσμα πηγών παίζει τον πρωταρχικό ρόλο για την περαιτέρω διαδικασία.

Οι πιο συνηθισμένες πηγές για την άντληση δεδομένων προκειμένου για μελέτες που αφορούν ιστορικές ακτογραμμές είναι: α) αεροφωτογραφίες β) χάρτες γ) ναυτικά διαγράμματα ή φύλλα τοπογραφικών χαρτών (T-sheets) και δ) διαγράμματα παράκτιων εκτάσεων (Δουκάκης, 2007a). Κατά τα τελευταία χρόνια με την ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας και ειδικότερα των μεθόδων φωτογραμμετρίας (photogrammetry) και τηλεπισκόπησης (remote sensing), άλλαξε ριζικά ο τύπος και ο όγκος των δεδομένων που διατίθενται για την παρακολούθηση της παράκτιας ζώνης και την αντιμετώπιση των προβλημάτων διαχείρισης της. Έτσι για τις σύγχρονες ακτογραμμές μπορούν να χρησιμοποιούνται πλέον και: α) τοπογραφικές μετρήσεις με DGPS (Differential Global Positioning System - Διαφορικό Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Θέσης) β) πολυφασματικές και υπερφασματικές εικόνες (multispectral and hyperspectral satellite images) γ) δεδομένα τεχνολογίας εναέριας φωτοανίχνευσης και εντοπισμού (Light Detection And Ranging - LIDAR) δ) δεδομένα από μικροκυματικούς αισθητήρες (microwave sensors) ε) εικόνες από διαδικτυακές κάμερες (web cameras π.χ. Argus snapshot photograph, (Turki et al., 2013)) κ.α.

Δεδομένα από αρχειακές πηγές δίνουν πληροφορίες για τη θέση της ακτογραμμής στο παρελθόν, ενώ από σύγχρονες πηγές δείχνουν την παρούσα θέση της. Συνδυάζοντας τα στοιχεία και από τις δύο πηγές έχουμε την μοναδική ευκαιρία να εντοπίσουμε πως η ακτογραμμή εξελίχθηκε κατά την πάροδο των ετών. Έτσι συλλέγεται η βασική πληροφορία για την ανάλυση της συμπεριφοράς της ακτογραμμής, τόσο βραχυπρόθεσμα όσο και μακροπρόθεσμα αλλά και για το πώς άλλοι παράγοντες επηρεάζουν την μορφολογική αλλαγή της καθώς και για την εκτίμηση πρόβλεψης της μελλοντικής της θέσης από τα στοιχεία του ρυθμού μεταβολής της, χρησιμοποιώντας διάφορες τεχνικές μοντελοποίησης (Appeaning-Addo and Lamptey, 2013).

Οι Eliot and Clarke επισήμαναν ότι απαιτούνται τουλάχιστον 10 χρόνια συνεχών καταγραφών για να προσδιοριστούν οι αληθινές τάσεις αλλαγής της ακτογραμμής για βραχυπρόθεσμη μεταβλητότητα (Eliot and Clarke, 1989). Μια πιο ακραία σύσταση από τους Galgano and Leatherman (1991) αναφέρει ότι δεδομένα κάτω των 50 ετών είναι ανεπαρκή για να «αποκρυπτογραφήσουν» τις βραχυπρόθεσμες αλλαγές από τη μακροπρόθεσμη τάση (Galgano and Leatherman, 1991). Σε νεώτερη έρευνα οι Galgano και Douglas (2000) κατέδειξαν την αναγκαιότητα να χρησιμοποιούνται δεδομένα άνω των 80 ετών ώστε να προσδιοριστεί η τάση της αλλαγής της ακτογραμμής ερμηνεύοντας ότι σε χρονικό πλαισίων λιγότερο των 80 ετών, με απλές μεθόδου υπολογισμού, μπορεί να παραχθεί λάθος «σήμα» (π.χ. συσσώρευση έναντι διάβρωσης). Επιπλέον έδειξαν ότι η ενσωμάτωση της μετα-θύελλας και τα δεδομένα της θέσης της ακτογραμμής το χειμώνα παραβιάζουν τις παραδοχές του μοντέλου γραμμικής παλινδρόμησης, όταν αναμιγνύεται με τα δεδομένα της θέσης της ακτογραμμή το καλοκαίρι (Galgano and Douglas, 2000).

Η επιλογή μεθόδου ψηφιοποίησης της ακτογραμμής εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως την χρονική απόσταση των πρωτογενών δεδομένων, το επίπεδο ακριβείας που απαιτείται, τον τύπο παρουσίασης των αποτελεσμάτων, την μέθοδο συλλογής εδαφικών σημείων ελέγχου, τις δυνατότητες χρηματοδότησης της έρευνας ή/και του εξοπλισμού καθώς και από την μέθοδο που θα χρησιμοποιηθεί για να προσδιοριστεί ο ιστορικός ρυθμός μεταβολής της (Appeaning-Addo and Lamptey, 2013).

Η πιο συνηθισμένη τεχνική ανίχνευσης ιστορικής ακτογραμμής στηριζόμενη σε εμφανώς διακριτά χαρακτηριστικά, είναι η οπτική ερμηνεία (visual interpretation) από ιστορικές & σύγχρονες αεροφωτογραφίες (Boak and Turner, 2005) σε συνδυασμό με σύγχρονες τεχνικές φωτογραμμετρίας και τηλεανίχνευσης (photogrammetry and remote sensing). Οι αεροφωτογραφίες κατακόρυφης λήψης (vertical aerial photographs) αποτελούν πολύτιμα εργαλεία για την ανακατασκευή (reconstruction) της ακτογραμμής για μακροπρόθεσμες και μεσοπρόθεσμες χρονικές κλίμακες (Crowell et al., 1993) και παρέχουν τη δυνατότητα ανίχνευσης στοιχείων για την παράκτια μορφολογία και τις μεταβολές χρήσης/κάλυψης γης της παράκτιας ζώνης (Anfuso et al., 2007).

Αεροφωτογραφίες έχουν χρησιμοποιηθεί ήδη από το 1927 στις ΗΠΑ, για να εξαχθούν από αυτές γεωχωρικές πληροφορίες για την παράκτια ζώνη, δημιουργώντας ένα σημαντικό σύνολο ψηφιακών δεδομένων για χρήση σε μελέτες ιστορικών ακτογραμμών. Επειδή όμως οι

αεροφωτογραφίες δεν έχουν την προβολή χάρτη, πρέπει να «ορθοδιορθωθούν» (orthorectification) οπότε και έχει καθιερωθεί η ορολογία γι' αυτήν την διαδικασία ως "soft-copy photogrammetry" (Moore, 2000). Συνοπτικά η διαδικασία διόρθωσης έχει ως εξής: μεταμόρφωση της εικόνας (η οποία έχει τυχαίες αυθαίρετες συντεταγμένες) σε προβολή χάρτη διορθώνοντας (ή ελαχιστοποιώντας όσο το δυνατόν) τις στρεβλώσεις της, όπως την κλίση, την ανομοιογένεια της κλίμακας, την μετατόπιση αναγλύφου και τις στρεβλώσεις των φακών λήψης. Προϋπόθεση αυτής της διαδικασίας είναι η μετατροπή τους σε ψηφιακή μορφή (softcopy format) με χρήση κατάλληλου σαρωτή (scanner). Συνήθως, οι αεροφωτογραφίες για φωτογραμμετρικές εργασίες σαρώνονται ως ψηφιδωτές (raster) εικόνες σε ανάλυση από 400 dpi (dots per inch) και άνω. Η σχέση μεταξύ ανάλυσης σάρωσης σε dpi και διαστάσεων εικονοστοιχείου (pixel) σε μέτρα στο έδαφος είναι ένας κρίσιμος παράγοντας (Welch and Jordan, 1996) αφού η χωρική διακριτική ικανότητα (ή ανάλυση) καθορίζει την ελάχιστη επιφάνεια του εδάφους για την οποία μπορεί να γίνει παρατήρηση. Στις ψηφιακές απεικονίσεις, αυτό ορίζεται σαν μέγεθος του εικονοστοιχείου στο έδαφος συνήθως σε μέτρα[5]. Στην περίπτωση που πρόκειται να αναλυθούν άνω της μίας αεροφωτογραφίας ή/και χρονοσειρές αεροφωτογραφιών, πρέπει με την ανωτέρω διαδικασία να αποδοθούν όλες σε κοινή κλίμακα, κοινό datum και κοινό προβολικό σύστημα για να μπορέσουν τα δεδομένα να είναι συγκρίσιμα και να συνθέσουν ένα αξιόπιστο ορθο-φωτομωσαϊκό.

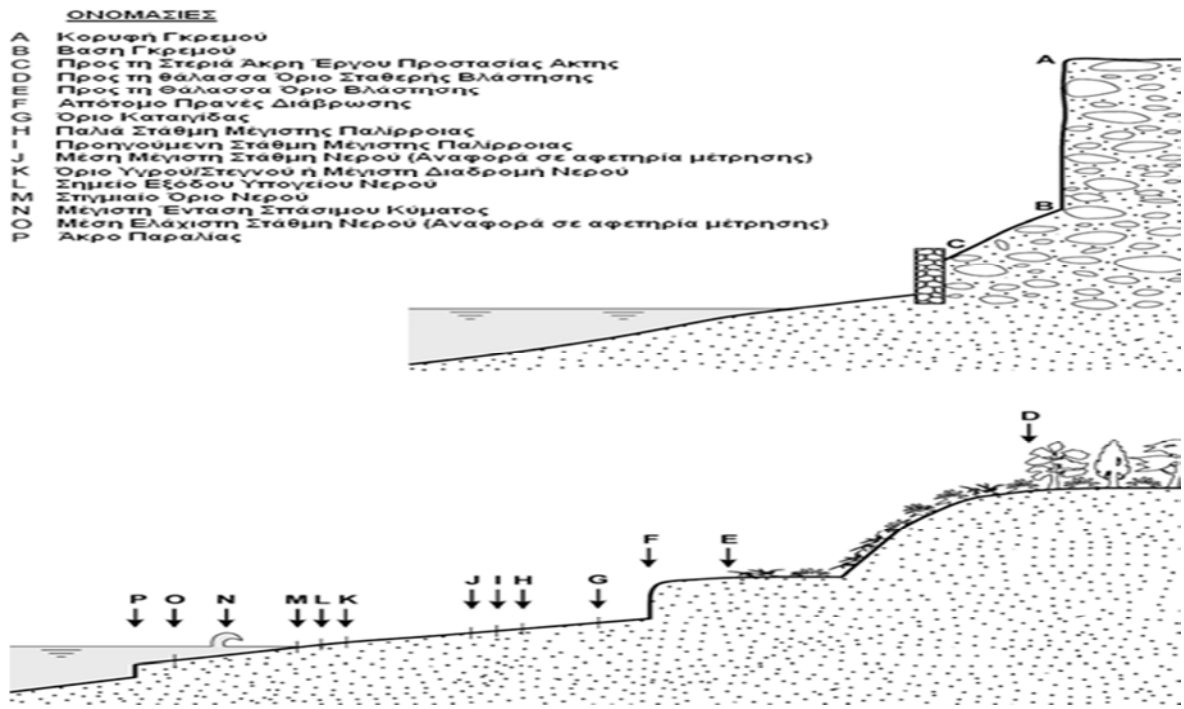
Η διαδικασία διόρθωσης σαρωμένων αεροφωτογραφιών κατακόρυφης λήψης είναι πολύπλοκη, διότι οι περισσότερες αεροφωτογραφίες, δεν έχουν σαφή σημεία ελέγχου όπως ενδείξεις γεωγραφικού μήκους-πλάτους ή τριγωνομετρικά σημεία. Έτσι, για να γίνει η διόρθωση τους με την μέγιστη δυνατή ακρίβεια, πρέπει να προσδιοριστούν εδαφικά σημεία ελέγχου (Ground Control Points – GCPs) με γνωστές γεωδαιτικές συντεταγμένες και μάλιστα σε «έξυπνες» θέσεις, οπότε αυτό θα ελαχιστοποιήσει τον αναγκαίο αριθμό τους και θα ισχυροποιήσει την επίλυση. Τέτοια ομόλογα σημεία είναι π.χ. γωνίες κτιρίων χαμηλού υψομέτρου, διασταυρώσεις δρόμων και απλών σιδηροδρομικών γραμμών, γέφυρες, δεξαμενές, πύργοι, μνημεία και οποιοδήποτε άλλο ευκρινές και διαχρονικό χαρακτηριστικό υπάρχει, τα οποία και θα αντιστοιχηθούν με τις πραγματικές τους συντεταγμένες. Ανάλογα δε με το φωτογραμμετρικό λογισμικό το οποίο χρησιμοποιείται για την ορθοδιόρθωση, τα

[5] *Η ακρίβεια των ακτογραμμών που εξάγονται από αεροφωτογραφίες έχει εκτιμηθεί ότι φέρει τυπική απόκλιση 2.1m στους άξονες X και Y (Li et al., 2001)*

σημεία εδαφικού ελέγχου προτείνεται να είναι τουλάχιστον 6 ή 9, ομοιόμορφα κατανεμημένα σε κάθε αεροφωτογραφία (Moore, 2000).

Η διόρθωση από παραμορφώσεις λόγω ανάγλυφου επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός αξιόπιστου Ψηφιακού Μοντέλου Υψομέτρου (Digital Elevation Model – DEM) με γνωστό βήμα καννάβου και γνωστή ακρίβεια, με το οποίο δίνεται πλέον στα σημεία της αεροφωτογραφίας και η υψομετρική πληροφορία.

Το επόμενο στάδιο (μετά την ολοκλήρωση των ορθο-φωτομωσαϊκών) απαιτεί την επιλογή και τον προσδιορισμό ενός δείκτη ακτογραμμής (shoreline indicator) ο οποίος θα λειτουργήσει ως αναφορά για την διεπαφή γης-νερού. Μια σειρά από μορφολογικά χαρακτηριστικά (Σχήμα 6) μπορούν να συνθέσουν τις γραμμές αναφοράς, για την αποτύπωση των αλλαγών σε ιστορικές ακτογραμμές και η επιλογή τους καθορίζεται από τη διαθεσιμότητα των δεδομένων και το ιδιαίτερο πλαίσιο κάθε έρευνας. Ωστόσο, στις περισσότερες περιπτώσεις η υψηλή στάθμη νερού (HWL) (μερικές φορές αναφέρεται στη βιβλιογραφία και ως "wet/dry line") έχει αποδειχθεί ότι είναι ο καλύτερος δείκτης της διεπαφής γης-νερού για συγκριτικές μελέτες που αφορούν την ιστορική ακτογραμμή διότι είναι εύκολα αναγνωρίσιμη στο πεδίο (έντονη αλλαγή τόνου), μπορεί εύκολα να προσεγγιστεί στις αεροφωτογραφίες (είτε ασπρόμαυρες είτε έγχρωμες) και αντιπροσωπεύει ένα χαρακτηριστικό της ακτογραμμής το οποίο χαρτογραφείται με ακρίβεια (έστω και σποραδικά) ήδη από τα μέσα του 1800 (Fisher and Overton, 1994).



Σχήμα 6 Δείκτες που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση της θέσης της ακτογραμμή (επεξεργασία από (Boak and Turner, 2005))

1.3.3 Υπολογισμός ρυθμού μεταβολής ακτογραμμής

Έχουν γίνει πολλές προσπάθειες για την ποσοτικοποίηση της εξέλιξης της ακτογραμμής (quantification of shoreline variability). Οι χρονοσειρές των θέσεων της ακτογραμμής, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την τεκμηρίωση των παράκτιων αλλαγών και να ερμηνεύονται για την καλύτερη κατανόηση της σταθερότητας ή μη της ακτογραμμής (Fletcher, 2011).

Ο ρυθμός μεταβολής της ακτογραμμής (rate of shoreline change) είναι μια από τις πιο σημαντικές παραμέτρους που χρησιμοποιείται από τους επιστήμονες που ασχολούνται με τη δυναμική της παράκτιας ζώνης. Εκφράζεται σε όγκο/μήκος/χρόνο, π.χ. m3/m/year αλλά επειδή ο ρυθμός μεταβολής συχνά χρησιμοποιείται ως συνώνυμο της οπισθοχώρησης / προέλασης της ακτογραμμής, εν τέλει εκφράζεται σε m/year (Conscience, 2007). Αποδίδεται είτε με θετικό πρόσημο για προέλαση της ακτογραμμής προς τη θάλασσα (πρόσχωση) είτε με αρνητικό για οπισθοχώρηση της προς τη χέρσο (διάβρωση).

Η ακρίβεια με την οποία εκτιμάται ο ρυθμός μεταβολής της ακτογραμμής ώστε να αντικατοπτρίζει τις πραγματικές αλλαγές και να παρέχει όσο το δυνατόν πιο ασφαλή δυνατότητα εκτίμησης πρόβλεψης μεταβολής εξαρτάται από (Dolan et al., 1991):

(1) την ακρίβεια που επιτυγχάνεται στην αποτύπωση της θέσης της ακτογραμμής

(2) την χρονική μεταβλητότητα της κίνησης της ακτογραμμής

(3) τον αριθμό των μετρήσεων που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό

(4) την εγγύτητα των παρατηρήσεων σε πραγματικές αλλαγές στην τάση (σφάλμα δείγματος)

(5) το χρονικό διάστημα μεταξύ των μετρήσεων

(6) το συνολικό χρονικό διάστημα της καταγραφής και

(7) την μέθοδο που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του ρυθμού αυτού.

Ο υπολογισμός του ρυθμού μεταβολής γίνεται με το συνδυασμό γραφικών και στατιστικών μεθόδων, η καθεμία εκ των οποίων έχει τις δικές της πηγές αβεβαιότητας που επηρεάζουν την αξιοπιστία των υπολογισμένων τιμών. Οι Genz et al. (2007) χρησιμοποίησαν δεδομένα από θέσεις ιστορικών ακτογραμμών σε παράκτιες περιοχές του νησιού Maui στη Hawaii, για να υπολογίσουν τους ρυθμούς μεταβολής της ακτογραμμής, ελέγχοντας τις ακρίβειες δέκα στατιστικών μεθόδων (Genz et al., 2007). Διαπίστωσαν ότι έως τότε, δεν

είχαν ελεγχθεί διεξοδικά όλες οι μέθοδοι υπολογισμού ενώ από τον Honeycutt et al. (2001) επισημάνθηκε ότι τα σφάλματα που σχετίζονται με κάθε μέθοδο δεν έχουν αξιολογηθεί ακόμη με μεγάλη λεπτομέρεια (Honeycutt et al., 2001).

Οι Anderson και Frazer (2014) επισήμαναν ότι η επιλογή μεθόδου υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής των ακτογραμμών εξαρτάται κυρίως από την γεωλογία της εξεταζόμενης περιοχής αλλά και από τον σκοπό της έρευνας και ότι δεν υπάρχει μία και μόνο μέθοδος που να ενδείκνυται για όλες τις περιπτώσεις ή να υπερτερεί σε σχέση με κάποια άλλη (Anderson and Frazer, 2014; Anderson et al., 2015). Αν και υπεράριθμες μελέτες έχουν προσπαθήσει να περιγράψουν το «παρελθόν» μιας ακτογραμμής αλλά και να προβλέψουν τις μελλοντικές της αλλαγές, δεν υπάρχει συναίνεση μεταξύ τους, σχετικά με την καλύτερη μέθοδο για τον υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής της, αποκαλύπτοντας ως κυριότερη αιτία της αδυναμίας αυτής τις ακραίες διακυμάνσεις στην παράκτια μορφολογία και στην ωκεανογραφική κλιματολογία (oceanographic climatology) (Appeaning-Addo and Lamptey, 2013), οι οποίες εν τέλει επηρεάζονται από τα τοπικά χαρακτηριστικά κάθε περιοχής μελέτης.

Με χρήση διατομών Η μέθοδος υπολογισμού με τη χρήση διατομών υλοποιείται με τη μέτρηση, πάνω σε κάθε διατομή, των αποστάσεων της ακτογραμμής μεταξύ διαφορετικών χρονικών διαστημάτων. Οι αποστάσεις αυτές μεταξύ των θέσεων των ιστορικών ακτογραμμών κατά μήκος των διατομών, αποτελούν και τα πρωτογενή δεδομένα που χρησιμοποιούνται στις στατιστικές μεθόδους υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής. Έτσι, υπολογίζεται η υποχώρηση ή η πρόσχωση της ακτογραμμής σε κάθε διατομή ξεχωριστά και στη συνέχεια υπολογίζεται ένας ενιαίος μέσος όρος για ολόκληρη την ακτογραμμή. Με αυτόν τον τρόπο μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα σε τοπικό επίπεδο (ανάλογα με τη θέση της κάθε σχεδιασμένης διατομής) αλλά και ως προς τη δυναμική εξέλιξη συνολικά της ακτογραμμής σε κάθε παράκτια περιοχή. Ο τρόπος αυτός, αν και πολύ απλός και κατανοητός στην έκφρασή του, έχει το μειονέκτημα ότι εάν τα χρονικά διαστήματα μεταξύ των παρατηρήσεων της ακτογραμμής δεν είναι σχετικά όμοια (όπως π.χ. 1945-1960 : 15 χρόνια, 1960-1972 : 12 χρόνια, 1972-1985 : 13 χρόνια), τότε ενδέχεται να παραχθούν εσφαλμένα αποτελέσματα (Δουκάκης, 2007a).

Με χρήση εμβαδών Η μέθοδος στηρίζεται σε μια ενιαία αντιμετώπιση της περιοχής μελέτης, υπολογίζοντας τις επιφάνειες των περιοχών (εμβαδά) που είτε έχουν προσχωθεί είτε έχουν διαβρωθεί σε μια χρονική περίοδο διά του μήκους της ακτογραμμής που υπολογίστηκαν. Η μέθοδος αυτή συνιστάται για τις ακόλουθες περιπτώσεις:

- Τον υπολογισμό ενός γενικού ρυθμού μεταβολής σε μια περιοχή, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη τοπικές ιδιαιτερότητες.
- Σε περιοχές όπου λόγω των μεγάλων μεταβολών, δε μπορεί να εφαρμοστεί η μέθοδος των διατομών. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται κατά κάποιο τρόπο η εσωτερική δυναμική της περιοχής.
- Σε περιοχές όπου δεν είναι εμφανής η τάση μεταβολής της ακτογραμμής
- Σε ενιαίες γεωλογικά και γεωγραφικά οντότητες, όπως δέλτα ποταμών, νησιά και κόλπους

Τα προηγούμενα μοντέλα (διατομών, εμβαδών) βασίζονται στη θεώρηση μετακίνησης μεμονωμένων σημείων. Οι Srivastava et al (2005) προσέγγισαν την μεταβολή της ακτογραμμής και την πρόβλεψη μελλοντικής θέσης, υποδιαιρώντας τις διαθέσιμες ακτογραμμές σε μικρότερα τμήματα (το πέρας του ενός, αρχή του επόμενου). Μοντελοποίησαν τις μετατοπίσεις ολόκληρων των διαδοχικών τμημάτων αφού διαίρεσαν κάθε ακτογραμμή σε ίδιο αριθμό ίσων τμημάτων (Srivastava, 2005). Η εναλλακτική μέθοδος (transecting and segmentation) κατά τον έλεγχο αξιολόγησης, με βάση συντελεστές ποιότητας (γενίκευσης, διαστροφής, απόκλισης και ασάφειας), δεν ανέδειξε με βεβαιότητα την υπεροχή της συγκριτικά με την κλασσική μέθοδο (διατομών) (Δουκάκης, 2007a) ενώ οι ερευνητές της μεθόδου αυτής υποστηρίζουν ότι το μοντέλο τους μπορεί να βελτιωθεί και να δώσει καλύτερα αποτελέσματα αν βασιστεί σε περισσότερες ιστορικές ακτογραμμές.

Οι πλέον χρησιμοποιούμενες στατιστικές μέθοδοι, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους, παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον Πίνακας 5. Οι περισσότερες από αυτές τις μεθόδους στηρίζονται στην παραδοχή γραμμικού μοντέλου (γραμμική τάση) για την αντιμετώπιση της ακτογραμμής. Για τις παράκτιες περιοχές με σταθερούς ρυθμούς μεταβολής της ακτογραμμής μέσα στο χρόνο, τα αποτελέσματα όλων των μεθόδων είναι πανομοιότυπα. Για μια ακτογραμμή με μη-γραμμική απόκριση, μια γραμμική μέθοδος εκτίμησης μπορεί να προσεγγίσει μόνο το μέσο ποσοστό της αλλαγής (Dolan et al., 1991).

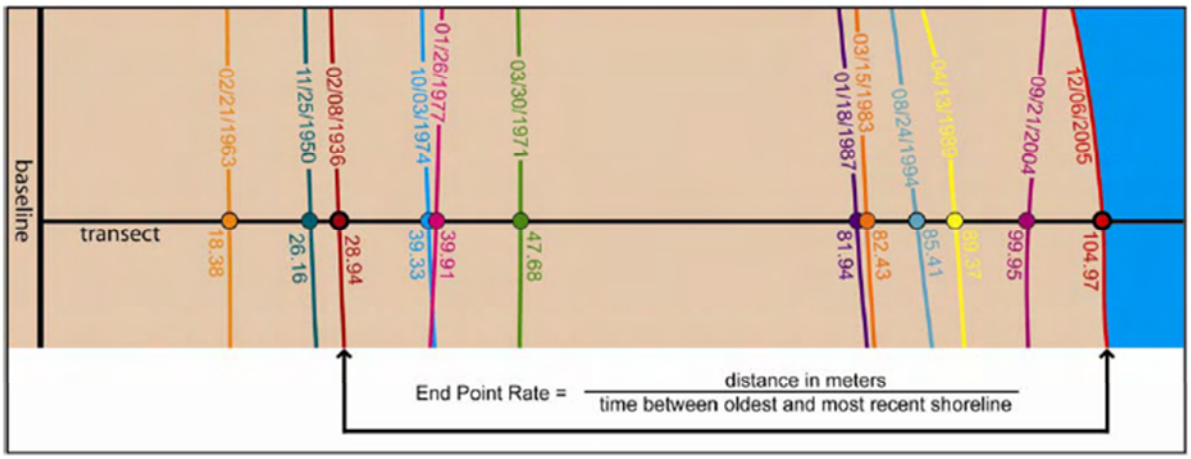
Πίνακας 5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των κυριότερων μεθόδων υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής (Dolan et al., 1991; Genz et al., 2007; Πετρέλης, 2012)

Shoreline Change Rate Method	**Πλεονεκτήματα**	**Μειονεκτήματα**
EPR	Απλοί υπολογισμοί	Χρησιμοποιεί μόνο τα δύο ακραία σημεία και υποθέτει γραμμική τάση
AOR	Χρησιμοποιεί σφάλματα στις μετρήσεις στο να αναγνωρίσει τον ρυθμό μεταβολής της ακτογραμμής	Υποθέτει γραμμική τάση, το κριτήριο του ελάχιστου χρόνου επηρεάζεται από μεγάλα σφάλματα ή μικρό EPR
MDL	Δεν υποθέτει γραμμική τάση όταν αναγνωρίζει το πιο κατάλληλο μοντέλο	Δίνει έμφαση στα πρόσφατα δεδομένα και χρειάζεται η «κρίση ανάλυσης» όταν το μοντέλο είναι μη γραμμικό
OLS	Απλοί υπολογισμοί, χρησιμοποιεί στατιστικούς ελέγχους	Υποθέτει γραμμική τάση και είναι ευαίσθητη ως μέθοδος σε στατιστικά ακραίες τιμές
JK	Μειώνει την επίδραση των ακραίων τιμών και χρησιμοποιεί στατιστικούς ελέγχους	Υποθέτει γραμμική τάση
RLS	Ανθεκτική σε στατιστικά ακραίες τιμές, χρησιμοποιεί στατιστικούς ελέγχους	Υποθέτει γραμμική τάση, απομακρύνει δεδομένα πριν αναγνωρίσει την τάση
WLS	Ενσωματώνει αβεβαιότητες στην γραμμή τάσης και χρησιμοποιεί στατιστικούς ελέγχους	Υποθέτει γραμμική τάση και είναι ευαίσθητη ως μέθοδος σε στατιστικά ακραίες τιμές
RWLS	Ενσωματώνει αβεβαιότητες στην γραμμή τάσης, χρησιμοποιεί στατιστικούς ελέγχους και είναι ανθεκτική ως μέθοδος στις ακραίες τιμές	Υποθέτει γραμμική τάση, απομακρύνει δεδομένα πριν αναγνωρίσει την τάση
LAD	Είναι ανθεκτική ως μέθοδος σε στατιστικά ακραίες τιμές	Υποθέτει γραμμική τάση και η ανάλυση αναγνωρίζει πεδίο περιορισμών
WLAD	Ενσωματώνει αβεβαιότητες στην γραμμή τάσης και είναι ανθεκτική ως μέθοδος σε στατιστικά ακραίες τιμές	Υποθέτει γραμμική τάση και η ανάλυση αναγνωρίζει πεδίο περιορισμών

Έως το 1992 πάνω από το 75% των δεδομένων που είχε συγκεντρωθεί στο ολοκληρωμένο σύστημα πληροφοριών (CEIS) για τις ακτογραμμές των Ηνωμένων Πολιτειών, είχαν υπολογιστεί με βάση τη μέθοδο τελικού σημείου (EPR). Οι μέθοδοι με τη λιγότερη συχνή χρήση ήταν η (AOR), η γραμμική παλινδρόμηση (LR) και η (JK) Jackknife (Dolan et al., 1991).

Ειδικότερα, με την μέθοδο **End Point Rate** (EPR) (Ρυθμός Τελευταίου Σημείου), η οποία αφορά κυρίως μακροπρόθεσμες (long term) μεταβολές, ο ρυθμός μεταβολής προκύπτει από την διαίρεση της απόστασης (“χώρος”) μεταξύ της παλαιότερης και της πιο πρόσφατης από ιστορικής ακτογραμμής, με την μεταξύ τους χρονική διαφορά (“χρόνος”) (Σχήμα 7). Ο

υπολογισμός μπορεί να γίνει και ανάμεσα σε δύο άλλες οποιεσδήποτε ακτογραμμές, ανάλογα με το στόχο της έρευνας. Χρησιμοποιώντας τα «ακραία» χρονικά σημεία μεταξύ των θέσεων δύο ακτογραμμών (κατά μήκος των σχεδιασμένων διατομών), υπολογίζονται οι επιμέρους ρυθμοί μεταβολής από τους οποίους εξάγεται τελικά ο μέσος ρυθμός (μέσος όρος) μεταβολής για το επιλεγμένο μήκος μελέτης.



Σχήμα 7 End Point Rate (EPR) (Ρυθμός Τελευταίου Σημείου) (E.A. Himmelstoss, 2009).

Το βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου EPR είναι η απλότητα στους υπολογισμούς και η ελάχιστη απαίτηση δεδομένων (δύο μόνο ιστορικές ακτογραμμές αρκούν), ενώ το κυριότερο μειονέκτημα της είναι ότι αγνοούνται δεδομένα για τυχόν ενδιάμεσες χρονικά ακτογραμμές, που ενδεχομένως θα είχαν ενδιαφέρον για κάποιες μελέτες. Αυτή η απώλεια πληροφορίας, εμποδίζει να εντοπιστούν αλλαγές στο μέγεθος, στο πρόσημο (προέλαση /διάβρωση) ή/και τυχόν κυκλικές τάσεις μεταβολής της, με συνέπεια να μην είναι εφικτό να περιγραφεί η πραγματική ιστορική συμπεριφορά της κατά τα ενδιάμεσα χρονικά στάδια (E.A. Himmelstoss, 2009). Επίσης, εάν το ένα ή και τα δύο ακραία σημεία περιέχουν μεγάλα σφάλματα στην πληροφορία θέσης τους, τότε ο υπολογιζόμενος ρυθμός μεταβολής δεν θα είναι αξιόπιστος (Πετρέλης, 2012). Οι Milligan et al. (2010) σε μελέτες τους στην περιοχή της Χερσονήσου της Βιρτζίνια (ΗΠΑ) διαπίστωσαν ότι η μέθοδος EPR, είναι ένας αξιόπιστος δείκτης ακόμη και όταν υπάρχουν ενδιάμεσες ημερομηνίες (Milligan et al., 2010a, 2010a, 2010b, 2010c, 2010d).

1.3.4 Ο ρόλος των GIS στις μελέτες εξέλιξης των ακτογραμμών

Έχοντας διαπιστώσει τα πολλά προβλήματα που ανέκυπταν στο παρελθόν λόγω της ακατάλληλης χρήσης και διαχείρισης του παράκτιου χώρου, μια νέα, περισσότερο «προσανατολισμένη προς το περιβάλλον» ("environmentally-oriented") φιλοσοφία παράκτιας διαχείρισης αναδύεται, πιο ολιστική, διεπιστημονική και ολοκληρωμένη και με στόχο την αειφόρο ανάπτυξη (sustainable development) των παράκτιων πόρων. Αυτή η νέα φιλοσοφία εξαρτάται, ωστόσο, από την πλήρη κατανόηση των οντοτήτων και των σχέσεων στο παράκτιο σύστημα, και αυτό με τη σειρά του απαιτεί μια σταθερή βάση δεδομένων και πληροφοριών που πρέπει να αξιοποιηθούν για τη στήριξη της λήψης αποφάσεων. Έτσι, οι επιστήμονες που ασχολούνται με την παράκτια διαχείριση στρέφονται όλο και περισσότερο στις εξελίξεις στον τομέα της τεχνολογίας και ειδικότερα στον τομέα των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Geographic Information Systems - GIS) για εργαλεία και μεθοδολογίες που θα μπορούσαν να τους βοηθήσουν στο έργο τους (Bartlett, 1993). Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ) εκτός του ότι είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για την κατάρτιση χαρτών σε διάφορες κλίμακες και προβολές, αποτελούν ένα εξαιρετικό μέσο για την εισαγωγή, επεξεργασία, ανάλυση, ενσωμάτωση και ομογενοποίηση δεδομένων, λόγω της ικανότητάς τους να προσδιορίζουν χωρικές και χρονικές συνδέσεις μεταξύ των διαφόρων στιβάδων πληροφοριών (Rodríguez et al., 2009).

Για χρήση σε συστήματα GIS, όλα τα δεδομένα πρέπει να έχουν κατ' ελάχιστο πέντε πτυχές (Meaden et al., 2013):

(i) να είναι χρονικά (να δείχνουν μια ημερομηνία)
(ii) να είναι θεματικά (σχετικά με ένα θέμα ή ένα χαρακτηριστικό)
(iii) να έχουν μια ποσότητα (έναν αριθμό δεδομένων αντικειμένων ή γεγονότων)
(iv) να είναι χωρικά (γεωαναφορά ή τοποθεσία) και
(v) η κλίμακα και η ανάλυση να αποδίδουν τους σκοπούς της έρευνας

Χαρακτηριστικά όπως, η γραμμή βλάστησης, οι αμμώδεις παραλίες, τα ρηχά, μεσαία και βαθιά νερά, μπορούν να ταξινομηθούν. Οι διαφορετικές μορφές των ταξινομήσεων που μπορούν να εφαρμοστούν σε μια μελέτη εξέλιξης ακτογραμμής περιλαμβάνουν την αναγνώριση προτύπων, την φασματική ταξινόμηση, την ανάλυση υφής και την ανίχνευση των αλλαγών. Οι αλλαγές στην παράκτια γεωμορφολογία μπορούν σαφώς να εξαχθούν με τη βοήθεια των GIS και των τεχνικών τηλεπισκόπησης (Sundaravadivelu et al., 2005).

Χρησιμοποιώντας τις τεχνικές επικάλυψης των εφαρμογών GIS μπορεί να επιτευχθεί μια ποσοτική όσο και ποιοτική ανάλυση σε σχέση με την παράκτια γεωμορφολογία (ως επί το πλείστον δύο διαστάσεων). Για παράδειγμα, με τη χρήση ιστορικών και πρόσφατων αεροφωτογραφιών ή/και δορυφορικών εικόνων, μπορεί να εκτιμηθεί τόσο μακροπρόθεσμα όσο και βραχυπρόθεσμα, ο ρυθμός αλλαγής της ακτογραμμής (Fletcher et al., 2003; Sundaravadivelu et al., 2005). Αυτά τα δεδομένα μπορούν στη συνέχεια να συμπληρωθούν με άλλα χρονικά και χωρικά σύνολα, ώστε να ερμηνευθούν οι αιτίες και οι επιπτώσεις μιας συγκεκριμένης παράκτιας διεργασίας, για παράδειγμα η αιτία του υψηλού ρυθμού διάβρωσης και οι συνέπειές της στις παράκτιες υποδομές (Fletcher et al., 2003). Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για να απεικονίσουν τις προβλέψεις της διάβρωσης και την ανάλυση των επιπτώσεων της, συμπεριλαμβανομένων των πιθανών αποκρίσεων, με την ενσωμάτωση και άλλων συνόλων χωρικών δεδομένων (π.χ. χρήσεις γης) για την εκτίμηση των επιπτώσεων και την υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων. Όταν «οπτικοποιηθούν» οι προβλέψεις για την ακτογραμμή, η χρήση της τεχνολογίας GIS αποτελεί ένα ισχυρό μέσο (Brown et al., 2006) παρέχοντας ρεαλιστικές και χρήσιμες πληροφορίες σε σύντομο χρονικό διάστημα, για την κατανόηση των παράκτιων αλλαγών και των επιπτώσεων τους.

Μερικά οφέλη από τη χρήση GIS και τηλεπισκόπησης στην παρακολούθηση, κατανόηση, διαχείριση και προστασία των παράκτιων ζωνών περιλαμβάνουν: την προσβασιμότητα, την αξιοποίηση και τη διάχυση των πληροφοριών, την αποτελεσματική και ακριβή αποθήκευση χαρτών (απεικονίσεις υψηλής ανάλυσης) και την συνεχή ενημέρωση τους, την παρακολούθηση του χερσαίου παράκτιου χώρου και των αλλαγών της ακτογραμμής, την μετακίνηση των ιζημάτων και την μετατόπιση των ακτών, τον υπολογισμό της μεταβολής του όγκου των ιζημάτων, καθώς και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων σε συνδυασμό με διαδραστικά ερωτήματα-δείκτες και εν τέλει, με την ενσωμάτωση χωρο-χρονικών και κοινωνικο-οικονομικών δεδομένων, την ανάπτυξη μιας βάσης «παράκτιων» δεδομένων σε τοπικό και εθνικό επίπεδο.

Με την παρουσία της σύγχρονης τεχνολογίας GIS, τα μοντέλα πρόβλεψης της εξέλιξης της ακτογραμμής μπορούν να έχουν μεγαλύτερη αξιοπιστία, ακρίβεια και ικανότητα ανάλυσης / απεικόνισης από ότι στο παρελθόν, όπου τα σφάλματα στη διαδικασία της ταυτοποίησης των θέσεων της ακτογραμμής και της ψηφιοποίησης της, καθώς και η απουσία χωρο-χρονικών εργαλείων για την ανάλυση των τάσεων μεταβολής της, ήταν οι βασικές αιτίες που παρεμπόδιζαν την ικανότητα των υπολογιστικών μοντέλων να αποδώσουν ορθές αξιολογήσεις για τη συμπεριφορά της ακτής (Srivastava et al., 2005).

1.4 Αντικείμενο και σκοπός της έρευνας

Στην παρούσα εργασία, διερευνάται η εξέλιξη της ακτογραμμής του Καλλικρατικού Δήμου Πατρέων (Χάρτης 4) για το χρονικό διάστημα 1945-2008 σε συνδυασμό με τις χρήσεις γης στην παράκτια ζώνη.



Χάρτης 4 Γεωγραφική θέση Καλλικρατικού Δήμου Πατρέων (από το αρχείο του Δ.Πατρέων –Συντάξας: Στέλιος Σ. Σταματίου-Κώνστας)

Η παρούσα μελέτη επικεντρώνεται: α) στη συλλογή, επεξεργασία και ορθοαναγωγή πέντε χρονοσειρών (1960, 1979, 1987, 1994 και 2002) ιστορικών αεροφωτογραφιών από την Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (ΓΥΣ), β) στην ψηφιοποίηση (εξαγωγή) ιστορικών ακτογραμμών τόσο από τα φωτομωσαϊκά που προέκυψαν από τις ορθοανηγμένες αεροφωτογραφίες όσο και από την Υπηρεσία Θέασης της «Εθνικό Κτηματολόγιο & Χαρτογράφηση Α.Ε.» (ΕΚΧΑ Α.Ε.) για τα έτη 1945 και 2008 (ιστορικές ακτογραμμές υψηλής ακρίβειας σε ψηφιακή μορφή), γ) στον υπολογισμό του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής για το χρονικό διάστημα από το 1945 έως το 2008 με την μέθοδο του ρυθμού του τελικού σημείου (EPR) και δ) στη δημιουργία βάσης δεδομένων σε περιβάλλον Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων (ΓΠΣ – GIS) που ενσωματώνει τα χωρο-χρονικά δεδομένα των ιστορικών ακτογραμμών κατόπιν κωδικοποίησης, ταξινόμησης και σύνθεσής τους και τα αποδίδει σε ψηφιδωτή (raster) και διανυσματική (vector) μορφή, στο κοινό προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ’87 σε συνδυασμό με τις υπάρχουσες χρήσεις γης της παράκτιας αυτής ζώνης. Παράλληλα αξιολογείται η χρησιμότητα (δυσκολίες και αποτελεσματικότητα) του περιβάλλοντος GIS και των τεχνικών φωτογραμμετρίας για τη συλλογή, τη διαχείριση, την επεξεργασία, την ανάλυση, τη μοντελοποίηση και την απεικόνιση των δεδομένων και των ευρημάτων της έρευνας.

2

Παράκτια ζώνη Δήμου Πατρέων

Η περιοχή έρευνας (Εικόνα 1) εκτείνεται από τα Καμίνια έως την Ροδινή του «Καλλικρατικού» Δήμου Πατρέων, με συνολικό μήκος παράκτιου μετώπου ~ **54**χλμ, παρουσιάζει δε ιδιαίτερο ενδιαφέρον λόγω των έντονων γεωμορφολογικών αλλαγών και των ανθρωπογενών επεμβάσεων που έχει υποστεί τις τελευταίες δεκαετίες.



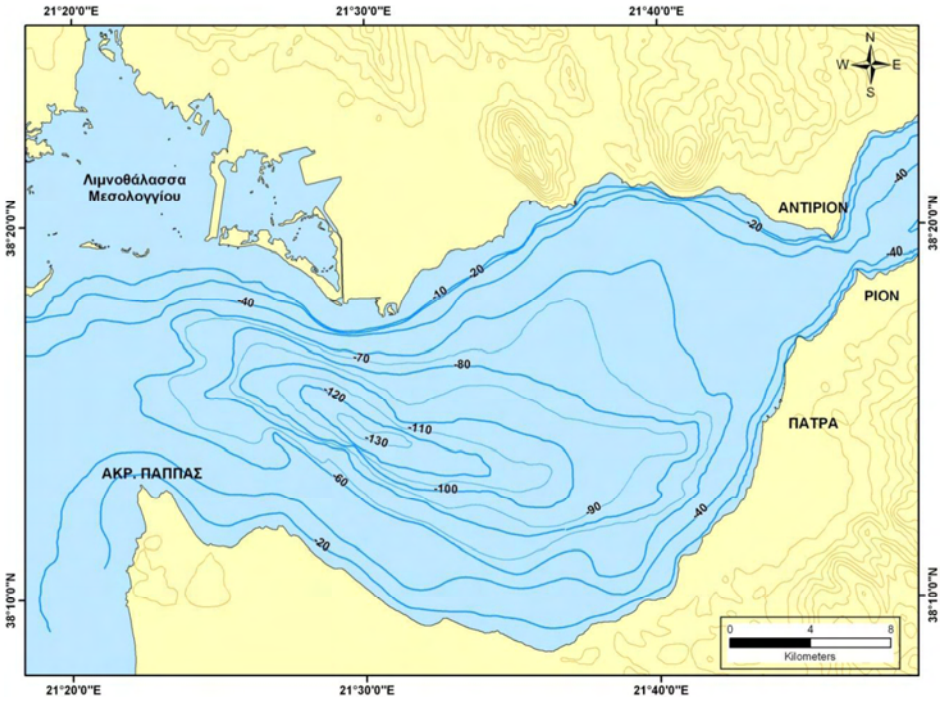
Εικόνα 1 Γεωγραφική θέση (πορτοκαλί γραμμή) Περιοχής Έρευνας (Πηγή: https://maps.google.com)

Το τμήμα από τα Καμίνια έως το στενό του Ρίου-Αντίρριου επηρεάζεται από τον Πατραϊκό Κόλπο, ενώ το υπόλοιπο τμήμα (από το στενό Ρίου-Αντίρριου έως και την Ροδινή) από τον Κορινθιακό Κόλπο. Και τα δύο τμήματα, έχουν παρόμοια φυσικά περιβάλλοντα και ιστορικό παράκτιων αλλαγών από παρόμοια ανθρωπογενή καταπόνηση.

Τα γεωμορφολογικά και ωκεανογραφικά χαρακτηριστικά της παράκτιας ζώνης, όπως αυτά εμφανίζονται στα τμήματα που επηρεάζονται από τις συνθήκες του Πατραϊκού, του Κορινθιακού και του Στενού Ρίου-Αντιρρίου, περιγράφονται εν συντομία στη συνέχεια.

2.1.1 Πατραϊκός Κόλπος

Ο Πατραϊκός Κόλπος βρίσκεται στην Δυτική Ελλάδα μεταξύ Στερεάς Ελλάδας και Πελοποννήσου. Είναι μια σχετικά αβαθής, θαλάσσια λεκάνη (Χάρτης 5), η οποία επικοινωνεί στα δυτικά με το Ιόνιο πέλαγος με ένα δίαυλο μέσου πλάτους 12 km, βάθους 70m και διατομής 540 km2 περίπου (ο οποίος περικλείεται από τις γεωγραφικές θέσεις Τουρλίδα-Ακρωτηρίου Πάππας (Άραξος) και Μαυρομύτη-Άκρα Ευήνου) και στα ανατολικά, με τον Κορινθιακό κόλπο με το στενό του Ρίου-Αντιρρίου το οποίο έχει πλάτος 2 km, βάθος 66 m και διατομή 81,5 km2, περίπου.



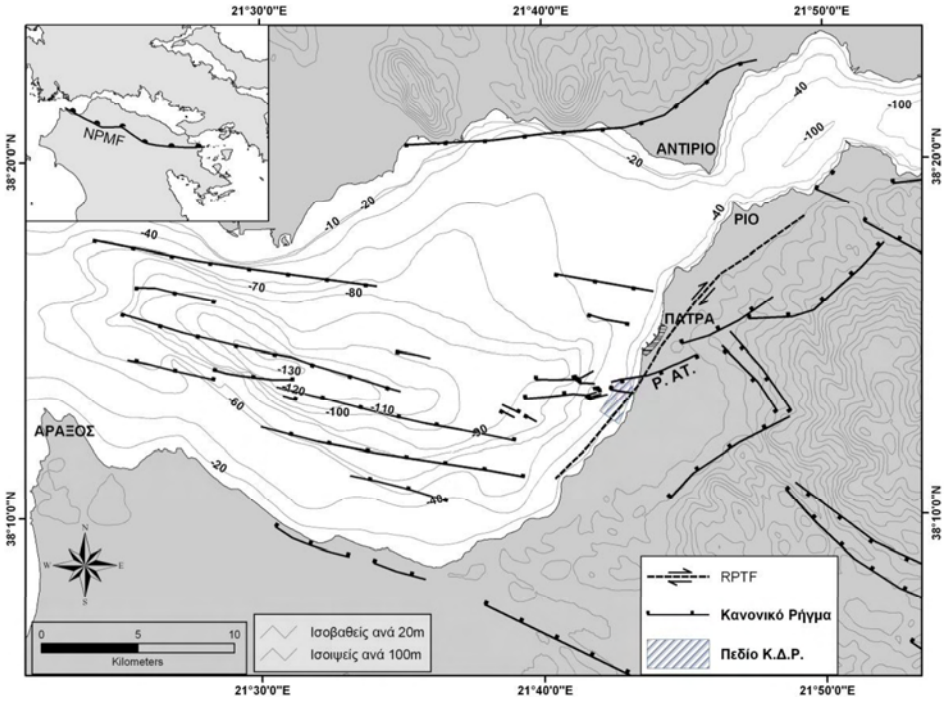
Χάρτης 5 Βυθομετρικός χάρτης Πατραϊκού κόλπου (Χριστοδούλου, 2010)

Η σημερινή δομή του Πατραϊκού κόλπου παρουσιάζει εικόνα ασύμμετρης τάφρου, τοξοειδούς σχήματος με το κυρτό τμήμα προς τα νότια. Από γεωδυναμικής άποψης ο Πατραϊκός κόλπος διαμορφώθηκε σταδιακά από την δράση προϋπαρχόντων ρηγμάτων διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ, τα οποία επανα-δραστηριοποιήθηκαν κατά την υποβύθιση της Προαπούλιας ζώνης κάτω από την Πελοπόννησο (Ferentinos et al., 1985) (Χάρτης 6). Ο Πατραϊκός κόλπος σε αντίθεση από τον Κορινθιακό, δεν παρουσιάζει τόσο μεγάλη σεισμικότητα.

Ο πυθμένας του Πατραϊκού καλύπτεται από Ολοκαινικά ιζήματα πάχους περίπου 30m τα οποία κάθονται με γωνιώδη ασυμφωνία σε Πλειστοκαινικά ιζήματα (Ferentinos et al., 1985). Οι Παπαθεοδώρου και Κοντόπουλος (1998), διαπίστωσαν μια κυκλωνική διεύθυνση

μεταφοράς ιζημάτων στο μεγαλύτερο τμήμα του Πατραϊκού κόλπου, η οποία είναι σύμφωνη με τη γενική κυκλοφορία των υδάτων του. Στο δυτικό τμήμα του κόλπου διαπιστώθηκε μια σαφής τάση μεταφοράς με διεύθυνση από τα δυτικά προς τα ανατολικά. Επιπλέον, παρατηρήθηκε εξασθένηση του μηχανισμού μεταφοράς των ιζημάτων σε διεύθυνση απομάκρυνσης από την ακτή (Παπαθεοδώρου and Κοντόπουλος, 1998).

Στο νότιο τμήμα του Πατραϊκού κόλπου, ανοικτά της πόλης της Πάτρας, έχει εντοπιστεί πεδίο κρατήρων διαφυγής ρευστών (pockmark field) έκτασης 2.5 km2. Οι κρατήρες περιορίζονται μεταξύ των ισοβαθών των 10 και 50 μέτρων. Το μέγεθός τους ποικίλλει από 20 έως 200 μέτρα διάμετρο, το βάθος τους είναι έως 20 μέτρα και ενεργοποιούνται σε σεισμικά επεισόδια και διαχέουν τα αέρια στην υδάτινη στήλη (Χάρτης 6) (Χριστόδουλου et al., 2009).



Χάρτης 6 Τεκτονικός χάρτης του Πατραϊκού κόλπου όπου σημειώνεται η θέση του πεδίου κρατήρων διαφυγής ρευστών (Κ.Δ.Ρ.) (Τροποποίηση από Ferentinos et al., 1985; Flotte et al., 2005)

Στον Πατραϊκό Κόλπο εκβάλουν τρεις κύριοι ποταμοί ο Πείρος, ο Γλαύκος και ο Χάραδρος και αρκετοί χείμαρροι όπως ο Μείλιχος. Οι ποταμοί και οι χείμαρροι παρουσιάζουν εποχικά κυμαινόμενη μεταφορική ικανότητα.

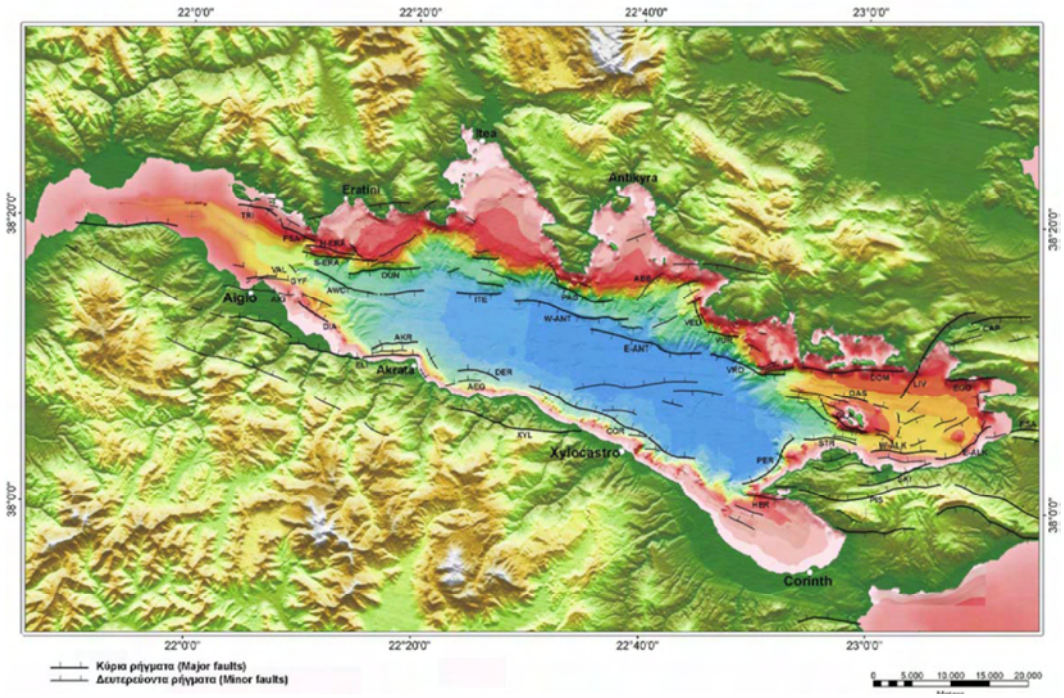
Το νερό του Πατραϊκού κόλπου είναι μίγμα των νερών του Ιονίου (θερμότερο και υψηλότερης αλατότητας από αυτό του κόλπου) και των νερών του Κορινθιακού, στο οποίο επιδρά και το νερό που εισέρχεται μέσω των εκβολών των ποταμών. Ο Πατραϊκός κόλπος κατά τη θερινή περίοδο παρουσιάζει μια κατακόρυφη στρωμάτωση και η υδάτινη στήλη του διακρίνεται σε δύο στρώματα: α) ένα επιφανειακό πάχους 15 m, θερμοκρασίας 25 °C και αλατότητας 38.3 ‰ και β) ένα υποεπιφανειακό που εκτείνεται μέχρι τον πυθμένα, θερμοκρασίας 13.8 °C και αλατότητας 38.5 ‰, ενώ κατά τη χειμερινή περίοδο η υδάτινη στήλη ομογενοποιείται μέχρι τον πυθμένα (θερμοκρασία 12.6 °C και αλατότητα 38.5 ‰ λόγω της επίδρασης των ανέμων που πνέουν στην περιοχή από ανατολικές και δυτικές-νοτιοδυτικές διευθύνσεις (Χριστοδούλου, 2010)

Η ανεμογενής κυκλοφορία στον Πατραϊκό κόλπο παρουσιάζει στοιχεία ροής μεγάλης κλίμακας, με επιρροή από τη δύναμη Coriolis, ανάπτυξη στρώματος Ekman και ισχυρά ρεύματα επιστροφής, λίγα μέτρα κάτω από την ελεύθερη επιφάνεια. Στην οριζόντια διεύθυνση η ροή έχει στοιχεία που παρατηρούνται στις λίμνες, με έντονα παράκτια ρεύματα και κλίση της ελεύθερης επιφάνειας. Γενικά, η κυκλοφορία των υδάτων καθορίζεται από τα ισχυρά παράκτια ρεύματα που ακολουθούν τη διεύθυνση του ανέμου, ενώ φαίνεται ότι στα βαθύτερα στρώματα του Πατραϊκού η ανεμογενής ροή δεν επιδρά σημαντικά στην ανανέωση των υδάτων τα οποία παραμένουν εγκλωβισμένα και επανακυκλοφορούν μεταξύ των δύο εγκάρσιων ραχών (sills) που οριοθετούν την λεκάνη του Πατραϊκού κόλπου (Φουρνιώτης, 2009).

Το παλιρροιακό κύμα στον Πατραϊκό κόλπο είναι ημι-ημερήσιου τύπου, δηλαδή εμφανίζονται δύο πλήμμες και δύο ρηχίες την ημέρα οι οποίες έχουν περίπου το ίδιο ύψος. Το πλάτος των ημερήσιων συνιστωσών είναι συγκριτικά μικρότερο. Το μέσο παλιρροιακό εύρος είναι 16cm και αυξάνεται από τα δυτικά προς τα ανατολικά του κόλπου. Τα παλιρροιακά ρεύματα, σχηματίζουν στάσιμες ταλαντώσεις κατά μήκος του Πατραϊκού και το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα, οι ταχύτητες των ρευμάτων, κατά τη φάση της πλήμμης και της ρηχίας, να είναι μηδενικές. Ενώ, κατά τη διάρκεια της πλημμυρίδας και της αμπώτιδας, τα νερά εισέρχονται και εξέρχονται, αντίστοιχα, από τον κόλπο προς το Ιόνιο, ακολουθώντας μια ευθύγραμμη και περιοδικά εναλλασσόμενη (ανατολικά – δυτικά) ροή (Αχιλλεόπουλος, 1990).

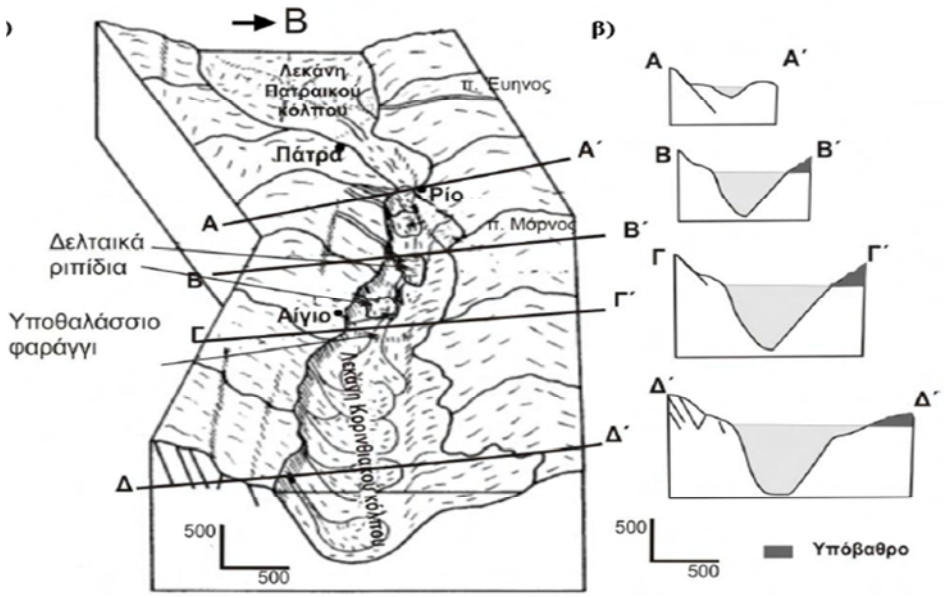
2.1.2 Κορινθιακός Κόλπος

Ο Κορινθιακός Κόλπος αποτελεί το υδάτινο όριο μεταξύ της Στερεάς Ελλάδας και της Πελοποννήσου. Το συνολικό του μήκος ξεπερνά τα 115 km, το πλάτος του κυμαίνεται από 5 έως και 30km περίπου και το βάθος του ξεπερνά τα 900m στο κέντρο του. Στα δυτικά επικοινωνεί με το Ιόνιο Πέλαγος μέσω του Πορθμού του Ρίου-Αντιρρίου και του ρηχότερου Πατραϊκού Κόλπου. Στα ανατολικά η τεχνητή διώρυγα του Ισθμού της Κορίνθου επιτρέπει από το 1893 την επικοινωνία του με τον Σαρωνικό Κόλπο (Χάρτης 7).



Χάρτης 7 Βυθομετρικός και τεκτονικός χάρτης του Κορινθιακού Κόλπου (Στεφάτος, 2005)

Ο Κορινθιακός Κόλπος, είναι μία σύνθετη ασύμμετρη τάφρος (Brooks and Ferentinos, 1984) που τόσο το νότιο όσο και το βόρειο περιθώριό της καθορίζεται από μια σειρά κλιμακωτών διευθετημένων υποθαλάσσιων ρηγμάτων που διευθύνονται περίπου παράλληλα προς τις ακτές. Η υποθαλάσσια μορφολογία χαρακτηρίζεται από τρεις φυσιογραφικές ενότητες: (i) την κρηπίδα, (ii) την κατωφέρεια (πλαγιά), η οποία σχετίζεται άμεσα με τα ρήγματα και (iii) το δάπεδο της λεκάνης ή αβυσσική πεδιάδα (Λυμπέρης et al., 1998). Στις περισσότερες περιοχές του Κορινθιακού η κρηπίδα απουσιάζει ή περιορίζεται σε πολύ μικρή απόσταση από την ακτή, μέχρι λίγες δεκάδες μέτρα. Στο νότιο περιθώριο η φυσιογραφική ενότητα της κρηπίδας είναι πιο φτωχά εκφρασμένη με απότομη κλίση σε σχέση με την μέτρια κλίση του υποθαλάσσιου πρανούς της βόρειας ακτής που αναπτύσσεται μπροστά από τη σχετικά εκτεταμένη κρηπίδα των εσωτερικών κόλπων (Σχήμα 8) (Ιατρού, 2013).



Σχήμα 8 α) Μορφολογικό σκαρίφημα του Πατραϊκού και Κορινθιακού Κόλπου που παρουσιάζει τα περιβάλλοντα απόθεσης. β) Βυθομετρικές τομές εγκάρσια στον Κορινθιακό Κόλπο που απεικονίζουν την γεωμετρία του (Ιατρού, 2013)

Στο δυτικό τμήμα του Κορινθιακού κόλπου, οι βόρειες ακτές της Πελοποννήσου χαρακτηρίζονται από κλιμακωτή - προς τα δεξιά - διάταξη. Το σχήμα της ακτογραμμής στην περιοχή αυτή, φαίνεται να ελέγχεται από την παρουσία τριών ρηγμάτων τα οποία χαρτογραφήθηκαν με τα ονόματα Βαλιμίτικα VAL, Διακοφτό (DIA) και, Ακράτα (AKR) (Stefatos et al., 2002). Η τεκτονική των ανωτέρων ρηγμάτων όχι μόνο επιδρά αλλά κυριαρχεί και στην παράκτια και υποθαλάσσια γεωμορφολογία, καθώς και στην μεταφορά και στην απόθεση ιζημάτων και στην κατανομή των ιζηματογενών φάσεων.

Σχεδόν σε ολόκληρη την υπό εξέταση παράκτια ζώνη εκβάλλουν μικρότερα ή μεγαλύτερα ποτάμια (όπως ο Σέλεμνος, Ξυλοκέρας και ο Βολιναίος) των οποίων οι κοίτες διέρχονται εγκάρσια από τις ως άνω ενεργές τεκτονικές ζώνες, είναι εποχικού χαρακτήρα και στις εκβολές τους χτίζουν χαλαρές δελταϊκές αποθέσεις. Ως αποτέλεσμα των τεκτονικών κινήσεων της εν λόγω περιοχής, είναι η συνεχής ανύψωση των βόρειων ακτών της Πελοποννήσου και κατά συνέπεια η έντονη κατά βάθος διάβρωση, η οποία συμβάλλει στη συνεχή τροφοδοσία των δελταϊκών περιοχών με υλικά προερχόμενα από αυτή. Έτσι, κατά μήκος της παράκτιας ζώνης εντοπίζονται αλλουβιακοί σχηματισμοί και σύγχρονες αποθέσεις χειμάρρων που αποτελούνται από αδρομερή υλικά όπως άμμοι και κροκαλολατύπες στις κοίτες των χειμάρρων, ενώ κατά θέσεις έχουν σχηματιστεί αναβαθμίδες μικρού πάχους. Οι αποθέσεις των παλαιών ακτών προοδευτικά υποχωρούν και καλύπτονται από προσχώσεις και υλικά προερχόμενα από την αποσάθρωση των γύρω σχηματισμών (Τσώκος, Α. et al., 2013)

Ο πυθμένας της λεκάνης του Κορινθιακού καλύπτεται από ιζήματα πάχους τουλάχιστον 1000m, μετά-Καλάβριας ηλικίας τα οποία συνίστανται από τουρβιδίτες με παρεμβολές ροών κορημάτων (debris flows) (Brooks and Ferentinos, 1984). Σε πολλές περιοχές του Κόλπου το μεγαλύτερο τμήμα της κύριας λεκάνης καλύπτεται από μάζες πρόσφατων ιζημάτων που έχουν αποκοπεί από το εξωτερικό τμήμα της πλατφόρμα και έχουν ολισθήσει κατά μήκος της κατωφέρειας προς τα βαθύτερα σημεία. Πρόκειται για σύνθετα κατολισθητικά φαινόμενα τα οποία δραστηριοποιούνται επεισοδιακά είτε λόγω σεισμικής διέγερσης είτε ασεισμικά. Η επαναλαμβανόμενη δράση των φαινομένων αυτών έχει οδηγήσει στην οπισθοχώρηση τοπικά του ορίου της ηπειρωτικής πλατφόρμας (κρηπίδα). Η συχνή εμφάνιση παλιρροιακών κυμάτων – τσουνάμις με σημαντικές καταστροφές στις ακτές του Δ. Κορινθιακού Κόλπου (373 π.Χ. Αρχαία Ελίκη, 551 μ.Χ. Ιτέα, 1402, 1748, 1817, 1861 Αιγιαλεία, 1963 Λόγγος-Λαμπίρη, 1/1/1996 Αιγιαλεία) οφείλεται στην δραστηριοποίηση των υποθαλάσσιων αυτών βαρυτικών μετακινήσεων (Παπανικολάου et al., 1997).

Η κυκλοφορία των νερών του Κορινθιακού χαρακτηρίζεται ως ασθενώς κυκλωνική και επηρεαζόμενη από το ανεμολογικό καθεστώς, όπου λόγω της ορεογραφίας οι συχνότεροι άνεμοι έχουν διεύθυνση ΝΔ/Δ και ΒΑ/Α Η ανταλλαγή μαζών μέσω του Στενού Ρίο-Αντιρρίου σχετίζεται με παλιρροϊκά ρεύματα που σε ταχύτητα φθάνουν το 1 m/s ενώ τα εισερχόμενα ύδατα, μέσω του στενού Ρίου-Αντιρρίου, συναντώνται με τα νερά του Κορινθιακού κόλπου στον Κόλπο της Ναυπάκτου από όπου μέρος αυτών φαίνεται να εξέρχονται προς τον Πατραϊκό από την πλευρά του Αντίρριου (Πούλος et al., 2009).

Οι ταχύτητες των ρευμάτων εξαρτώνται από την λεπτομερή διαμόρφωση της βαθυμετρίας στην περιοχή του στενού Ρίου-Αντιρρίου. Γενικά, σε όλο τον κόλπο η παλίρροια διαδίδεται αυξάνοντας προοδευτικά από το ανοικτό όριο του Ιονίου προς το στενό, όπου δημιουργείται μερική ανάκλαση οδηγώντας σε συνθήκες σχηματισμού στάσιμου κύματος, στη θέση δε του στενού παρατηρείται έντονη πτώση της στάθμης της ελεύθερης επιφάνειας, αναμενόμενη για (υδραυλικά) υποκρίσιμη ροή. Επιπλέον, η παλιρροϊκή ροή φαίνεται να προκαλεί ασθενή ρεύματα στις ακτές του κόλπου, ενώ ισχυρά παράκτια ρεύματα προκαλούνται κυρίως από ισχυρούς βορειοανατολικούς ή νοτιοδυτικούς ανέμους που πνέουν στην περιοχή. Έτσι, τα παλιρροϊκά ρεύματα καθορίζουν την κυκλοφορία των υδάτων στο κύριο σώμα του κόλπου και στο στενό Ρίου-Αντιρρίου, ενώ η ανεμογενής ροή είναι καθοριστική κοντά στις ακτές (Φουρνιώτης, 2009).

2.2 Χρήσεις γης

Ο «Καλλικρατικός» Δήμος Πατρέων με έδρα την Πάτρα, συστάθηκε με το «Πρόγραμμα Καλλικράτης» την 1η Ιανουαρίου 2011, από την συνένωση των προϋπαρχόντων «Καποδιστριακών» Δήμων: Ρίου, Πατρέων, Παραλίας, Βραχναίικων και Μεσσάτιδος (ο μόνος μη παραθαλάσσιος) που αποτελούν και τις ομώνυμες πλέον Δημοτικές Ενότητες (Χάρτης 8). Με συνολική έκταση 333.14 τ.χλμ. και μόνιμο πληθυσμό 213.984 κατοίκους (απογραφή 2011) (Πίνακας 6) αποτελεί τον τρίτο πληθυσμιακά μεγαλύτερο Δήμο της Ελλάδας.



Χάρτης 8 Καλλικρατικός Δήμος Πατρέων (από το αρχείο του Δ.Πατρέων – Συντάξας: Στέλιος Σ. Σταματίου-Κώνστας, Αγρονόμος Τοπογράφος Μηχανικός)

Η Πάτρα, ήταν η πρώτη ελληνική πόλη που απέκτησε οργανωμένο πολεοδομικό σχέδιο μετά την απελευθέρωση. Αναπτύχθηκε ως το υπ' αριθμόν ένα εξαγωγικό λιμάνι της χώρας και συνέδεσε τη νεότερη ιστορία της με την παραγωγή της σταφίδας, τη δυναμική πλην εκτεταμένη μεταποιητική δραστηριότητα και πάνω απ' όλα με το εμπόριο και τις υπηρεσίες. Η άναρχη επέκταση προς Βορρά, Νότο και Ανατολή δημιούργησε πολυάριθμους διαφοροποιημένους θύλακες αλλά τα όρια της πόλης γρήγορα κατέλαβαν τους περιμετρικούς οικισμούς που αποτελούσαν πια συνέχεια του θεσμοθετημένου οικιστικού ιστού. Ο

πολυπολιτισμικός της χαρακτήρας ανανεώθηκε κατά τα μέσα του 20ού αιώνα όταν καθιερώθηκε και ως τουριστικό πέρασμα και φοιτητούπολη. Σήμερα εμφανίζεται αποκομμένη από το θαλάσσιο μέτωπο που την καθόρισε, αναμένοντας τις κινήσεις του κράτους και των πολιτών (Παπαδάμ, 2013).

Πίνακας 6 Δομή Καλλικρατικού Δήμου Πατρέων (μόνιμος πληθυσμός, απογραφή 2011, Πηγή: Ελληνική Στατιστική Αρχή)

ΔΗΜΟΣ ΠΑΤΡΕΩΝ (Έδρα: Πάτραι, αι)	**213.984**
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΒΡΑΧΝΑΙΙΚΩΝ	**4.627**
Δημοτική Κοινότητα Βραχναίικων	**2.664**
Βραχναίικα,τα	2.571
Δρεσθενά,τα	0
Μοιραίικα,τα	93
Τοπική Κοινότητα Θεριανού	**133**
Θεριανόν,το	133
Τοπική Κοινότητα Καμινίων	**716**
Καμίνια,τα	716
Τοπική Κοινότητα Μονοδενδρίου	**721**
Μονοδένδριον,το	721
Τοπική Κοινότητα Τσουκαλαιίκων	**393**
Τσουκαλαίικα,τα	393
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΜΕΣΣΑΤΙΔΟΣ	**13.852**
Δημοτική Κοινότητα Οβριάς	**6.308**
Οβριά,η	6.308
Δημοτική Κοινότητα Σαραβαλίου	**4.202**
Άγιος Στέφανος,ο	335
Δεμένικα,τα	2.783
Κεφαλόβρυσον,το	233
Μπάκαρι,το	116
Σαραβάλιον,το	735
Τοπική Κοινότητα Θέας	**508**
Θέα,η	409
Λυγιαί,αι	55
Παυλόκαστρον,το	44
Τοπική Κοινότητα Καλλιθέας	**837**
Άνω Καλλιθέα,η	146
Καλλιθέα,η	691
Τοπική Κοινότητα Κρήνης Πατρών	**1.347**
Άγιος Κωνσταντίνος,ο	453
Κρήνη,η	888
Μονή Ομπλού,η	6
Τοπική Κοινότητα Κρυσταλλόβρυσης	**11**
Κρυσταλλόβρυση,η	11
Τοπική Κοινότητα Πετρωτού	**639**
Αγία Παρασκευή,η	13
Μαυρομανδήλα,η	462
Πετρωτόν,το	164
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΠΑΡΑΛΙΑΣ	**9.987**
Δημοτική Κοινότητα Παραλίας	**6.336**
Παραλία,η	6.336
Τοπική Κοινότητα Μιντιλογλίου	**2.363**

Μιντιλόγλιον,το	2.120
Χαντζηλιάκον,το	243
Τοπική Κοινότητα Ρογιτίκων	**1.288**
Ρογίτικα,τα	1.288
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΠΑΤΡΕΩΝ	**170.896**
Μπάλας,ο	264
Πάτραι,αι	167.446
Σκιόεσσα,η	626
Χάραδρον,το	110
Τοπική Κοινότητα Ελικίστρας	**1.538**
Ελικίστρα,η	275
Καρυά,η	457
Πουρναρόκαστρον,το	67
Ρυάκι,το	116
Ρωμανός,ο	623
Τοπική Κοινότητα Μοίρας	**65**
Γκοτσαίικα,τα	14
Μοίρα,η	51
Πηγή,η	0
Τοπική Κοινότητα Σουλίου	**847**
Άγιος Ιωάννης,ο	37
Κεφαλόβρυσον,το	9
Μιντζαίικα,τα	13
Νέον Σούλιον,το	756
Παναγιά,η	6
Προφήτης Ηλίας,ο	26
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΡΙΟΥ	**14.622**
Δημοτική Κοινότητα Αγίου Βασιλείου	**2.662**
Άγιος Βασίλειος,ο	2.662
Δημοτική Κοινότητα Ρίου	**5.252**
Ρίον,το	5.252
Τοπική Κοινότητα Ακταίου	**1.494**
Ακταίο,το	1.494
Τοπική Κοινότητα Άνω Καστριτσίου	**832**
Άνω Καστρίτσιον,το	832
Τοπική Κοινότητα Αραχοβιτίκων	**902**
Αραχοβίτικα,τα	305
Κάτω Αραχοβίτικα,τα	597
Τοπική Κοινότητα Αργυράς	**288**
Αργυρά,η	288
Τοπική Κοινότητα Δρεπάνου	**541**
Δρέπανον,το	541
Τοπική Κοινότητα Κάτω Καστριτσίου	**1.046**
Κάτω Καστρίτσιον,το	758
Μαγούλα,η	288
Τοπική Κοινότητα Πιτίτσης	**26**
Πιτίτσα,η	26
Τοπική Κοινότητα Πλατανίου	**481**
Πλατάνιον,το	481
Τοπική Κοινότητα Σελλών	**302**
Σελλά,τα	302
Τοπική Κοινότητα Ψαθοπύργου	**796**
Κάτω Ροδινή,η	133
Ψαθόπυργος,ο	663

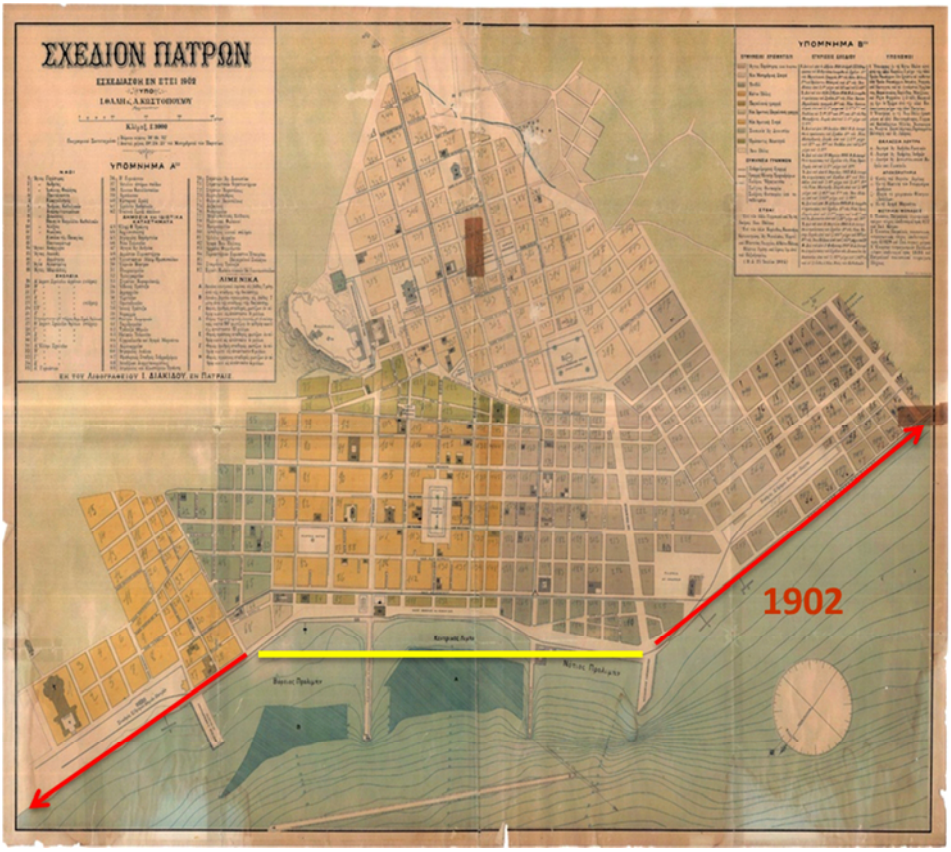
Η μεγαλύτερη ανάπτυξη Α’ κατοικίας εντοπίζεται στο πολεοδομικό συγκρότημα της Πάτρας. Οι ανάγκες του πολεοδομικού συγκροτήματος Πατρών σε Β’ κατοικία αναπτύσσονται τόσο στις παράκτιες περιοχές του Πατραϊκού όσο και του Κορινθιακού. Σχεδόν όλη η παράκτια ζώνη χαρακτηρίζεται από γραμμική ανάπτυξη παραθεριστικής κατοικίας και εσωτερικού τουρισμού (ΠΠΧΣΑΑ, ΠΔΕ, 2014) χωρίς όμως εξορθολογισμένο και ελεγχόμενο σχεδιασμό, με αποτέλεσμα την υποβάθμιση των παραλιακών περιοχών.

Η γεωργική γη είναι ανεπτυγμένη και εντατική στην παραθαλάσσια πεδινή ζώνη (εύπορη αγροτική γη με περιβόλια, ελιές, οπωροκηπευτικά και κτηνοτροφία μικρών ζώων). Έτσι, πολύ συχνά εκδηλώνονται συγκρούσεις χρήσεων γης τόσο λόγω της ανεξέλεγκτης ανάπτυξης και εποχικότητας του τουρισμού όσο και λόγω της ταχείας αστικοποίησης των παράκτιων ζωνών που εμφανίζουν εποχιακά υψηλή πληθυσμιακή συγκέντρωση.

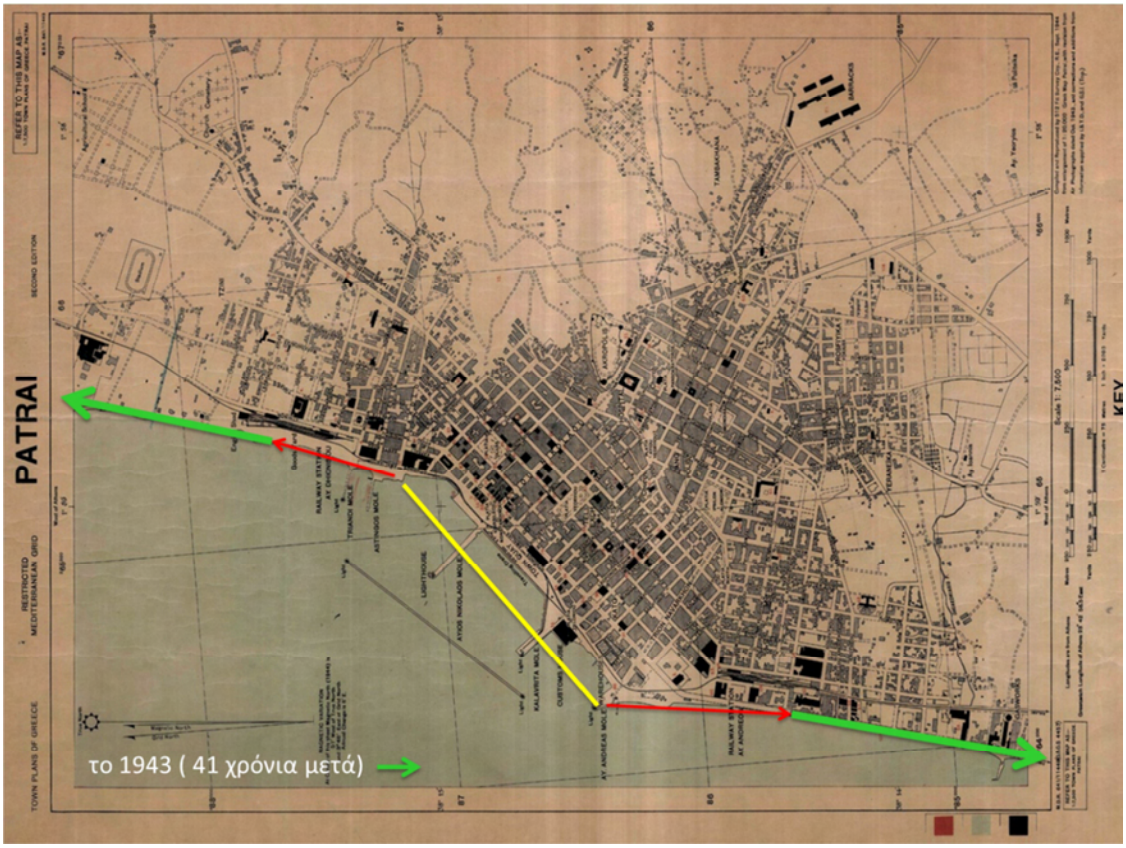
Ειδικότερα, η οικιστική παράκτια ανάπτυξη της πόλης της Πάτρας παρουσιάζεται στους επόμενους τρείς χάρτες (9, 10 & 11), οι οποίοι προέρχονται από την παρουσίαση του Λευκώματος «Χαρτών Μνήμες, Πάτρα 1831-1943», που επιμελήθηκαν η κ. Ελένη Αλεξοπούλου, Αγρονόμος Τοπογράφος Μηχανικός ως Γενική Διευθύντρια Έργων και Περιβάλλοντος και ο κ. Στέλιος Σταματίου-Κώνστας, Αγρονόμος Τοπογράφος Μηχανικός (Δ. Πατρέων).



Χάρτης 9 Χάρτης πόλης Πάτρας (1/3), έτους 1864

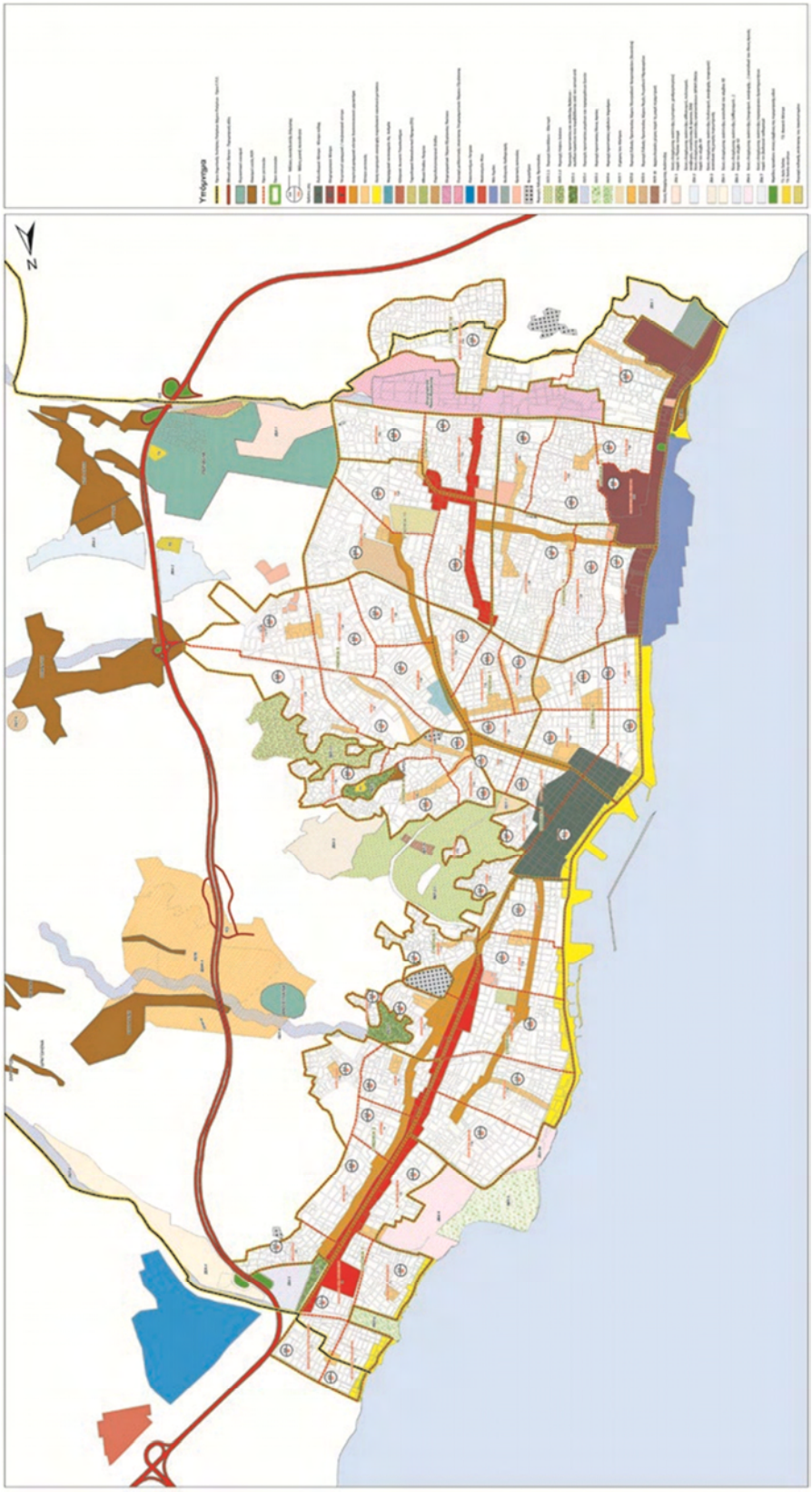


Χάρτης 10 Χάρτης πόλης Πάτρας (2/3), έτους 1902



Χάρτης 11 Χάρτης πόλης Πάτρας (3/3), έτους 1943

Το 2011 με την έγκριση του Γενικού Πολεοδομικού Σχεδίου της Δημοτικής Ενότητας Πατρέων (ΦΕΚ 358 τ.ΑΑΠΘ) θεσμοθετήθηκαν οι χρήσεις γης (Χάρτης 12).



Χάρτης 12 Γενικό Πολεοδομικό Σχέδιο Πάτρας

Χαρακτηριστική εικόνα στο παράκτιο τοπίο, προσδίδουν η σιδηροδρομική γραμμή και η εθνική οδός, παλιά και νέα. Τα εντοπισμένα προβλήματα (υποσκαφές και καθιζήσεις κρηπιδωμάτων, διάβρωση παραθαλάσσιας λωρίδας κλπ) στο παραλιακό οδικό δίκτυο και η αδυναμία επανάκτησης του φυσικού περιβάλλοντος, προσανατολίζουν τις τοπικές αρχές σε νέα εσπευσμένα έργα «σκληρής» θωράκισης, χωρίς να ακολουθούν ένα ολοκληρωμένο και βιώσιμο πλαίσιο διαχείρισης του παράκτιου χώρου.

Επίσης το Έλος της Αγυιάς (Εικόνα 2), στα βόρεια του κέντρου της πόλης των Πατρών αποτελεί τον μοναδικό υγρότοπο στην παράκτια ζώνη της περιοχής έρευνας. Αν και είναι ένα μικρό υδατικό οικοσύστημα, μόλις 30 εκταρίων, παρουσιάζει υψηλό επίπεδο βιοποικολότητας (με πάνω από 90 είδη πουλιών να έχουν παρατηρηθεί στην περιοχή ως τις αρχές της δεκαετίας του 1990, σύμφωνα με μια μελέτη του γραφείου Πάτρας της Ελληνικής Ορνιθολογικής Εταιρίας) και έχει βαρύνουσα σημασία για τη διαφύλαξη του κλίματος της περιοχής (ΠΠΧΣΑΑ, ΠΔΕ, 2014).

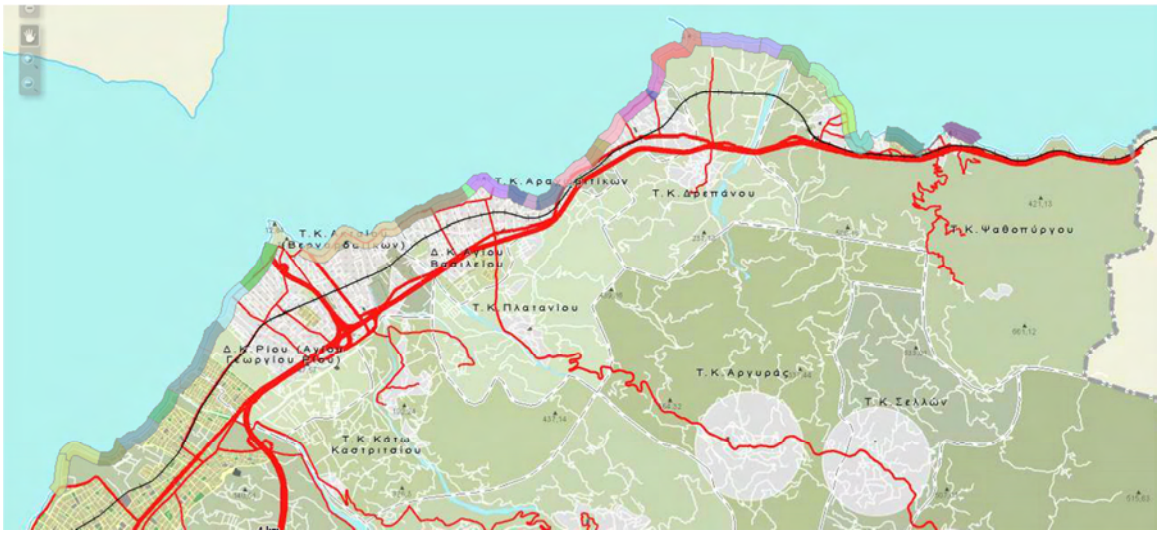


Εικόνα 2 Υγρότοπος Έλους Αγυιάς, Δήμου Πατρέων (*Πηγή: ΕΚΧΑ Α.Ε. και http://www.tripinview.com*)

Οι θέσεις στις οποίες έχει ήδη καθοριστεί ο Αιγιαλός και η Παραλία παρουσιάζονται σχηματικά (με έγχρωμες πεπλατυσμένες γραμμές) στις επόμενες εικόνες



Εικόνα 3 Αιγιαλός και Παραλία στις Δ.Κ. Βραχναίικων και Παραλίας



Εικόνα 4 Αιγιαλός και Παραλία στο 1ο Δημοτικό Διαμέρισμα Πατρέων και στις Δ.Κ. Ρίου και Αγ.Βασιλείου και στις Τ.Κ. Αραχοβιτίκων, Δρεπάνου και Ψαθόπυργου.

2.3 Ακτογραμμή

Το παράκτιο τοπίο του Δήμου Πατρέων εμφανίζει μικρό διαμελισμό και χαρακτηρίζεται από χαμηλές και ιζηματογενείς ακτές στον Πατραϊκό Κόλπο και από πιο απότομες και βραχώδεις ανυψωμένες παλαιο-ακτές στον Κορινθιακό. Οι ακτές της ζώνης αυτής, παρά τον μικρό διαμελισμό τους δημιουργούν ευπρόσιτες και δημοφιλείς παραλίες με πανομοιότυπα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά στοιχεία. Το τοπίο από την ακτή και μέχρι την ισοϋψή των 100μ. περίπου παρουσιάζει γενικά ήπιες κλίσεις με σύγχρονες προσχώσεις και κώνους κορημάτων (κροκάλες, χάλικες και άμμους).

Μετά την ισοϋψή των 400μ βρίσκεται το όρος Παναχαϊκό το οποίο αποτελείται κυρίως από ασβεστόλιθους, ραδιολαρίτες και φλύσχη της ζώνης Ωλονού-Πίνδου. Έχοντας υποστεί έντονη τεκτονική καταπόνηση (επωθήσεις, ζώνες διατμήσεως, τεκτονικά ρήγματα, πτυχώσεις και κατακλάσεις) είναι υποκείμενο σε αποσάθρωση, κατάρρευση (παγετούς, ολισθήσεις κλπ) και διάβρωση με συνέπεια την παραγωγή άφθονης ποσότητας φερτών υλών κυρίως κοκκωδών (κροκάλες, χάλικες, άμμοι) αποτιθέμενων στα ριπίδια κώνων μέχρι και τις παραλίες. Δεδομένου ότι οι βροχοπτώσεις στη δυτική Ελλάδα και ιδίως επί της οροσειράς της Πίνδου είναι έντονες και σημαντικές σε ύψος και διάρκεια η εκ του όρους Παναχαϊκού παραγωγή φερτών υλών είναι η κύρια πηγή τροφοδοσίας των διεργασιών κατά μήκος των ακτών στην περιοχή του ακρωτηρίου Ρίου μέχρι τις ακτές του Ψαθοπύργου και της Ροδινής (κινούμενη παράλιος στερεοπαροχή, απόθεση, διάβρωση κλπ). Το ακρωτήριο Ρίου εμφανίζεται βόρεια του ομώνυμου Δημοτικού Διαμερίσματος ενώ ένα άλλο ακρωτήριο που εμφανίζεται στην περιοχή μελέτης είναι το Ακρωτήριο Δρεπάνου βόρεια του ομώνυμου Δημοτικού Διαμερίσματος. Ο ποταμός Χάραδρος δέχεται πιέσεις που αξιολογούνται ως υψηλής έντασης. Οι αμμοληψίες αποτελούν σοβαρή υδρομορφολογική αλλοίωση για τον ποταμό η οποία επηρεάζει τόσο βιοτικές όσο και αβιοτικές παραμέτρους και παράλληλα διαταράσσεται η δίαιτα των ιζημάτων στο παράκτιο σύστημα (Μωραΐτη, 2015)

Η διάβρωση πολλών περιοχών έχει ξεκινήσει εδώ και 30 χρόνια περίπου τότε που έγιναν μεγάλα έργα στον Ν.Αχαΐας (π.χ. αυτοκινητόδρομος Πατρών-Αθηνών). Χρησιμοποιήθηκαν ανεξέλεγκτα, τόνοι φερτών υλικών από τα ποτάμια της περιοχής (για γέφυρες, τοιχεία, άσφαλτο, επιχώματα κλπ). Ταυτόχρονα ξεκίνησε και η ανοικοδόμηση πολλών παράκτιων περιοχών οπότε και προμηθεύονταν πρώτες ύλες από τα λατομεία που λειτουργούσαν μέσα στα ποτάμια ή και από τις ακτές. Αλλά και η κατασκευή έργων μέσα στα ποτάμια (π.χ. κολώνες από γέφυρες), φράγματα και η διευθέτηση των ποταμών έδρασαν

και δρουν συνεργατικά προς όφελος της διάβρωσης. Δυστυχώς όμως μόνο κατά την τελευταία δεκαετία έχει γίνει προφανές ότι σε πολλές περιοχές το φαινόμενο έχει φτάσει στο τελευταίο στάδιο και προκαλεί καταστροφές σε περιουσίες, σε παράκτιους δρόμους και δημόσιες αλλά και ιδιόκτητες υποδομές (ΤΕΕ/ΔΕ, 2010) αναδεικνύοντας παράλληλα και το πρόβλημα της υπέρβασης της φέρουσας ικανότητας της παράκτιας ζώνης.

Όπως έχει επισημανθεί και στην έκθεση του ΤΕΕ (2010), πρόσθετες αιτίες εμφάνισης φαινομένων «τοπικής» διάβρωσης είναι οι έντονες αμμοληψίες από ακτές και τις ανάντη υδάτινες οδούς και ο άστοχος σχεδιασμός και οι υπερβολές των παράκτιων κατασκευών, οι οποίοι οδηγούν σε ποικιλία φαινομένων όπως: διάθλαση / ανάκλαση κυματισμών (π.χ. κατακόρυφα τοιχεία δίπλα στην παραλία), διακοπή στερεομεταφοράς (π.χ. αλιευτικά καταφύγια – λιμάνια, θαλάσσιοι πρόβολοι), κατασκευή έργων υποδομής κοντά στις ακτές, όπως οδικοί άξονες (τα οποία είτε καταστρέφουν είτε επηρεάζουν αρνητικά το ευαίσθητο σύστημα των αμμοθινών είτε μειώνουν το μήκος της ενεργής παραλίας), κατασκευή οικημάτων και ξενοδοχειακών μονάδων σε μικρή απόσταση από την ακτή (επηρεάζεται η ισορροπία του μηχανισμού της παραλίας, αφού μειώνεται το ενεργό πλάτος) (ΤΕΕ/ΔΕ, 2010). Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα τεχνικού έργου που δημιούργησε, κατάντη αυτού, περιοχή με ιδιαίτερη τρωτότητα λόγω διάβρωσης βρίσκεται στην ακτή του Ρίου. Η ακτή αυτή χωροθετείται μεταξύ των εκβολών δύο χειμάρρων, του Σέλεμνου στα ανατολικά και του Χάραδρου στα δυτικά (κύριες πηγές τροφοδοσίας ιζήματος) και μέχρι το 1985 περίπου ήταν ενιαία σε όλο της το μήκος. Η κατασκευή προβλήτας σχήματος Τ, προ του ξενοδοχείου Porto Rio το 1986 (τότε « ΑΒΕΡΩΦ»), διαμόρφωσε δύο επιμέρους τμήματα, το δυτικό, από το Porto Rio μέχρι τον Καστελλόκαμπο (ξενοδοχείο Achaia Beach) και το ανατολικό, από το Porto Rio μέχρι το Κάστρο (Ακρ.Ρίου) (ΤΕΕ/ΔΕ, 2010) (Εικόνα 5).



Εικόνα 5 Αεροφωτογραφίες έτους 1979 (αριστερά) και 1994 (δεξιά) με τα δύο επιμέρους τμήματα στην Ακτή Ρίου (Porto Rio Hotel)

Μετά την κατασκευή και σε σύντομο χρονικό διάστημα στα δυτικά της προβλήτας παρατηρείται προέλαση της ακτογραμμής ενώ στα ανατολικά αυτής υποχώρηση, η οποία οδήγησε σταδιακά έως σήμερα σε εντονότατα προβλήματα διάβρωσης, υποσκαφής των παράκτιων κατασκευών (τοιχείων) και ολική καταστροφή τμημάτων του παραλιακού δρόμου. Αρνητική συμπεριφορά με τύπο μονόπλευρης διάβρωσης έδειξε και η ζώνη δυτικά του αλιευτικού καταφυγίου στα Αραχωβίτικα.

Επίσης σε όσες θέσεις έγινε προσπάθεια «ελέγχου» της ακτογραμμής με κατασκευή τοιχείων αντιστήριξης (από σκυρόδεμα) των παραλιακών οδών, αποδείχθηκε ότι αυτά τροποποίησαν τη γωνία πρόσπτωσης των κυματισμών άρα και το κυματογενές ρεύμα κατά μήκος της ακτής και την αντίστοιχη στερεομεταφορά. Το αποτέλεσμα που παρατηρείται πλέον σήμερα είναι η έντονη υποσκαφή αυτών των κατασκευών και η διαφυγή των υλικών θεμελίωσής τους με αρνητικές συνέπειες για την ευστάθειά τους και περαιτέρω απειλή για την διάβρωση των παράκτιων εδαφών.

Τα ανωτέρω παραδείγματα αναφέρθηκαν ενδεικτικά διότι η αναλυτική καταγραφή και ερμηνεία των τοπικών προβλημάτων διάβρωσης της παράκτιας ζώνης του Δ. Πατρέων δεν αποτελεί αντικείμενο της παρούσας μελέτης.

3

Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία που υιοθετήθηκε για την παρούσα μελέτη συνίσταται από τρεις κύριες φάσεις:

- **Α' Φάση**: προετοιμασία και προεπεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων. Αυτή η φάση περιλαμβάνει τη διαδικασία συλλογής της γεωπληροφορίας (αεροφωτογραφίες & ψηφιακοί ορθοφωτοχάρτες), την ψηφιακή αποτύπωση με χρήση σαρωτή *(scanning)* και τη γεωαναφορά (georeferencing) των αναλογικών αεροφωτογραφιών σε κοινό προβολικό σύστημα καθώς και την κατασκευή ενός ψηφιακού μωσαϊκού (ορθοδιορθωμένο σύνολο) για κάθε έτος λήψης (χρονοσειρά)

- **Β' Φάση**: ψηφιοποίηση (digitization) της ακτογραμμής σε περιβάλλον GIS

- **Γ' Φάση**: προσδιορισμός του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής κατόπιν επιλογής μοντέλου και μεθόδου επίλυσης και παραγωγή τελικών διαγραμμάτων, στατιστικών πινάκων & χαρτών.

3.1 Προετοιμασία και προεπεξεργασία δεδομένων

Η συλλογή της γεωπληροφορίας έγινε:

1ον από την Υπηρεσία Θέασης Ορθοφωτογραφιών της ΕΚΧΑ Α.Ε. (Εθνικό Κτηματολόγιο & Χαρτογράφηση Α.Ε.) (http://gis.ktimanet.gr/wms/ktbasemap/default.aspx) για τα έτη 1945 και 2008 και

2ον από πέντε (5) ενδιάμεσες σειρές ιστορικών αεροφωτογραφιών της ΓΥΣ (Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού) σε αναλογική μορφή, χωρικής διακριτικής ικανότητας 1μ.:

	Έτος λήψης	Κλίμακα	Τεμάχια
1.	1960	1:15.000 & 1:30.000	(6)
2.	1979	1:15.000	(10)
3.	1987	1:35.000 & 1:40.000	(6)
4.	1994	1:15.000 & 1:18.000	(11)
5.	2002	1:20.000	(9)

Η απόκτηση των αναλογικών αεροφωτογραφιών κάθετης λήψης, έγινε διαμέσου του ηλεκτρονικού καταστήματος iStore της ΓΥΣ, αφού πρώτα από το Γεω-Ευρετήριο (http://web.gys.gr/GeoSearch/), εντοπίστηκε η περιοχή μελέτης και επιλέχθηκαν ως γεωγραφικό υλικό οι αεροφωτογραφίες της. Η διαδικασία αναζήτησης, καταλογοποίησης των εγγραφών (ανά έτος) και τοποθέτησης της ηλεκτρονικής παραγγελίας για τις ανωτέρω χρονοσειρές ήταν απογοητευτικά χρονοβόρα λόγω του αργού και δύσχρηστου συστήματος της εν λόγω ιστοσελίδας.

Στη συνέχεια, καθεμία αναλογική ασπρόμαυρη αεροφωτογραφία (24cm x 24cm) σαρώθηκε σε επίπεδο σαρωτή (flatbed scanner) μεγέθους Α3 (ολική σάρωση) σε ανάλυση (resolution) 600 dpi (dots per inch), χρωματικό βάθος 8 bit και 256 διαβαθμίσεις του γκρι (grayscale) και αποθηκεύτηκε σε ψηφιακή μορφή (raster) είτε ως .tiff (συμπίεση χωρίς απώλεια πληροφορίας) είτε ως .jpg (λόγω μεγέθους), ανά έτος λήψης και θέση. Με το ArcGis 9.3 εξήχθησαν σε μορφή .img ώστε να ακολουθήσει η φωτογραμμετρική τους επεξεργασία στο λογισμικό ERDAS Imagine 10.0.

Μετά την ψηφιακή τους αρχειοθέτηση, η μέτρια αρχική ποιότητα (φωτισμός και χαμηλή αντίθεση) ορισμένων αναλογικών αεροφωτογραφιών (π.χ. έτους 1960) επέβαλε την ψηφιακή τους επεξεργασία με το λογισμικό Adobe Photoshop CS (histogram equalization, brightness/contrast, sharpen>unsharp mask κλπ) η οποία βελτίωσε τα φωτομετρικά χαρακτηριστικά τους.

Από την Υπηρεσία Θέασης Ορθοφωτογραφιών της ΕΚΧΑ Α.Ε. είναι αυτονόητο ότι δεν απαιτήθηκε καμία προ-επεξεργασία, αφού οι αεροφωτογραφίες έχουν ήδη υποστεί ψηφιακή φωτογραμμετρική αναγωγή και παρέχονται ως ορθο-φωτομωσαϊκά.

Ακολούθησε η γεωμετρική τους διόρθωσή[6] (ορθοαναγωγή). Τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την ορθοαναγωγή των αεροφωτογραφιών, με το φωτογραμμετρικό λογισμικό ERDAS Imagine 10.0, είναι τα εξής:

- Βήμα 1ο Επιλογή κοινού προβολικού συστήματος (ΕΓΣΑ ’87) και εισαγωγή γνωστού ψηφιακού υψομετρικού μοντέλου[7] (Digital Elevation Model - DEM) χωρικής ανάλυσης 10m/pixel (για τη διόρθωση από παραμορφώσεις λόγω αναγλύφου).
- Βήμα 2ο Εντοπισμός σημείων αναφοράς (φυσικά σημεία με τοπογραφική πληροφορία) από την υπηρεσία θέασης της ΕΚΧΑ Α.Ε. με γνωστές συντεταγμένες (Ground Control Points - GCPs) και αντιστοίχιση τους στην αεροφωτογραφία (ομόλογα σημεία) (Εικόνα 6)
- Βήμα 3ο Επίλυση του γεωμετρικού μοντέλου με άμεσο γραμμικό μετασχηματισμό DLT (Direct Linear Transform)
- Βήμα 4ο Έλεγχος ακρίβειας (accuracy) ορθοαναγωγής

---

[6] *Ως Γεωαναφορά (Georeference) ορίζεται ως η διαδικασία κατά την οποία προσδίδονται πραγματικές γεωγραφικές συντεταγμένες επιθυμητού συστήματος αναφοράς συντεταγμένων σε μία ψηφιακή εικόνα που έχει προέλθει από σάρωση ενός αναλογικού χάρτη ή μίας αεροφωτογραφίας σε συσκευή σαρωτή (scanner.) Η διαδικασία γεωμετρικής διόρθωσης που περιλαμβάνει και τη διόρθωση της επίδρασης του αναγλύφου ονομάζεται Ορθοαναγωγή (Orthorectification).*

[7] *Ως ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο (Digital Elevation Model – DEM) ορίζεται το σύνολο διακριτών σημείων με γνωστή οριζοντιογραφική θέση και γνωστό υψόμετρο (υψομετρικά σημεία) τα οποία συνθέτουν το ανάγλυφο της επιφάνειας του εδάφους.*

- Βήμα 5^{ο} Επανασύσταση εικόνας (resampling) με τη μέθοδο Nearest Neighbor

Δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή και επιμέλεια όσον αφορά την επιλογή των εδαφικών σημείων ελέγχου (GCPs). Έπρεπε να εντοπιστούν και να επιλεγούν σημεία μοναδικά, εύκολα αναγνωρίσιμα και ευκρινή (με υψηλή αντίθεση τόνου με το γύρω περιβάλλον), που δεν άλλαξαν στο χρονικό διάστημα που μεσολάβησε ανάμεσα στις λήψεις των αεροφωτογραφιών, με καλή κατανομή (διασπορά) σε όλη την έκταση της ελεγχόμενης περιοχής (αποφεύγοντας να συμπέσουν στα άκρα της αεροφωτογραφίας όπου εκεί υπάρχει μεγάλη παραμόρφωση), σε όσο το δυνατόν διαφορετικές υψομετρικές θέσεις (οπτική αναγνώριση και επιβεβαίωση από το DEM) και σε ικανοποιητικό αριθμό αναλόγως της μεθόδου μετασχηματισμού συντεταγμένων που θα επιλεγόταν.

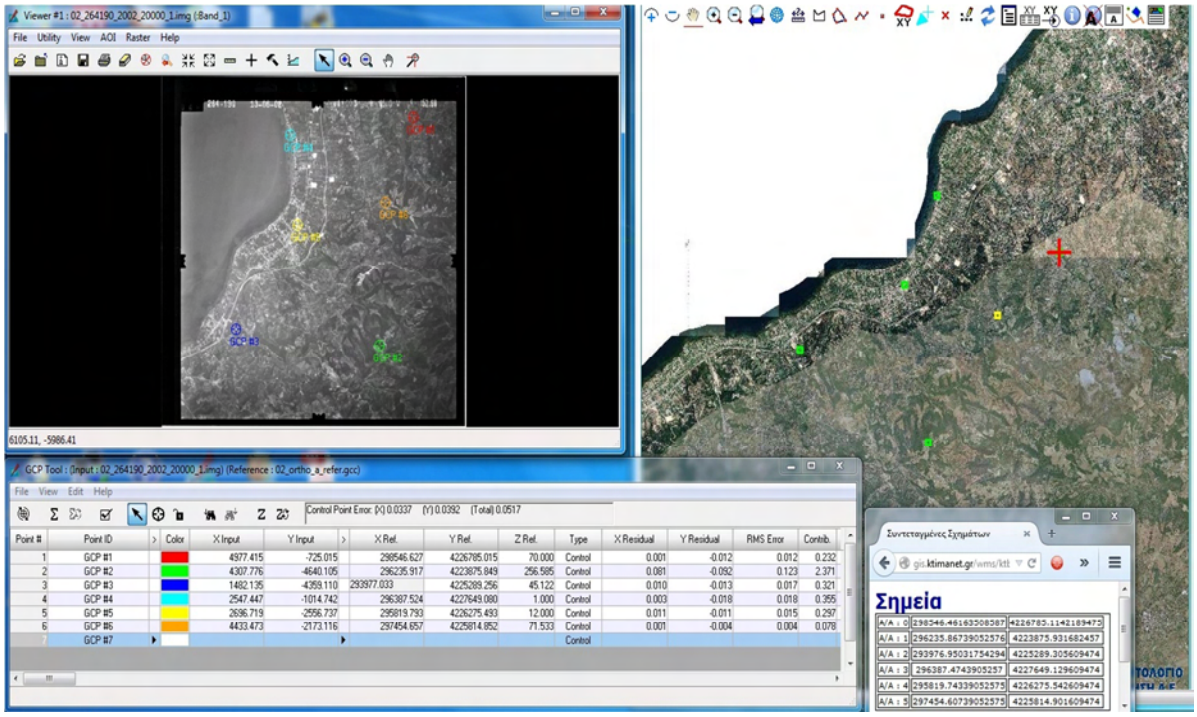
Σε δομημένο περιβάλλον (αστικό, περιαστικό) τα σημεία ορόσημα είχαν σχετική ευκολία στην ταυτοποίησή τους (γωνίες χαμηλών κτιρίων, φράκτες, πεζοδρόμια, εκκλησίες, νεκροταφεία, κλπ) ενώ στις μη δομημένες περιοχές (αγροτικές, ορεινές) επιλέχθηκαν διαφορετικού τύπου GCPs, όπως αξονο-διασταυρώσεις (με γωνία όσο το δυνατόν πιο κοντά στις 90^{ο} – Σχήμα 9) γραμμικών τοπογραφικών στοιχείων π.χ. δρόμοι, ποτάμια, σιδηροδρομικές γραμμές, γεφύρια κλπ είτε και σημειακά στοιχεία, όπως κέντρα μεμονωμένων δέντρων ή συστάδες θάμνων (Hughes et al., 2006).



Σχήμα 9 (a)Βέλτιστη και (b) Μη-βέλτιστη επιλογή εδαφικού σημείου ελέγχου (McWilliam et al., 2005)

Ως πηγή αναφοράς (από την οποία αντλήθηκαν οι συντεταγμένες των ομόλογων σημείων) χρησιμοποιήθηκε η Υπηρεσία Θέασης της ΕΚΧΑ Α.Ε. (σύγχρονες ορθοφωτογραφίες). Για την αποφυγή σφαλμάτων στην πληκτρολόγηση, έγινε αντιγραφή και

επικόλληση (στο ERDAS) των συντεταγμένων (Xref, Ψref) κάθε σημείου από τον πίνακα συντεταγμένων που παρέχει η εν λόγω Υπηρεσία[8].



Εικόνα 6 Γεωαναφορά αεροφωτογραφίας στο ERDAS Imagine v.10.0

Ο εντοπισμός τους παρουσίασε αρκετές δυσκολίες, καθώς η περίοδος έρευνας αφορά διάστημα 63 ετών, κατά τη διάρκεια του οποίου σημειώθηκαν σημαντικές αλλαγές. Επειδή η ακρίβεια μέτρησης των γεωδαιτικών συντεταγμένων αλλά και των εικονο-συντεταγμένων στις ψηφιακές αεροφωτογραφίες επηρεάζει την ακρίβεια των φωτογραμμετρικών διαδικασιών και προϊόντων, καθώς είναι η μόνη πληροφορία που συνδέει τις αεροφωτογραφίες με το αντικείμενο, είναι πρωτίστης σημασίας. Έτσι έγιναν επαναληπτικές δοκιμές, χρησιμοποιώντας διαφορετικό αριθμό και διαφορετικούς συνδυασμούς GCPs κάθε φορά, ώστε να προκύψει ικανοποιητική ακρίβεια γεωαναφοράς. Εκτός από τα απαραίτητα

[8] *Δημιουργία σημείου (με ορισμό σημείου γραφικά)* ⇨ *Εμφάνιση όλων των ψηφιοποιηθέντων σχημάτων* ⇨ *Στο νέο παράθυρο που ανοίγει με τίτλο "Συντεταγμένες σχημάτων", οι συντεταγμένες του τελευταίου σημείου, συμπληρώνονται αυτόματα στο κατώτερο μέρος του πίνακα οπότε και είναι εφικτή η αντιγραφή τους προς επικόλληση (copy & paste) μηδενίζοντας έτσι σφάλματα λόγω πληκτρολόγησης.*

GCPs για την εφαρμογή της μεθόδου, εντοπίστηκαν και επιπλέον σημεία για επαλήθευση των αποτελεσμάτων της διόρθωσης.

Η μέθοδος μετασχηματισμού συντεταγμένων που επιλέχθηκε στη συνέχεια, για την μετάβαση από το χώρο των δύο, στο χώρο των τριών διαστάσεων δηλ. για την μεταφορά των συντεταγμένων εδάφους (X, Y, Z) στις συντεταγμένες της εικόνας (x,y), ήταν ο άμεσος γραμμικός μετασχηματισμός (Direct Linear Transform - DLT) για τον οποίο απαιτούνται τουλάχιστον έξι (6) μη συνεπίπεδα σημεία με γνωστές συντεταγμένες και υψόμετρο χωρίς να είναι απαραίτητη η γνώση στοιχείων εσωτερικού προσανατολισμού. Έχει δε αξιολογηθεί ότι παρέχει μεγάλη γεωμετρική ποιότητα στην ορθοαναγωγή ιστορικών αεροφωτογραφιών) (Ma and Buchwald, 2012).

Κατά τον γεωμετρικό μετασχηματισμό, προκαλείται σφάλμα «θέσης» το οποίο οφείλεται στην προσπάθεια επανατοποθέτησης των GCPs στην διορθωμένη εικόνα. Το ποσοστό επιτυχίας του μετασχηματισμού ελέγχεται βάσει αυτού του σφάλματος, με σύγκριση των συντεταγμένων των πραγματικών τοποθεσιών με τις συντεταγμένες των μετασχηματισμένων τοποθεσιών της εικόνας. Η σύγκριση γίνεται με τον μαθηματικό υπολογισμό του Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος (Root Mean Square – RMS Error[9]) των GCPs. Το λογισμικό ERDAS Imagine δίνει τη δυνατότητα να ελέγχεται καθ' όλη τη διαδικασία, τόσο το υπολειμματικό σφάλμα[10] (residual error) έκαστου σημείου όσο και το συνολικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα (Total RMS Error) (Bull, 2014). Το σφάλμα αυτό, είναι

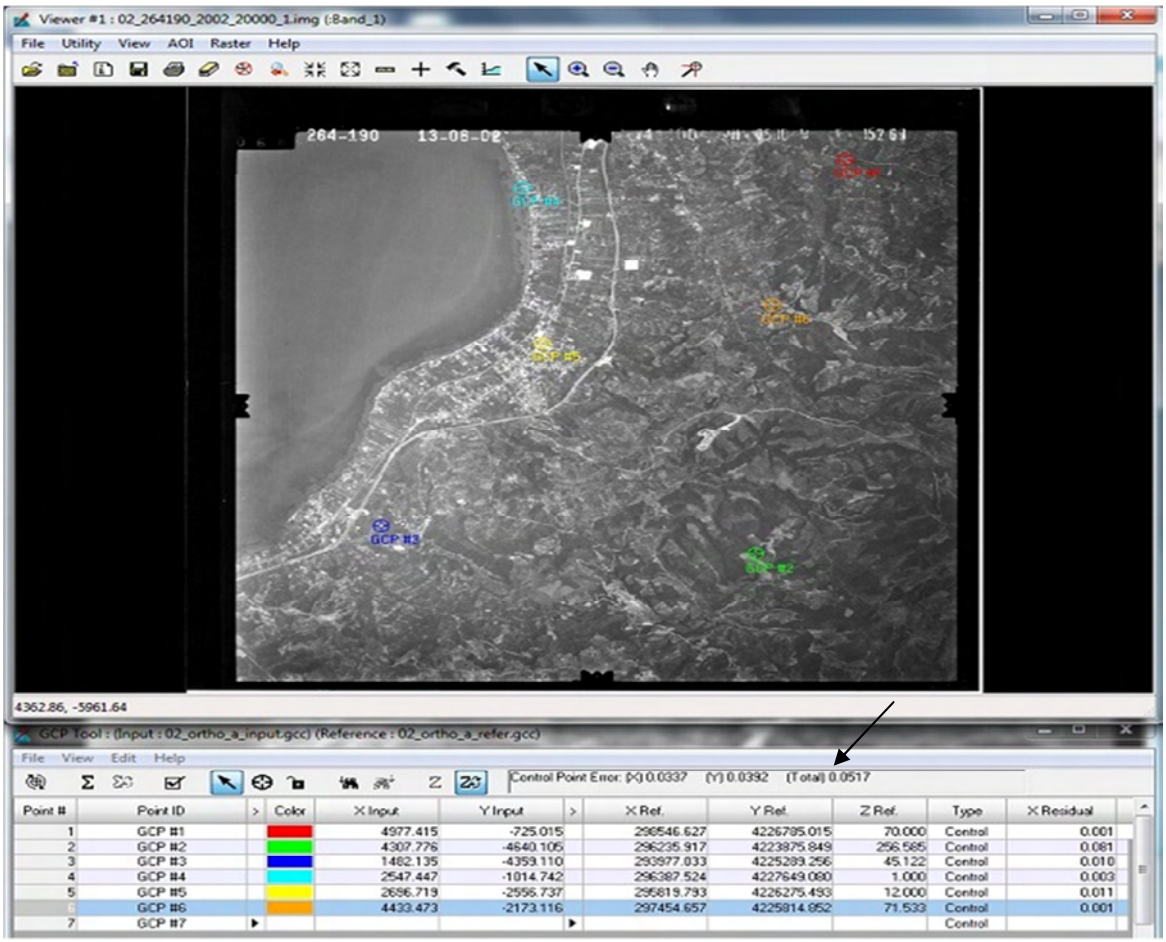
---

[9] *Υπολογίζεται (στηριζόμενο στο Πυθαγόρειο Θεώρημα) ως η τετραγωνική ρίζα του μέσου αθροίσματος των διαφορών των πραγματικών θέσεων των γνωστών σημείων, από τις θέσεις που έχουν μετά την αναγωγή και υπολογίζεται από την εξίσωση* ***RMSE*** $\sqrt{(x_r - x_i)^2 + (y_r - y_i)^2}$ *όπου:* ***xi*** *και* ***yi*** *είναι οι συντεταγμένες των προς διόρθωση σημείων και* ***xr*** *και* ***yr*** *είναι οι μετασχηματισμένες συντεταγμένες (διορθωμένων σημείων) και το* ***Total RMSE*** *υπολογίζεται από την εξίσωση* $\sqrt{\sum_{1}^{n} \frac{(X_i - x_i)^2 + (Y_i - y_i)^2}{n-1}}$ *δηλ. ως η τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος των τετραγώνων των διαφορών των συντεταγμένων διαιρημένου με το πλήθος των σημείων*

[10] *Το υπολειμματικό σφάλμα αποδίδει τη διαφορά μεταξύ της θέσης (εικονο-συντεταγμένες) που δηλώθηκε ένα συγκεκριμένο GCP σε μια συγκεκριμένη εικόνα, και της θέσης που υπολογίζει γι' αυτό το σημείο, το μοντέλο, μέσω της τεχνικής συνόρθωσης την οποία χρησιμοποιεί.*

ένας χρήσιμος δείκτης για την ποιότητα του μετασχηματισμού, χωρίς να είναι απόλυτα ισοδύναμος της ακρίβειας της διορθωμένης θέσης (Hughes et al., 2006) και η εμπειρία προτείνει να κυμαίνεται μεταξύ 0.5-1.0 του μεγέθους του pixel. Η ακρίβεια του μετασχηματισμού, σε κάθε περίπτωση, εξαρτάται κυρίως από την ομοιογενή κατανομή των CPs στην εικόνα και τον αριθμό τους αλλά και από την ποιότητα της εικόνας, την ανάλυση σάρωσης και την σωστή αναγνώριση των σημείων από τον χρήστη.

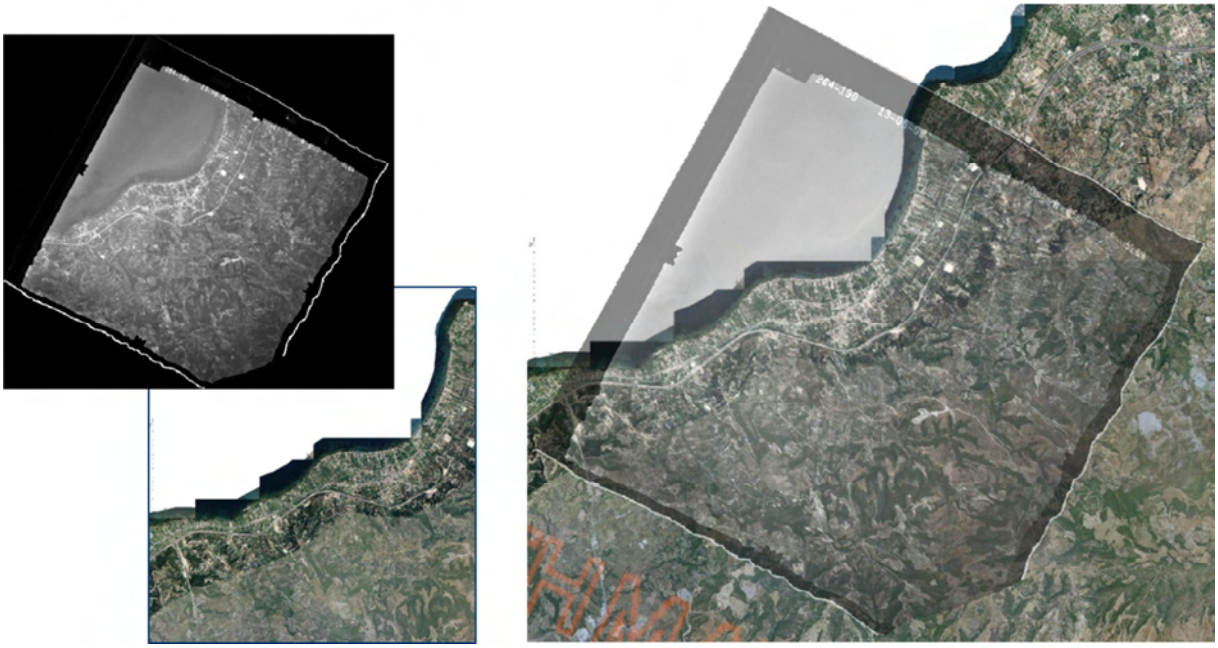
Στην παρούσα έρευνα, σε όσες περιπτώσεις το συνολικό RMS υπερέβαινε το ένα (1) pixel, καταρχήν ελέγχονταν εκ νέου όσα GCPs προκαλούσαν το μεγαλύτερο σφάλμα και εφόσον παρουσίαζαν ασάφεια και δεν επιδέχονταν βελτίωση θέσης, διαγράφονταν και επαναλαμβανόταν η διαδικασία ανεύρεσης και αντιστοιχίας νέων, εναλλακτικών GCPs ώσπου να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή ταύτιση. Έτσι, η ολική μέση τιμή τετραγωνικού σφάλματος (Total RMS Error) η οποία έγινε τελικά αποδεκτή για κάθε αεροφωτογραφία ήταν <1px (ελάχιστο δυνατό σφάλμα) (Εικόνα 7).



Εικόνα 7 Έλεγχος Total RMS Error (στο συγκεκριμένο παράδειγμα 0,0517)

Κατόπιν, κατά τη διαδικασία της επανασύστασης της εικόνας (resampling), της απόδοσης δηλαδή σε κάθε εικονοστοιχείο (pixel) του κανάβου μιας τιμής φωτεινότητας, επιλέχθηκε ως μέθοδος παρεμβολής (interpolation) η μέθοδος του πλησιέστερου γειτονικού σημείου (nearest neighbor) σύμφωνα με την οποία αποδίδεται στο νέο εικονοστοιχείο της ανορθωμένης εικόνας, η ψηφιακή τιμή του πλησιέστερου εικονοστοιχείου της αρχικής εικόνας. Είναι η πιο γρήγορη υπολογιστικά μέθοδος και δεν μεταβάλλει τις ψηφιακές τιμές της αρχικής εικόνας, στοιχείο σημαντικό σε θεματικές έρευνες (θάλασσα, ακτογραμμή, κ.α.).

Ο γεωμετρικός μετασχηματισμός των εικονοστοιχείων και η διαδικασία της αναδόμησης, γίνονται αυτοματοποιημένα από το λογισμικό ERDAS Imagine, υπό την προϋπόθεση να έχουν επιλεγεί από τον μελετητή οι επιθυμητοί μέθοδοι και παράμετροι (Εικόνα 8). Η ορθοαναγωγή των αεροφωτογραφιών, είναι απαιτητική και χρονοβόρα διαδικασία ιδίως όταν τα πρωτογενή δεδομένα είναι κακής ποιότητας π.χ. αεροφωτογραφίες έτους 1960. Βέβαια οι στρεβλώσεις και οι υψομετρικές αποκλίσεις των ορθοανηγμένων αεροφωτογραφιών είναι αμελητέες διότι μελετάται η μεταβολή της ακτογραμμής η οποία έχει υψόμετρο μηδέν και η ενδοχώρα που ακολουθεί έχει σχετικά μικρές κλίσεις.



Εικόνα 8 Τελικό αποτέλεσμα γεωαναφερμένης αεροφωτογραφίας

Για την ολοκλήρωση του πρώτου σταδίου της προετοιμασίας και προεπεξεργασίας των δεδομένων, δημιουργήθηκαν με το ERDAS Mosaic Pro, για κάθε ορθοδιορθωμένο

σύνολο (χρονοσειρά) αεροφωτογραφιών, τα αντίστοιχα φωτομωσαϊκά[11], ένα για κάθε χρόνο παρατήρησης (με μέγεθος εικονοψηφίδας στο έδαφος 1μ) (Εικόνα 9).



Εικόνα 9 Ορθοδιορθωμένο σύνολο χρονοσειράς (mosaic) μετά το ERDAS Mosaic Pro

[11] *Στην ψηφιακή παραγωγή ορθο-φωτομωσαϊκού ο έλεγχος των εικόνων, η γεωγραφική αναφορά, η προσαρμογή και η ταύτιση είναι όλα ενσωματωμένα σε ένα «βήμα», κατά το οποίο οι εικόνες εντάσσονται («γεωαναφέρονται») σε κοινό σύστημα συντεταγμένων.*

3.2 Ψηφιοποίηση ακτογραμμών

Ο προσδιορισμός της ακτογραμμής περιλαμβάνει δύο στάδια. Το πρώτο απαιτεί την επιλογή και τον ορισμό ενός δείκτη αντιπροσώπευσης της ακτογραμμής που θα λειτουργεί ως «υποκατάστατο» για τη διεπαφή θάλασσας-στεριάς. Το δεύτερο στάδιο της ταυτοποίησης της ακτογραμμής περιλαμβάνει την ανίχνευση του επιλεγμένου δείκτη εντός του διαθέσιμου υλικού δεδομένων. Τόσο η τεχνική για τον προσδιορισμό της θέσης της ακτογραμμής (ανίχνευση ακτογραμμής) όσο και οι παραδοχές που γίνονται όσον αφορά τον ορισμό της ακτογραμμής (επιλογή δείκτη) μπορούν να προκαλέσουν σφάλματα κατά την εκτίμηση της θέσης της ακτογραμμής (Boak and Turner, 2005).

Στην παρούσα μελέτη επιλέχθηκε ως δείκτης η υψηλή θέση της θάλασσας (High Water Line - HWL) (Σχήμα 10) ώστε να αντιπροσωπεύσει το όριο του υδάτινου στοιχείου (όπως αποτυπώνεται στις αεροφωτογραφίες κατά τη στιγμή της λήψης) με το χερσαίο τμήμα της παράκτιας ζώνης, η οποία θέση θεωρήθηκε ταυτόσημη με το υγρό-στεγνό όριο (wet/dry boundary) (Crowell et al., 2005) (Overton and Fisher, 1996) (Boak and Turner, 2005), αφού όπως προκύπτει από τις ημερομηνίες φωτοληψίας, αυτές έλαβαν χώρα άνοιξη και καλοκαίρι δηλαδή σε καλές καιρικές συνθήκες, με ήρεμη θάλασσα, ελάχιστους κυματισμούς και αμελητέες παλίρροιες.



Σχήμα 10 Αριστερά: HWL – Ο Dolan et al. (1978) κατέδειξε ότι είναι ένας σταθερός δείκτης ακτογραμμής και είναι λιγότερο ευαίσθητος κατά το παλιρροιακό στάδιο (Dolan et al., 1978) | Δεξιά: Wet/Dry Line (παρόλο που είναι ταυτόχρονα ένα υγρό/στεγνό όριο, δεν είναι απαραίτητα κορεσμένο τη στιγμή της λήψης της αεροφωτογραφίας) (Limber et al., 2007)

Το γραμμικό ίχνος του ορίου αυτού επιλέχθηκε ως δείκτης κυρίως για τους εξής λόγους: η υψηλή οπτική ανακλαστικότητα των αμμωδών παράκτιων περιοχών (ανοιχτόχρωμος τόνος) είναι εύκολα διαχωρίσιμη από τον σκουρόχρωμο τόνο του υδάτινου στοιχείου ειδικά όταν πρόκειται για ιστορικές αεροφωτογραφίες (είτε ασπρόμαυρες είτε έγχρωμες), αποδίδει πραγματικό γεωμορφολογικό χαρακτηριστικό, λαμβάνεται άμεσα και με ακρίβεια και δεν εισάγει σημαντική αβεβαιότητα όσον αφορά βραχυπρόθεσμες διαδικασίες αφού η θέση αυτή είναι λιγότερο επιρρεπής σε γεωμορφολογικές μεταβολές (Norcross et al., 2002; Fletcher et al., 2003; Romine, 2008; Romine and Fletcher, 2013)

Σε όσες θέσεις υπήρχαν βραχώδεις σχηματισμοί, πρανή ή μόνιμες κατασκευές (τοίχοι, πρόβολοι, μαρίνες κλπ) διατηρήθηκε το εξωτερικό προς τη θάλασσα, κατώτατο γραμμικό όριο αυτών (πόδι πρανούς, τοίχου). Σε όσες θέσεις υπήρχε πυκνή βλάστηση και η ακτογραμμή δεν εμφανιζόταν σαφώς λόγω κάλυψης (ή/και σκιάς) από μεγάλα δέντρα, αναλημματικούς τοίχους οικοπέδων εντός του αιγιαλού & παραλίας (ιδιαίτερα όπου υπήρχαν πυκνοδομημένες παραθαλάσσιες κατοικίες), η ψηφιοποίηση εκτιμήθηκε με βάση τα πριν και μετά τα εμπόδια όριά της και αφορούσε εν γένει μικρό μήκος (2-4μ), το οποίο δεν εισάγει αξιόλογο σφάλμα θέσης.

Έτσι, από κάθε ψηφιδωτό (raster) ορθοφωτομωσαϊκό και από την υπηρεσία θέασης της ΕΚΧΑ Α.Ε. ψηφιοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού ArcGis 9.3 σε ΕΓΣΑ ’87, η αντίστοιχη ακτογραμμή, με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια. Κάθε ιστορική ακτογραμμή εξάχθηκε ως διανυσματικό αρχείο (vector) τύπου πολυγωνικής γραμμής (polyline) (αφού η ακτογραμμή είναι γραμμική οντότητα) και δημιουργήθηκε ξεχωριστό σχηματικό αρχείο (shapefile) ανά έτος.

Η διαδικασία αυτή, απαίτησε πολύ χρόνο, αφού πρόκειται για πολύ λεπτομερή επιλογή διαδοχικών σημείων σε πολύ κοντινή απόσταση (σημειακή μέθοδος) και είναι σημαντικό να εντοπίζονται με αυστηρότητα ώστε πιθανά λάθη όρασης και ερμηνείας να μηδενίζονται. Επίσης, για την επαλήθευση κάθε ψηφιοποιημένης ακτογραμμής, έγιναν συμπληρωματικές επαναληπτικές ψηφιοποιήσεις σταθερών σημείων και σχημάτων που συγκρίθηκαν με ομόλογα πολύγωνα με γνωστές συντεταγμένες.

Από τον υπολογισμό του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής, εξαιρέθηκε το παράκτιο τμήμα από οδ. Κανελλοπούλου (Έλος Αγυιάς) έως Γλαύκο, διότι περιλαμβάνει την «σταθεροποιημένη» Λιμενική Ζώνη και την παράκτια αστική ζώνη που έχει «δημιουργηθεί» από τεχνητές προσχώσεις (ανθρωπογενούς επέμβασης) (Εικόνα 10).



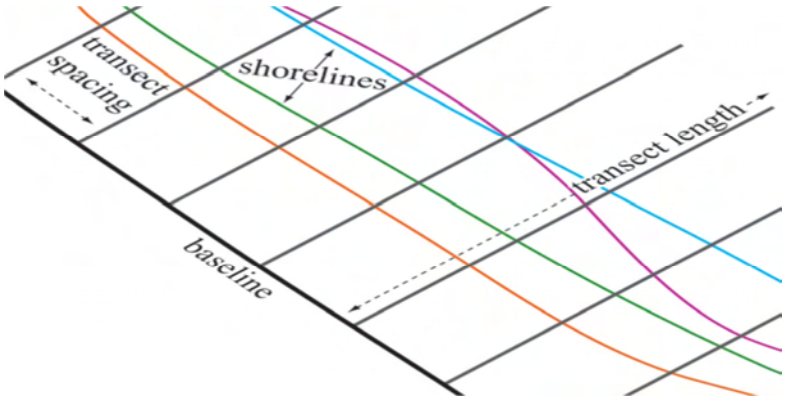
Εικόνα 10 (πάνω): εξαιρέσιμο τμήμα από Γλαύκο έως δυτικό όριο Λιμενικής Ζώνης, (μέση): όρια Λιμενικής Ζώνης Δήμου Πατρέων, (κάτω): εξαιρέσιμο τμήμα από ανατολικό όριο Λιμενικής Ζώνης έως οδ. Κανελλοπούλου.

3.3 Υπολογισμός ρυθμού μεταβολής ακτογραμμής

Για τον υπολογισμό του ρυθμού μεταβολής της θέσης της ακτογραμμής καθοριστικό στοιχείο αποτελεί η επιλογή της κατάλληλης, για τους σκοπούς της έρευνας, μεθοδολογίας ώστε να υπάρξει αντικειμενική και συγκρίσιμη παρατήρηση για το σύνολο της εξεταζόμενης περιοχής και να είναι λεπτομερής και ακριβής ώστε να προχωρήσει σε ποσοτικοποίηση της διάβρωσης ή πρόσχωσης σε κάθε περιοχή.

Στην παρούσα μελέτη επιλέχθηκε το «Ψηφιακό Σύστημα Ανάλυσης Ακτογραμμών» (Digital Shoreline Analysis System - DSAS) (Thieler et al., 2005) το οποίο διατίθεται δωρεάν από τον Οργανισμό Γεωλογικών Ερευνών των ΗΠΑ (U.S. Geological Survey - USGS). Το DSAS αποτελεί επέκταση (extension) του ArcGIS και η έκδοση που χρησιμοποιήθηκε ήταν η v.3.2 (http://woodshole.er.usgs.gov/project-pages/DSAS/version3/) ως συμβατή με το ArcGis v.9.3.

Η γενική λειτουργία του DSAS αφορά: α) τη δημιουργία κάθετων τομών (transects) στις ιστορικές ακτογραμμές από μια γραμμή αναφοράς (coastline) που ορίζει ο χρήστης, επιλέγοντας ο ίδιος την επιθυμητή μεταξύ τους απόσταση (transect spacing) και το μήκος των τομών (transect length) ώστε να τέμνουν όλες τις ακτογραμμές (Σχήμα 11) και β) την μέτρηση των θέσεων των ιστορικών ακτογραμμών πάνω σε κάθε τομή, ώστε τελικά να υπολογίσει το ρυθμό μεταβολής της και άλλα χρήσιμα στατιστικά στοιχεία. Ο ρυθμός μεταβολής εκφράζεται σε μέτρα / έτος (meters of change along transects per year).



Σχήμα 11 Ακτογραμμές (shorelines), γραμμή αναφοράς (baseline), κάθετες τομές (transect), μήκος τομής (transect length), απόσταση τομών (transect spacing) (E.A. Himmelstoss, 2009)

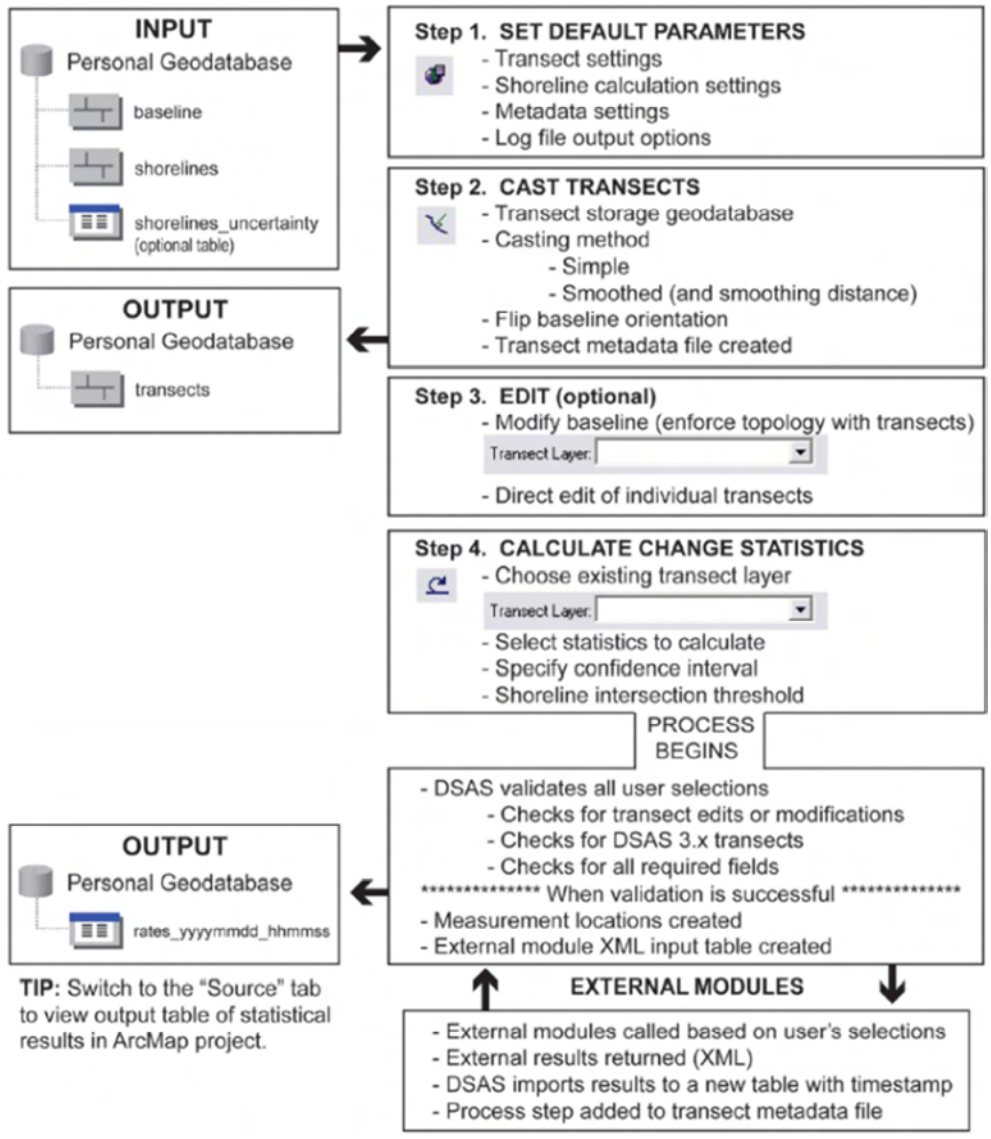
Η διαδικασία με το DSAS v.3.2 πραγματοποιήθηκε σε τέσσερα στάδια (Σχήμα 12):

(1) την δημιουργία νέας προσωπικής γεωβάσης (DSAS_Geodatabase) και την προετοιμασία και εισαγωγή των ιστορικών ακτογραμμών σ' αυτή, σε ΕΓΣΑ' 87

(2) τη δημιουργία της γραμμής αναφοράς στην ίδια γεωβάση και στο ίδιο προβολικό σύστημα

(3) την παραγωγή διατομών ανά 25μ. και

(4) τον υπολογισμό του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής, με τη μέθοδο EPR.



Σχήμα 12 Διάγραμμα ροής εργασίας με το DSAS

Αναλυτικότερα:

(1) Δημιουργία γεωβάσης και προετοιμασία των ακτογραμμών

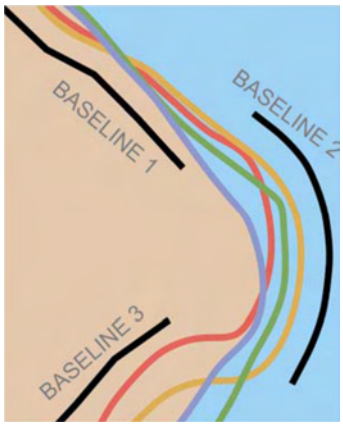
Στο Arc Catalog, δημιουργήθηκε μία νέα γεω-βάση (DSAS Geodatabase) στην οποία εισήχθησαν όλες οι ακτογραμμές με χρονολογική σειρά από την παλαιότερη προς την νεότερη με την εντολή import > feature class (single).

Στον πίνακα ιδιοτήτων κάθε ακτογραμμής, προστέθηκαν δύο πεδία με τις τιμές τους: ημερομηνία λήψης (Date) σε μορφή mm/dd/yyyy και η αβεβαιότητα (Uncertainty)[12] ⇨ *[Attribute Table > Table Options > Add Field]*, ώστε το DSAS να μπορεί να αναγνωρίσει τις ακτογραμμές ως διακριτές οντότητες. Ως αβεβαιότητα, για την παρούσα μελέτη, δόθηκε η τιμή 2. Κατόπιν, οι ακτογραμμές συνδυάστηκαν (combined) με την παλαιότερη εξ αυτών ⇨ *[Arc Toolbox > Data Management Tools > General > Append > Input Datasets]* (εισαγωγή κατά ημερολογιακή σειρά, από την παλαιότερη στην πιο πρόσφατη). Για την καλύτερη οπτική απόδοση του σύνθετου πλέον αρχείου (composite shoreline file), ρυθμίστηκαν σ' αυτό το στάδιο τα χρώματα και τα πάχη των ακτογραμμών.

(2) Δημιουργία γραμμής αναφοράς (baseline)

Η γραμμής αναφοράς είναι ένα από τα πιο σημαντικά στοιχεία των αναλύσεων σχετικά με το ρυθμό μεταβολής της ακτογραμμής. Είναι μια "πλασματική" (imaginary) ακτογραμμή η οποία δημιουργήθηκε «πίσω» από τις ακτογραμμές που περιλαμβάνονται στην ανάλυση, είτε προς τη χέρσο είτε και προς τη θάλασσα. Απαιτήθηκε προσεκτικός σχεδιασμός και εξομάλυνσή της, λαμβάνοντας υπ' όψιν τη γενική τάση και την τάση μεταβολής των υπό ανάλυση ακτογραμμών, διότι τόσο το σχήμα της όσο και η σχετική της θέση επηρεάζουν ευθέως τους υπολογισμούς του ρυθμού. Σε όσες θέσεις οι ιστορικές ακτογραμμές είχαν πολύπλοκο περίγραμμα, η γραμμή αναφοράς σχεδιάστηκε σε μικρότερα διακριτά τμήματα (Σχήμα 13) προκειμένου έτσι να εκπροσωπήσει την ακτογραμμή με μεγαλύτερη ακρίβεια.

[12] *Μπορούν να δοθούν διαφορετικές τιμές αβεβαιότητας σε μια ακτογραμμή ή σε τμήματά της.*

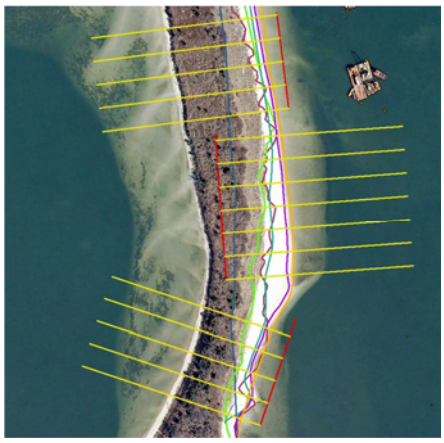


Σχήμα 13 Ενδεικτικές γραμμές αναφοράς (μαύρο χρώμα) σε θέση χωρίς σχετική ευθυγραμμία (θέση «ακρωτηρίου») (E.A. Himmelstoss, 2009)

Κατόπιν, δόθηκε χειροκίνητα σε κάθε τμήμα της γραμμής αναφοράς, προσδιορισμός θέσης (χέρσο ή θάλασσα) και κατεύθυνση δημιουργίας τομών ⇨ *[Baseline > Open Attribute Table > Edit Features > Start Editing > onshore = 0 / offshore =1 & CastDir(ection) to the left=0 / to the right=1]*

(3) Δημιουργία κάθετων τομών (transects)

Μετά την ολοκλήρωση της δημιουργίας της γραμμής αναφοράς, δόθηκε το μήκος των διατομών (transect length) (σε επαρκή απόσταση από τη γραμμή αναφοράς ώστε να τέμνουν όλες τις ακτογραμμές) και η μεταξύ τους απόσταση (transect spacing) (ανά 25μ.) και αυτές σχεδιάστηκαν αυτόματα (Σχήμα 14) ⇨ *[DSAS Toolbar > Cast Transects Button*  *]*



Σχήμα 14 Ενδεικτικό σχήμα αυτόματης δημιουργίας κάθετων τομών από το DSAS

(4) Υπολογισμός ρυθμού μεταβολής

Τέλος, έγινε ο υπολογισμός του ρυθμού μεταβολής ⇨ *[DSAS Toolbar > Calculate Statistics Button*  *]*. Για την παρούσα μελέτη επιλέχθηκε η στατιστική μέθοδος του Ρυθμού Τελικού Σημείου (End Point Rate - EPR)[13] η οποία παρά τους περιορισμούς της σχετικά με τη βραχυπρόθεσμη μεταβλητότητα, θεωρείται ως αξιόπιστος δείκτης για την ανάλυση της μακροπρόθεσμης μεταβολής (long-term analysis) (Milligan et al., 2012, 2010a, 2010b, 2010c, 2010d) όπως διερευνάται στην παρούσα μελέτη δηλαδή για το χρονικό διάστημα 63 ετών.

[13] *Οι αποστάσεις εισέρχονται στον τύπο με το πρόσημό τους δηλαδή εάν μεταξύ δύο χρονικών στιγμών η ακτογραμμή σε μια διατομή προσχώνεται τότε παίρνει θετικό πρόσημο, ενώ εάν οπισθοχωρεί παίρνει αρνητικό πρόσημο.*

4

Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Όπως ήδη αναφέρθηκε, από την ανάλυση εξαιρέθηκαν τα σταθεροποιημένα τμήματα της Λιμενικής Ζώνης, καθώς και τα υπόλοιπα προσχωμένα τμήματα (έως το Γλαύκο προς τα δυτικά της και έως την οδ. Κανελλοπούλου προς τα ανατολικά της) (Εικόνα 11) λόγω του ότι η προέλαση της ακτογραμμής προς τη θάλασσα οφείλεται αποκλειστικά σε ανθρωπογενείς επεμβάσεις («αστική» προέλαση) (Εικόνα 12) και οποιαδήποτε συμμετοχή των τμημάτων αυτών στον υπολογισμό του ρυθμού μεταβολής θα αλλοίωνε τα αποτελέσματα.

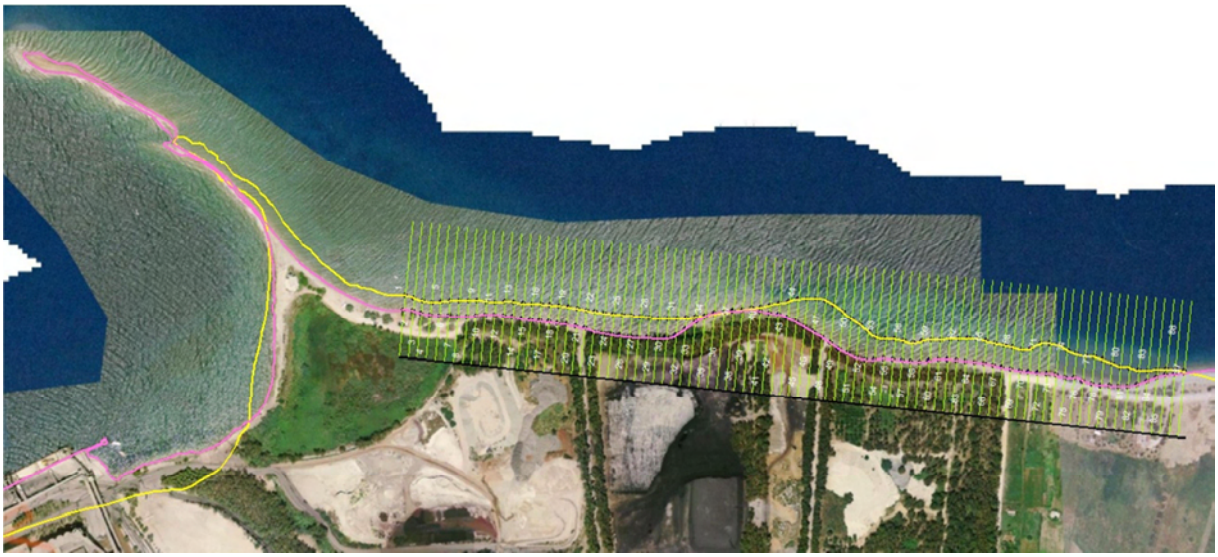


Εικόνα 11 (πάνω) Εξαιρέσιμα από την ανάλυση, της παράκτιας «αστικής» ζώνης του Δ.Πατρέων, τμήματα των ακτογραμμών (με μαύρο ακτογραμμή έτ.1945, με κόκκινο ακτογραμμή έτ.2008) σε υπόβαθρο 2008 | (κάτω) Ψηφιακό υπόβαθρο με ορθοφωτογραφίες του 1945: είναι εμφανής η μετατόπιση της φυσικής ακτογραμμής του 1945 προς τη θάλασσα, λόγω επαναλαμβανόμενων προσχώσεων και τεχνικών έργων («επέλαση» της χέρσου εις βάρος της θάλασσας)



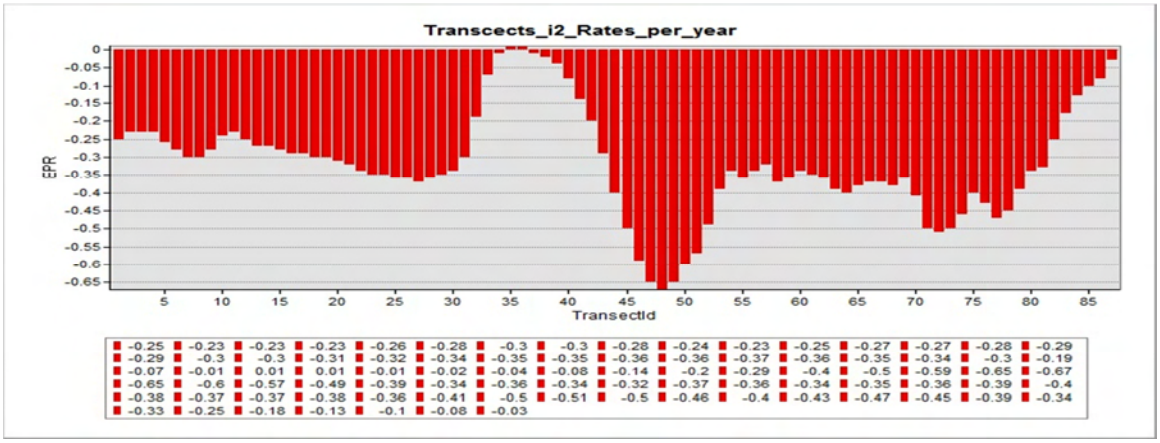
Εικόνα 12 Περιοχή Κολυμβητηρίου, Ακτή Δυμαίων | ακτογραμμές: έτ.2008 κόκκινο, έτ.1979 μπλε, έτ.1945 μαύρο | (πάνω) υπόβαθρο από ορθοφωτογραφίες 1945 | (κάτω) υπόβαθρο από ορθοφωτογραφίες 2008 | Δημιουργία Ζώνης Αναψυχής εντός της Λιμενικής Ζώνης με παράκτιες προσχώσεις της τάξεως των 120-130μ εις βάρος της θάλασσας από το 1945 έως και το 2008.

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα μη αντιστρέψιμης διάβρωσης (περιοχή κρίσιμης διάβρωσης) εντοπίστηκε στην ακτή, ανατολικά του Ακρωτηρίου Δρέπανο (Εικόνα 13 & Εικόνα 14), εκεί όπου διοργανώνεται πλέον κάθε χρόνο το Kitesurf Festival. Η στενή παραλία που έχει απομείνει, εξυπηρετεί ως πρόχειρη πρόσβαση προς το Φάρο και το Ακρωτήριο και είναι εκτεθειμένη σε έντονους βόρειους ανέμους.

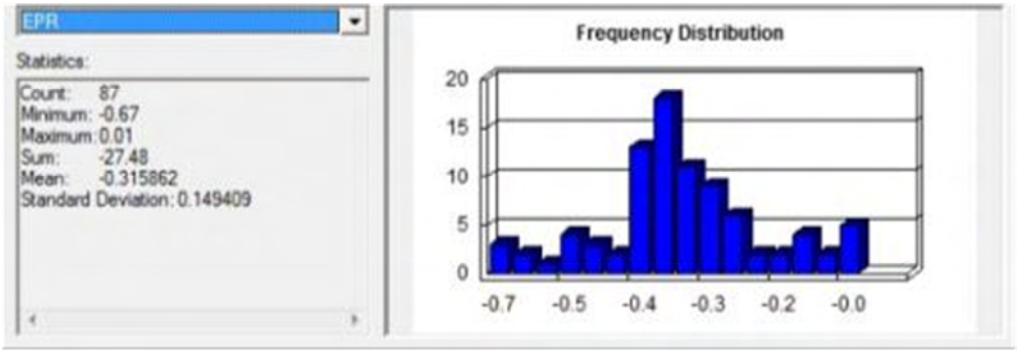


Εικόνα 13 Ακτογραμμή έτους 1945 (κίτρινη) – Ακτογραμμή έτους 2008 (ροζ)

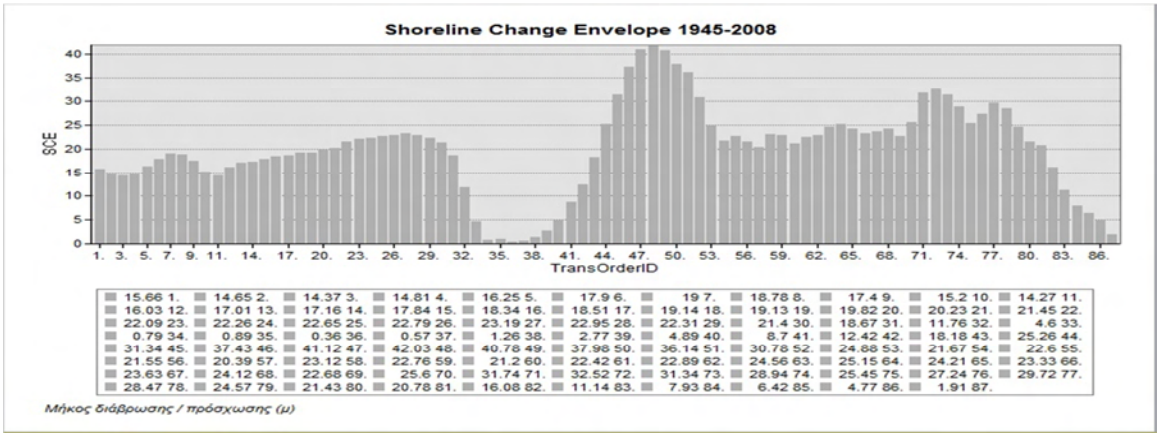
Το τμήμα αυτό, ελέγχθηκε και αυτόνομα λόγω της ιδιαίτερης γεωμορφολογίας του ακρωτηρίου, το οποίο λειτουργεί ως φυσικό εμπόδιο παράκτιας στερεομεταφοράς. Στο Σχήμα 15, απεικονίζεται γραφικά ο ρυθμός μεταβολής της ακτογραμμής στην εν λόγω θέση (μήκος ακτής ~870μ., τομές ανά 25μ.) και στο Σχήμα 16 απεικονίζεται η μέση τιμή ρυθμού απώλειας (-) 27,48 cm/y. Στο Σχήμα 17 δίνεται η μεταβολή της ακτογραμμής κατά απόλυτη τιμή, σε μέτρα.



Σχήμα 15 Ρυθμός μεταβολής τελικού σημείου (EPR) όπου όλες οι διατομές (transects) προσδιορίζουν διάβρωση (τιμές κάτω από τον άξονα των χ)



Σχήμα 16 Μέση τιμή ρυθμού μεταβολής -27,48 cm/y (διάβρωση)



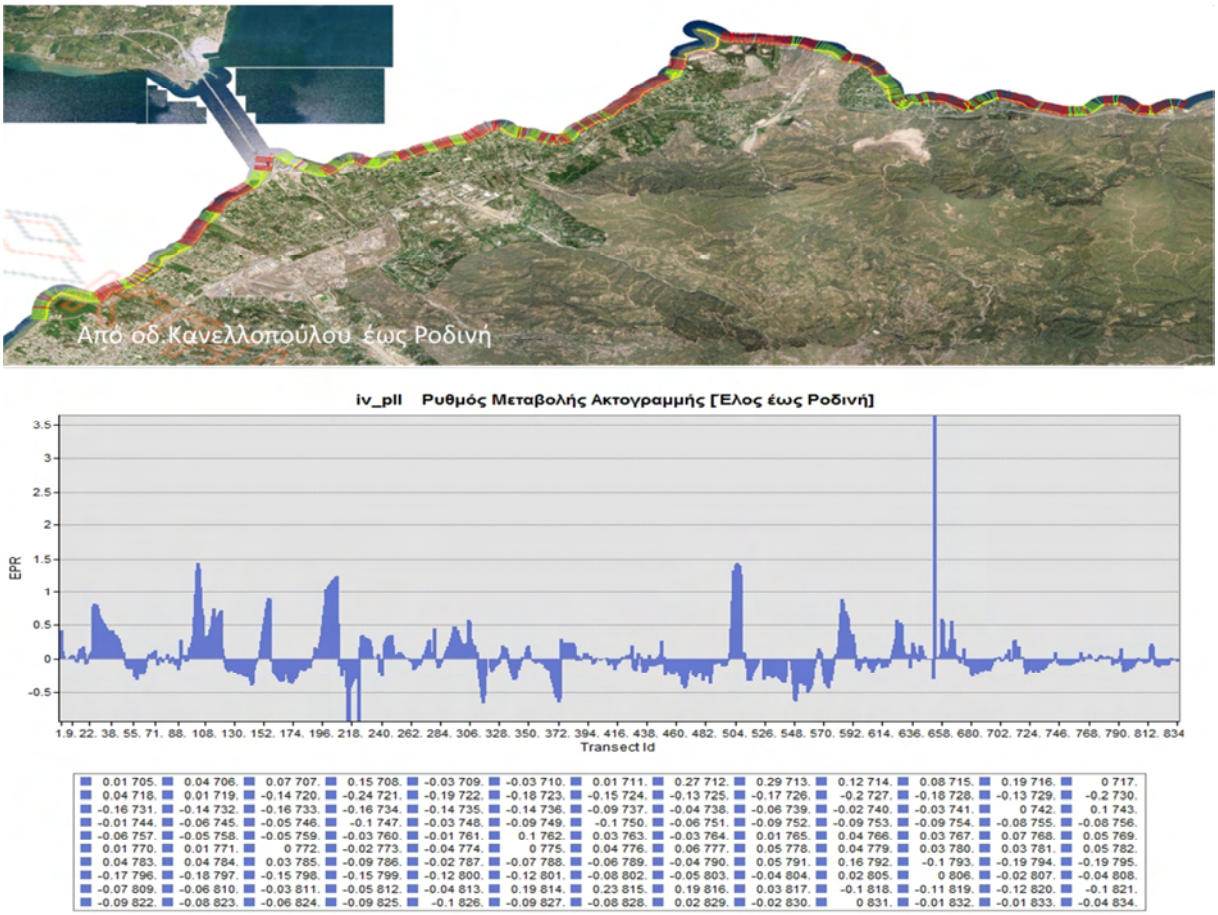
Σχήμα 17 Μεταβολή ακτογραμμής σε μέτρα (απόλυτος αριθμός), για το χρονικό διάστημα 1945-2008



Εικόνα 14 Ανατολικά του Ακρωτηρίου Δρέπανου, το τμήμα της υπό διάβρωση ακτής με την πυκνή βλάστηση (ευκάλυπτοι) και την στενή πλέον (5-8μ) αμμώδη παραλία (εναέρια πανοραμική λήψη, 2014) (*Πηγή: www.tripinview.com*)

➢ **Τμήμα από Έλος Αγυιάς έως Ροδινή**

Ο ρυθμός μεταβολής της ακτογραμμής στο σύνολο του τμήματος από οδ.Κανελλοπούλου έως Ροδινή (Εικόνα 15 - πάνω) υπολογίστηκε για διατομές ανά 25μ. και η μεταβολή ανά διατομή για το χρονικό διάστημα 1945-2008 αποτυπώνεται στο διάγραμμα στην Εικόνα 15.

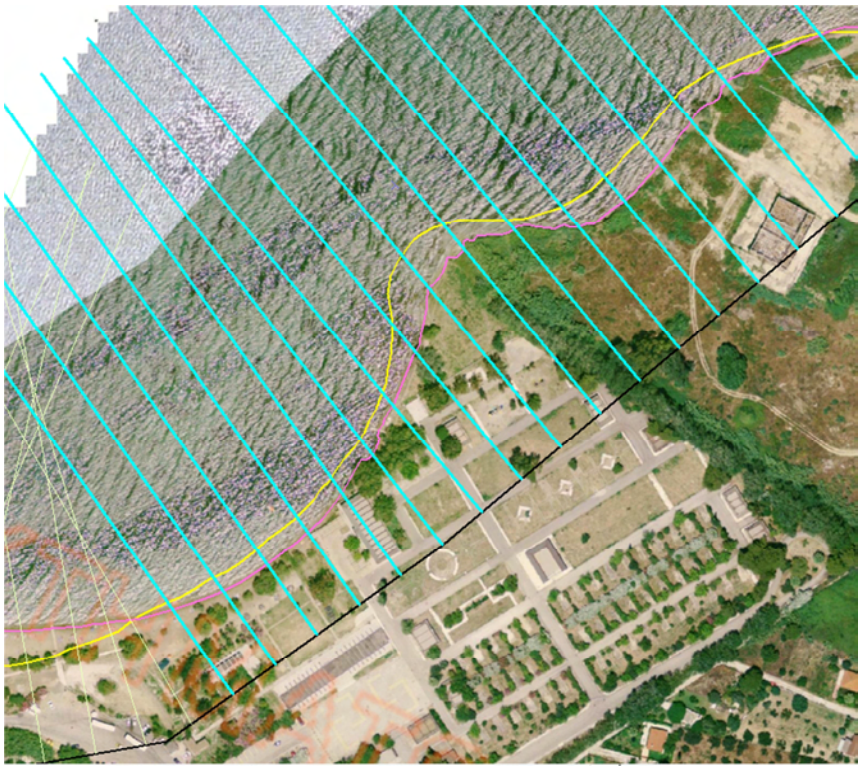


Εικόνα 15 Τμήμα ΙΙ (συνολικά) από οδ.Κανελλοπούλου έως Ροδινή (κόκκινο: διάβρωση, πράσινο: πρόσχωση) – Διάγραμμα: Ρυθμός μεταβολής (EPR) ανά διατομή

Για το συγκεκριμένο τμήμα διαπιστώνεται ότι υπάρχουν ανομοιογενείς μεταβολές της θέσης της ακτογραμμής στα εξής υπο-τμήματα:

1) Δυτικά του Έλους Αγυιάς: πρόσχωση από το 1945 έως το 2008, που οφείλεται στην κατασκευή παράκτιας οδού, το μέτωπο της οποίας προς τη θάλασσα έχει πλέον υποστεί διάβρωση (υποσκαφή)

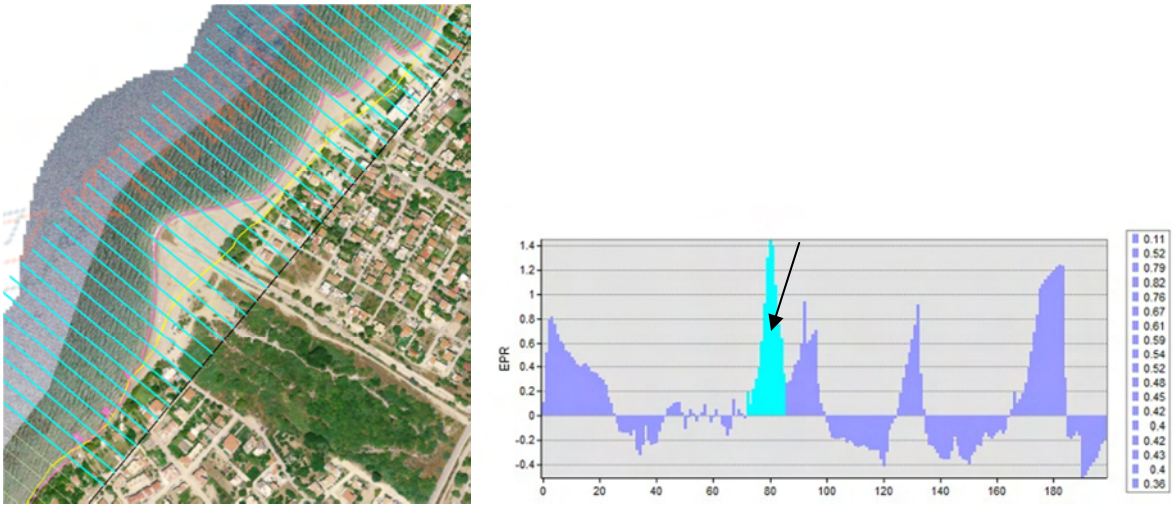
2) Ανατολικά του Έλους Αγυιάς: πρόσχωση κατά 35μ στο στενότερο έως 55μ στο πλατύτερο σημείο από την ακτογραμμή του 1945, με τη δημιουργία παραλίας και ακτής κολύμβησης έως την Πλαζ ΕΟΤ, όπου γι' αυτήν υπολογίστηκε διάβρωση ~18εκ./έτος (Εικόνα 16).



Εικόνα 16 Πλαζ ΕΟΤ (κίτρινο:1945, ροζ: 2008)

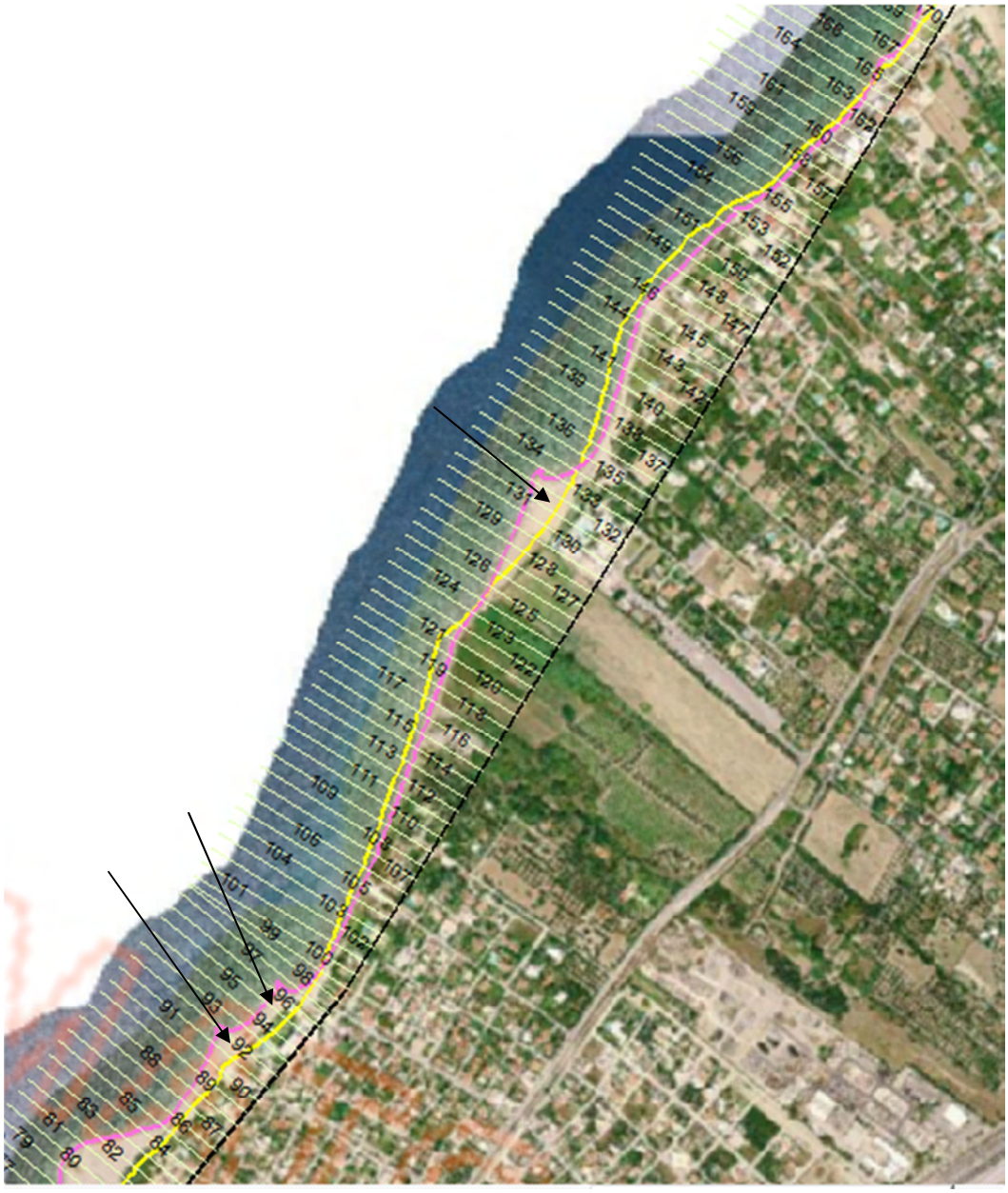
3) παραλία Προαστίου (έως π.Χάραδρο) η ακτογραμμή έχει «επιστρέψει» και σε μερικά σημεία υποχωρήσει, από την θέση του 1945, με αποτέλεσμα να έχει φτάσει έως τη βλάστηση, η οποία φαίνεται προς το παρόν να την συγκρατεί, ενέχοντας όμως προφανείς κινδύνους για τις παράκτιες ιδιοκτησίες.

4) ποταμός Χάραδρος (Εικόνα 17): πρόσχωση (δελταϊκές αποθέσεις) της τάξεως των ~16 εκ/έτ. Στα δυτικά του, πρόχειροι, μικρού μήκους εγκάρσιοι πρόβολοι έχουν συγκρατήσει ιζήματα στην ακτίνα τους, μεταφέροντας τη διάβρωση ανάντη.



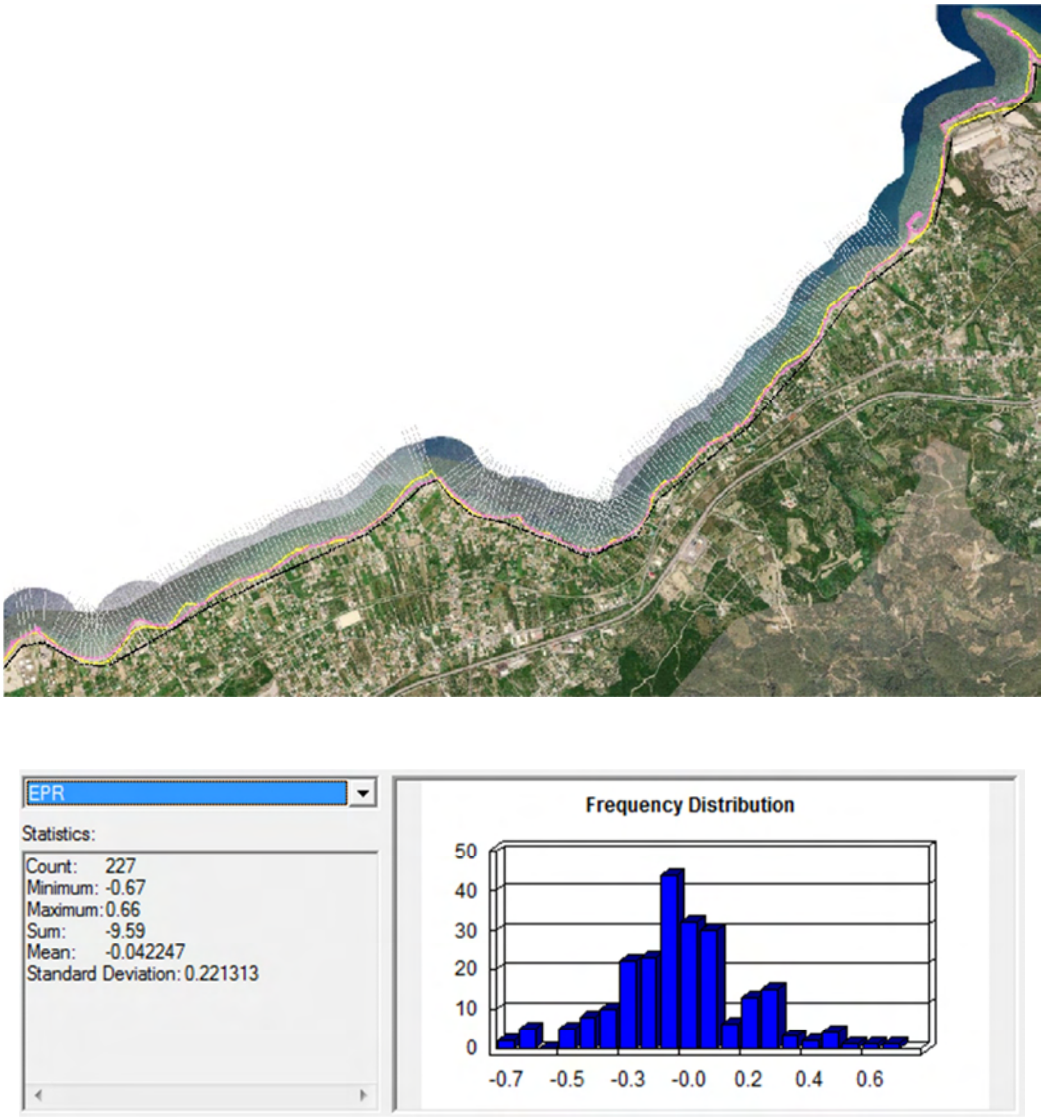
Εικόνα 17 Χάραδρος, πρόσχωση λόγω αποθέσεων στις εκβολές του (βέλος=πρόσχωση)

5) Παραλία Καστελόκαμπου – Porto Rio – οδ.Μ.Αλεξάνδρου (Εικόνα 18): εγκάρσιοι πρόβολοι (ανατολικά του π.Χάραδρου) και η προβλήτα σχήματος Τ (Porto Rio), λειτούργησαν ως ιζηματοπαγίδες, επιλύοντας σημειακά το πρόβλημα διάβρωσης και μετατόπισαν αυτήν, κατάντη και ανάντη, αντίστοιχα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα «αμυνόμενης» ακτής που προσπαθεί να επιτύχει ισορροπία.



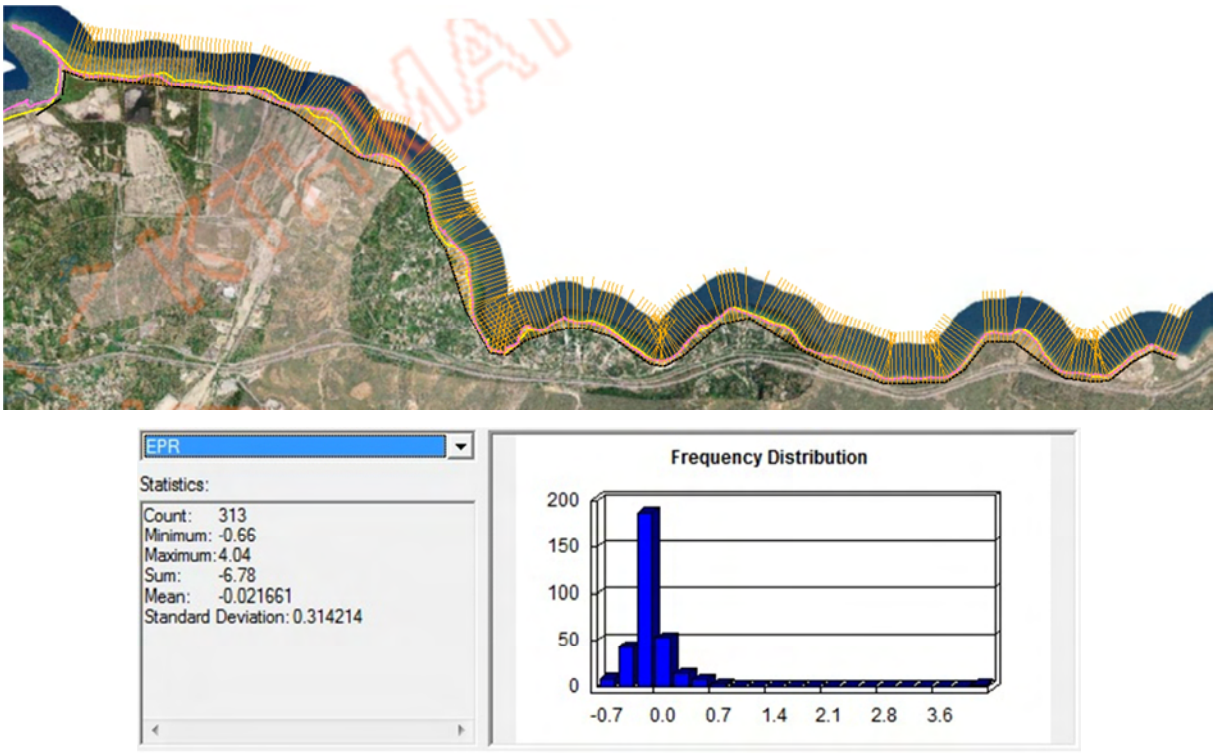
Εικόνα 18 Παραλία Καστελόκαμπου έως οδ.Μ.Αλεξάνδρου

6) Από Σέλεμνο έως Αραχωβίτικα (Εικόνα 19 - πάνω): ρυθμός μεταβολής (EPR) της τάξεως των -9,50μ / έτ, με διακυμάνσεις μεταβολής από -0,67μ/έτ έως +0,66μ/έτ (Εικόνα 19 - κάτω). Το αλιευτικό καταφύγιο στα Αραχωβίτικα αποτελεί ξεχωριστό θέμα ανάλυσης στην επίδραση των τοπικών συνθηκών πρόσχωσης/διάβρωσης ανάντη και κατάντη αυτού λόγω των ιδιαιτέρων ανεμολογικών και ωκεανογραφικών χαρακτηριστικών της όμορης (προς ανατολή) παράκτιας ζώνης, δηλ. της "τεχνητής" ακτογραμμής της TITAN και της αμμολωρίδας του Ακρωτηρίου Δρέπανο.



Εικόνα 19 Τμήμα από Σέλεμνο έως Αραχωβίτικα

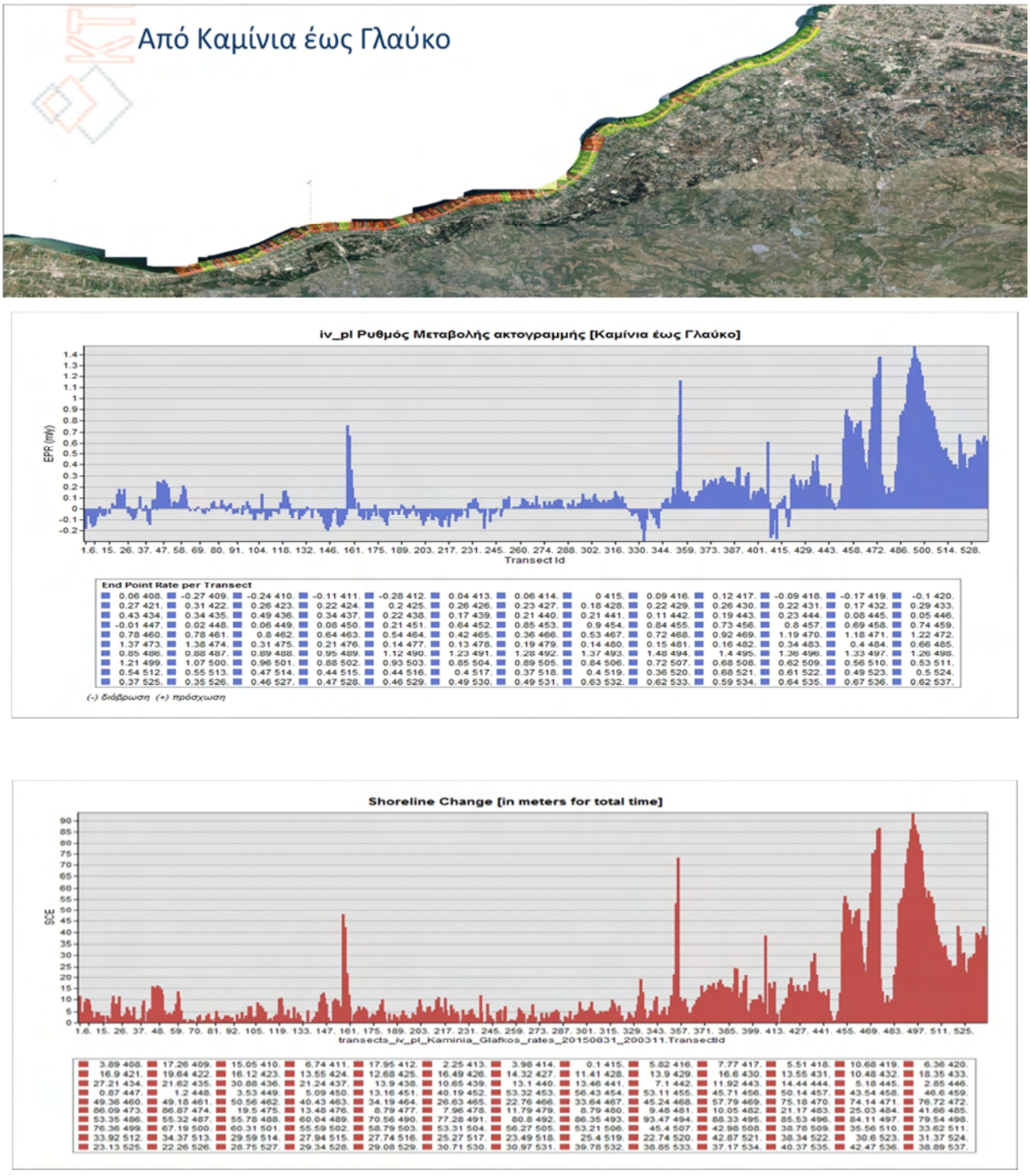
7) Από Ακρωτήριο Δρέπανο έως Ροδινή (Εικόνα 20): οι επιρροές του Κορινθιακού Κόλπου (πολύπλοκος συνδυασμός ωκεανογραφικών, γεωλογικών και τεκτονικών συνθηκών) είναι εμφανείς σε όλο το μήκος του τμήματος, αποδίδοντας συνολικό ρυθμό μεταβολής -6,78μ/έτ (υπερτερεί η διάβρωση). Η οικιστική ανάπτυξη εστιάζεται στην ΤΚ Ψαθοπύργου (Ψαθόπυργος, Κάτω Ροδινή) ενώ τα υπόλοιπα παράκτια τμήματα δεν δέχονται ιδιαίτερες ανθρωπογενείς πιέσεις (μη δομημένο περιβάλλον με φυσική βλάστηση). Ενισχυτικός δε παράγοντας της διάβρωσης είναι και ο ευδιάβρωτος χαρακτήρας των παράκτιων γεωλογικών δομών σε συνδυασμό με την έκθεση της ζώνης αυτής σε συνεχείς κυματισμούς αλλά και η τεκτονική και ευστατική καταπόνηση που δέχεται η περιοχή.



Εικόνα 20 Τμήμα παράκτιας ζώνης ανατολικά του Ακρωτηρίου Δρέπανο έως και Ροδινή

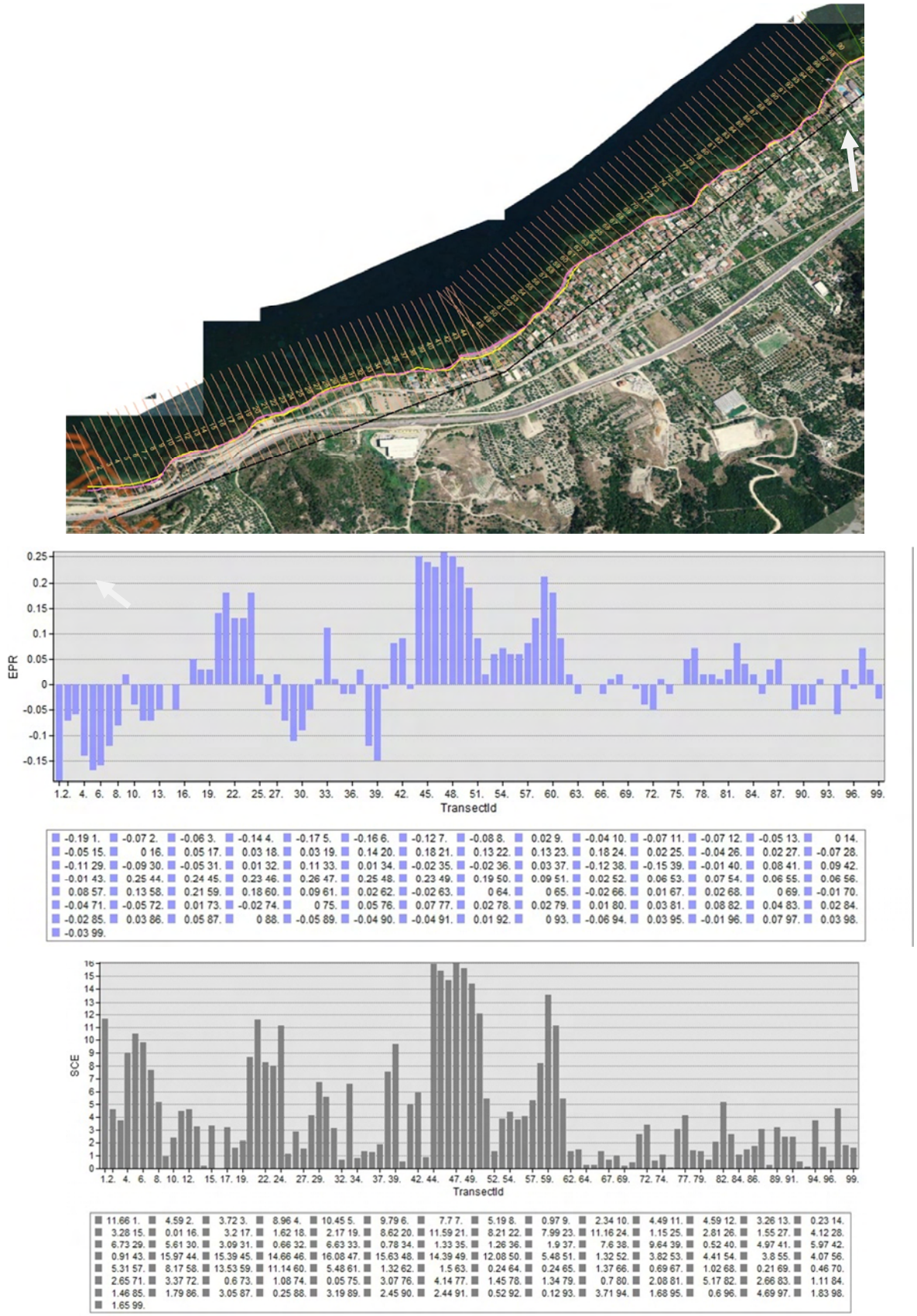
➢ **Τμήμα από Καμίνια έως Γλαύκο**

Στο τμήμα από Καμίνια έως Γλαύκο (Εικόνα 21), υπολογίστηκε η μεταβολή της ακτογραμμής με τον ρυθμό τελικού σημείου (EPR) η οποία έδειξε περιοχές με έντονη διάβρωση αλλά και περιοχές με υψηλή πρόσχωση για το χρονικό διάστημα 1945-2008 .



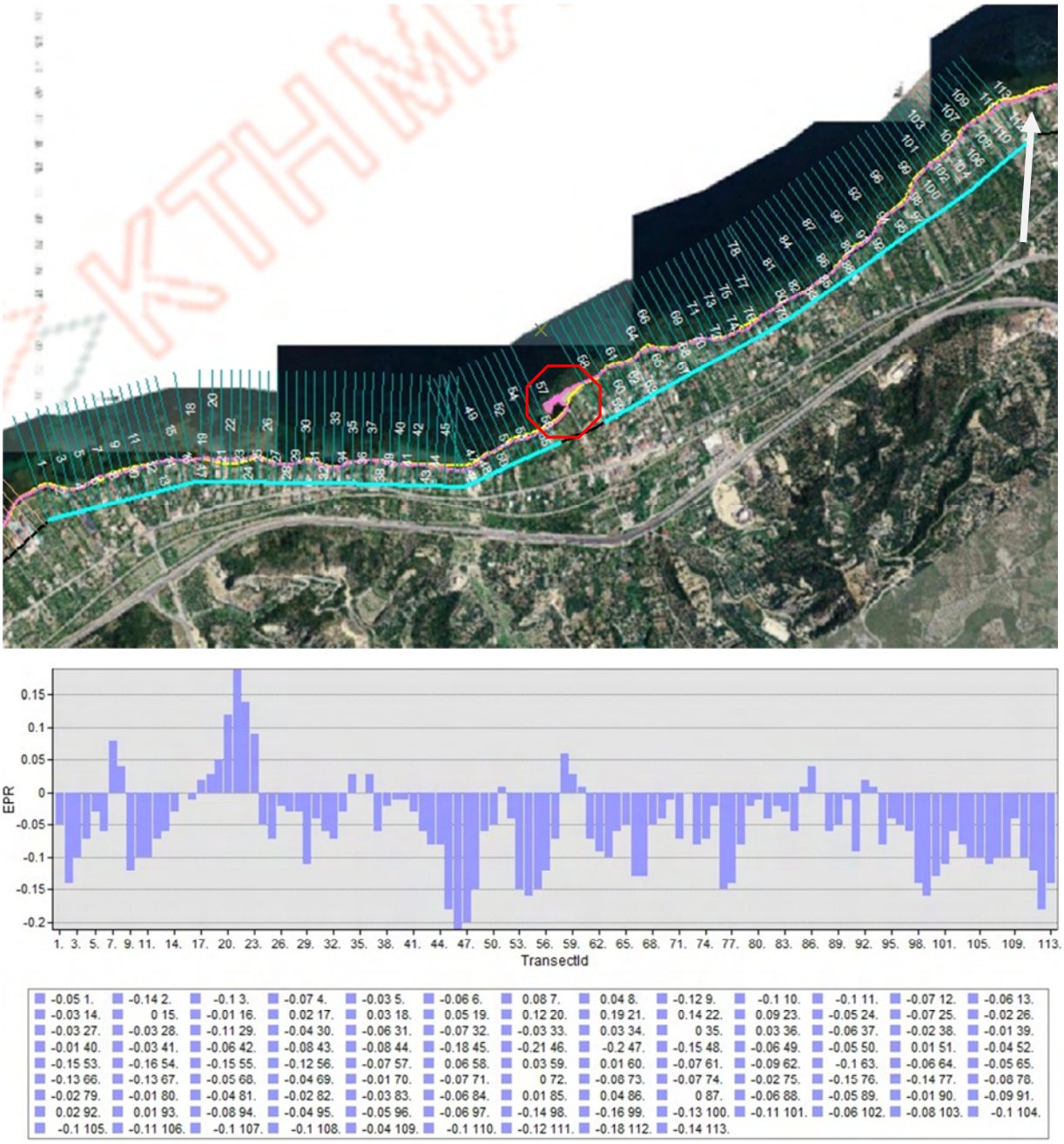
Εικόνα 21 Τμήμα από Καμίνια έως Γλαύκο: (πάνω) τομές ανά 25μ, κόκκινο: θέσεις διάβρωσεις, πράσινο: θέσεις πρόσχωσης – (μέση) Ρυθμός μεταβολής ανά διατομή, θετικές τιμές: πρόσχωση, αρνητικές τιμές: διάβρωση – (κάτω) Διάγραμμα μεταβολής ακτογραμμής σε μέτρα (συνολική μετακίνηση σε απόλυτες τιμές)

1) Από Καμίνια και για μήκος ~2,5 χλμ (νοητή ευθεία οδού προς ΒΙΠΕ) (Εικόνα 22):



Εικόνα 22Από Καμίνια έως Poseidon Palace (λευκά βέλη, μήκος ~2,5χλμ) (πάνω) – Ρυθμός μεταβολής ανά διατομή (μέση) – Μεταβολή ακτογραμμής σε μ ανά διατομή (κάτω)

2) Από Poseidon Palace έως αρχή οδ.Αλεξίου Δεσποτοπούλου - Βραχναίικα (Εικόνα 23–πάνω) υπολογίστηκε μεταβολή της τάξεως των -6,06μ/έτ (Εικόνα 23-κάτω). Ιδιαίτερη συμπεριφορά έχει επιδείξει το Λιμανάκι στα Τσουκαλέικα με την συσσώρευση και τοπική ανακατανομή ιζήματος (κόκκινος κύκλος στην (Εικόνα 23–πάνω).

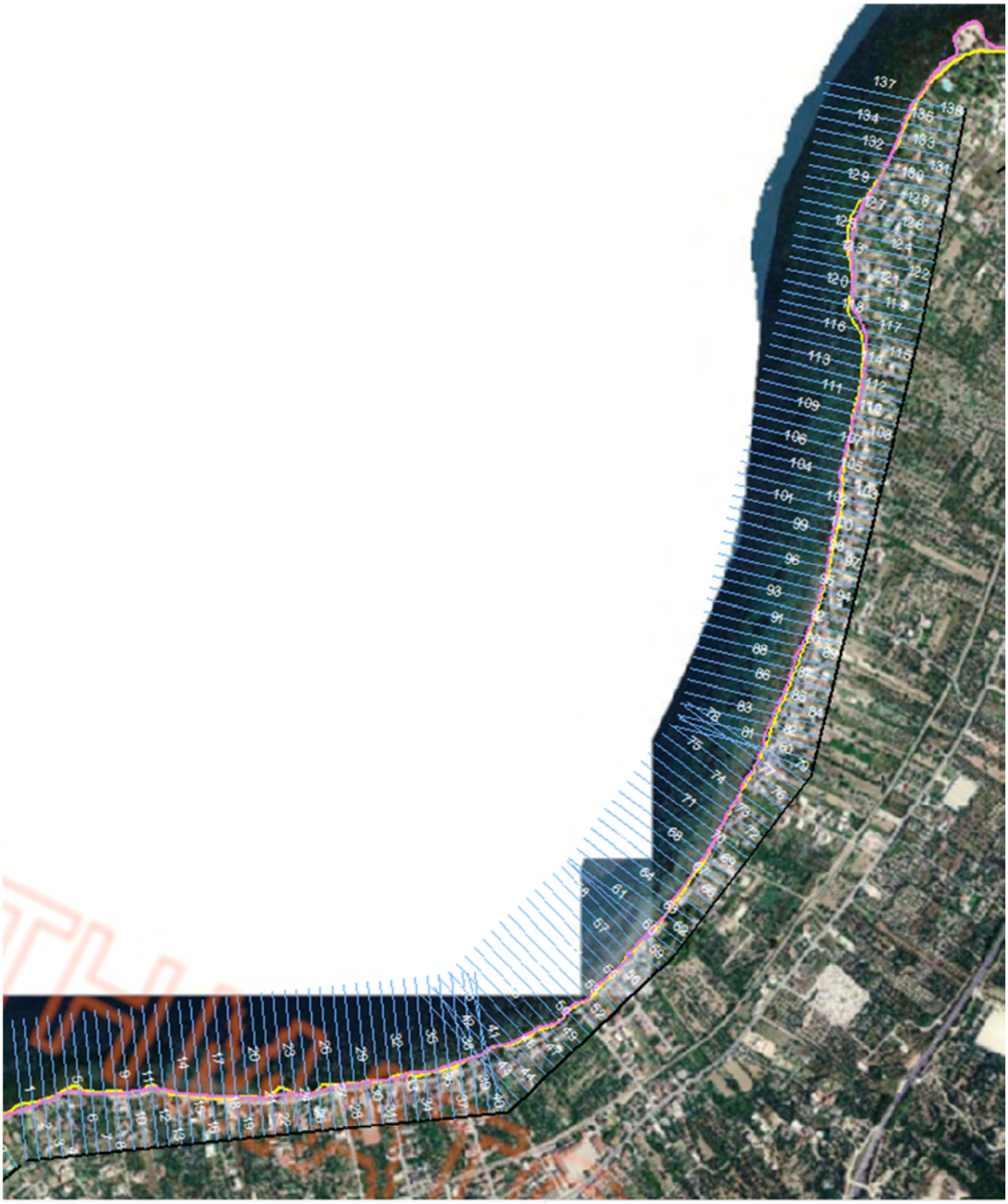


Εικόνα 23 Ρυθμός μεταβολής ακτογραμμής (ανά διατομή) τμήματος από Poseidon Palace έως αρχή οδ.Αλεξίου Δεσποτοπούλου (λευκό βέλος) – Βραχναίικα



Εικόνα 24 Λιμανάκι Τσουκαλέικα | πάνω: Ιστορικές ακτογραμμές: 1994-μπλε, 1945-κίτρινο, 2008-ροζ) | κάτω: Το 2015 έχει πλέον δημιουργηθεί αμμολωρίδα στην είσοδο του αποκλείοντας τη σύνδεσή του με τον Κόλπο (ιζηματοπαγίδα) | Ανάντη και κατάντη εντοπίζεται διάβρωση | Εκτιμάται ως αστοχία επιλογής θέσης

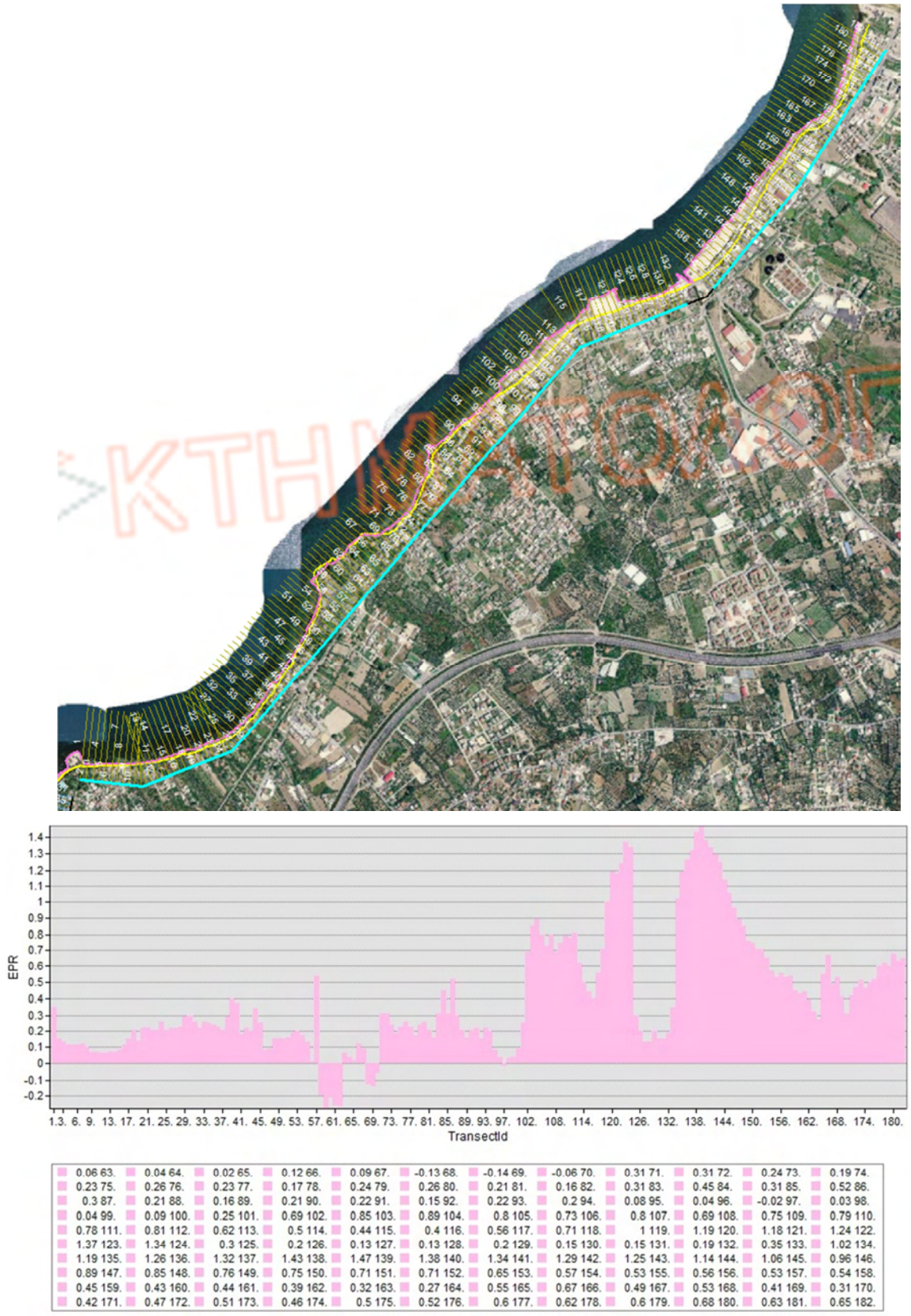
3) Από οδ.Δεσποτοπούλου (Βραχναίικα) έως οδ.Παπαγιάννη (Ρογίτικα) (Εικ…)



Εικόνα 25 Από οδ.Δεσποτοπούλου (Βραχναίικα) έως οδ.Παπαγιάννη (Ρογίτικα)

Η χάραξη και οι προσπάθειες σταθεροποίησης της παραλιακής οδού (Δεσποτοπούλου και συνέχεια αυτής) δημιούργησαν μια «τεχνητή» ακτογραμμή, η οποία υπεισέρχεται στον υπολογισμό της μεταβολής της ακτογραμμής για το εν λόγω τμήμα, αλλοιώνοντας το στατιστικό αποτέλεσμα αφού παρουσιάζει θετικό πρόσημο (πρόσχωση) περίπου 1,5μ/έτος, ενώ έχει διαπιστωθεί το έντονο πρόβλημα διάβρωσης (όπως η υποσκαφή του παραλιακού τοίχου και η κατάληψη ιδιόκτητων εκτάσεων από τη θάλασσα)

4) Το υπόλοιπο τμήμα, από Ρογίτικα έως Γλαύκο (Εικόνα 26)



Εικόνα 26 Από Ρογίτικα έως Γλαύκο (ΔΚ Παραλίας) – ΠΕΟ Πατρών Πύργου, Ακτή Δυμαίων (πάνω) | Ρυθμός μεταβολής ακτογραμμής ανά διατομή για το χρονικό διάστημα 1945-2008

Εδώ οι ανθρωπογενείς επεμβάσεις (προσχώσεις) στο αστικό θαλάσσιο μέτωπο, καταγράφονται σε υψηλά στατιστικά επίπεδα (της τάξεως των 73μ/έτ). Είναι φανερή η προσπάθεια για την προστασία της παράκτιας οδού και των όμορων ιδιοκτησιών, η οποία προσομοιάζει με «επέλαση» προς τη θάλασσα. Στις θέσεις που εντοπίζεται διάβρωση (της τάξεως των ~ 20εκ/έτ) φαίνεται να έχουν ληφθεί πρόχειρα μέτρα (θωράκιση κατά μήκος ή και εγκάρσια της ακτής με φυσικούς ογκόλιθους) για τα οποία εκτιμούμε ότι θα χρειαστεί περαιτέρω αξιολόγηση ώστε να εξακριβωθεί κατά πόσο αποτέλεσαν σωστή επιλογή.

5

Σύνοψη - Συμπεράσματα

Η μελέτη της διαχρονικής εξέλιξης της ακτογραμμής μπορεί να αναλυθεί με μετρήσεις διαφορών από τις ιστορικές της θέσεις, από το παρελθόν έως το παρόν. Το πλήθος της πληροφορίας που υπάρχει στις ιστορικές αεροφωτογραφίες και η σύγκριση του «πριν» και του «μετά» παρέχει την εξαιρετική δυνατότητα να υπολογιστεί ο ρυθμός μεταβολής της ακτογραμμής, τόσο μακροπρόθεσμα όσο και βραχυπρόθεσμα. Περαιτέρω, η κατανόηση του πώς η ακτή έχει αλλάξει κατά το παρελθόν και ποιοι παράγοντες επηρέασαν τις αλλαγές αυτές καθοδηγεί την γνώση μας για το τι μπορεί να συμβεί στο μέλλον.

Η ανάλυση αεροφωτογραφιών κάθετης λήψης είναι η πιο κοινά χρησιμοποιούμενη τεχνική για μελέτες ιστορικών ακτογραμμών, λόγω της διαθεσιμότητας της πληροφορίας σε βάθος χρόνου. Ο συνδυασμός δε, αυτής της τεχνικής, με τεχνικές τηλεπισκόπησης και φωτογραμμετρίας, ενισχύει την αξιοπιστία των υπολογιστικών μοντέλων αξιολόγησης των μεταβολών της παράκτιας ζώνης.

Η παρούσα μελέτη επικεντρώθηκε: α) στη συλλογή, επεξεργασία και ορθοαναγωγή πέντε χρονοσειρών (1960, 1979, 1987, 1994 και 2002) ιστορικών αεροφωτογραφιών από την Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (ΓΥΣ), β) στην ψηφιοποίηση (εξαγωγή) ιστορικών ακτογραμμών τόσο από τα φωτομωσαϊκά που προέκυψαν από τις ορθοανηγμένες αεροφωτογραφίες όσο και από την Υπηρεσία Θέασης της «Εθνικό Κτηματολόγιο & Χαρτογράφηση Α.Ε.» (ΕΚΧΑ Α.Ε.) για τα έτη 1945 και 2008 (ιστορικές ακτογραμμές

υψηλής ακρίβειας σε ψηφιακή μορφή), γ) στον υπολογισμό του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής για το χρονικό διάστημα από το 1945 έως το 2008 με την μέθοδο του ρυθμού του τελικού σημείου (EPR) και δ) στη δημιουργία μιας προσωπικής βάσης δεδομένων σε περιβάλλον Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων (ΓΠΣ – GIS) που ενσωματώνει τα χωρο-χρονικά δεδομένα των ιστορικών ακτογραμμών κατόπιν κωδικοποίησης, ταξινόμησης και σύνθεσής τους και τα αποδίδει σε ψηφιδωτή (raster) και διανυσματική (vector) μορφή, στο κοινό προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ’87.

Από την οπτικοποίηση των πρωτογενών δεδομένων και την ποσοτικοποίηση του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής σε συνδυασμό με τις χρήσεις γης της παράκτιας ζώνης του Καλλικρατικού Δήμου Πατρέων προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

Η παράκτια ζώνη του Δήμου Πατρέων στο χρονικό διάστημα από το 1945 έως και το 2008, παρουσιάζει έντονη τρισδιάστατη ανομοιογένεια (οριζοντιογραφικές και υψομετρικές μεταβολές) και έχει πολυμορφικό και δυναμικό χαρακτήρα. Δέχεται μη ελέγξιμες πιέσεις τόσο από φυσικούς όσο και από ανθρωπογενείς παράγοντες με αποτέλεσμα, στις περισσότερες περιπτώσεις, να αντιδρά αρνητικά στην προσπάθεια της να επανέλθει σε ισορροπία. Στην περιοχή έρευνας, φάνηκε ότι η ταχεία και άναρχη αστικοποίηση των παράκτιων περιοχών, οδήγησε στην κατασκευή έργων εντός της ενεργού ζώνης του κύματος. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες, στην προσπάθειά τους να «ελέγξουν» την ακτογραμμή, έχουν μειώσει την φυσική ικανότητα προσαρμογής της παράκτιας ζώνης. Η ακτογραμμή ανταποκρίθηκε αρνητικά, ειδικά σε όσες περιπτώσεις κατασκευάστηκαν «ακατάλληλα» έργα (όπως τοίχοι αντιστήριξης παραλιακών οδών, άναρχες και αυθαίρετες προσχώσεις με φυσικούς λίθους κλπ) αφού ουσιαστικά τροποποιήθηκε η γωνία πρόσπτωσης των κυματισμών και έτσι τα θαλάσσια ρεύματα και οι κυματικές καταιγίδες προκάλεσαν επιπλέον υποσκαφή των θεμελιώσεων τους. Έντονη είναι και η προοδευτική διάβρωση στις θέσεις που εμφανίζονται «αμυνόμενες» ακτές: όσο περισσότερες «άμυνες» προστίθενται για να αποτρέψουν την διάβρωση («σκληρά» παράκτια έργα), τόσο η εστία αυτής της διάβρωσης μετατοπίζεται κατά μήκος της ακτής, σε γειτονική περιοχή και συνήθως πολύ εντονότερη από την αρχική. Όπου έχουν κατασκευαστεί συστάδες προβόλων κάθετων στην ακτή, αυτοί λειτουργούν ως «ιζηματοπαγίδες» ενώ έχει αποδειχθεί ότι είναι απαγορευτική η κατασκευή τους, σε περιοχές με ανεπαρκή στερεομεταφορά, όπως οι περισσότερες θέσεις της περιοχής μελέτης.

Επιβεβαιώθηκε η αυξανόμενη τάση διάβρωσης κυρίως σε περιοχές με έντονη οικιστική ανάπτυξη κατά μήκος της παράκτιας ζώνης. Τα περισσότερα από τα έργα

«προστασίας» που είχαν κατασκευαστεί φαίνεται να έχουν αστοχήσει στο σκοπό τους, αυξάνοντας έτσι την επικινδυνότητα του παραλιακού οδικού δικτύου και αφήνοντας εκτεθειμένες παράκτιες ιδιωτικές εκτάσεις και κτίσματα.

Από την ανάλυση εξαιρέθηκαν τα σταθεροποιημένα τμήματα της Λιμενικής Ζώνης και τα υπόλοιπα προσχωμένα τμήματα (έως το Γλαύκο προς τα δυτικά της και έως την οδ. Κανελλοπούλου προς τα ανατολικά της) καθώς και η Μαρίνα Σκαφών Αναψυχής διότι πρόκειται για «τεχνητή» ακτογραμμή, με διαφορετικά μορφολογικά και ιζηματολογικά χαρακτηριστικά από τη φυσική που θα οδηγούσε σε εσφαλμένες εκτιμήσεις.

Σε αρκετές θέσεις εμφανίζεται προέλαση της ακτογραμμής, αυτή όμως θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως «εικονική» αφού προκλήθηκε κυρίως από ανθρώπινες παρεμβάσεις με μετατόπιση του προβλήματος στις κατάντη ή/και ανάντη περιοχές και όχι ως αποτέλεσμα μεταβολής από φυσικούς παράγοντες.

Περαιτέρω, τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, με το ψηφιακό υπόβαθρο που συλλέχθηκε και ταξινομήθηκε αλλά και τη βάση δεδομένων που αναπτύχθηκε σε περιβάλλον GIS, μπορούν να αποτελέσουν ένα χρήσιμο εργαλείο για την παρακολούθηση (monitoring) των μεταβολών της παράκτιας ζώνης και να ενσωματωθούν σε νεότερα σύνολα δεδομένων για την πρόβλεψη μελλοντικών θέσεων της ακτογραμμής. Μπορούν επίσης να χρησιμεύσουν ως βασική παράμετρος αξιολόγησης των μέτρων προστασίας της παράκτιας ζώνης.

Ο υπολογισμός του ρυθμού διάβρωσης της παράκτιας ζώνης του Δ. Πατρέων (όπως προέκυψε από την ανασύσταση των ιστορικών ακτογραμμών) συνδυαζόμενος με τις προβλέψεις για την άνοδο της μέσης στάθμης της θάλασσας, τα ωκεανογραφικά χαρακτηριστικά του Πατραϊκού και του Κορινθιακού Κόλπου και τις μετεωρολογικές, κυματικές και υδροδυναμικές παραμέτρους της περιοχής, συμβάλλει και συμπληρώνει την επιστημονική έρευνα στον τομέα της διάβρωσης των Ελληνικών ακτών και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον καθορισμό ζωνών προτεραιότητας επέμβασης με τις οποίες οι αρμόδιοι φορείς είναι δυνατόν να δράσουν στοχευμένα και αποτελεσματικά._

6

Βιβλιογραφία

Alcantara-Carrio, J., 2014. Geomorphological Coastal Classifications after Natural Processes and Human Disturbance. Oceanogr. Open Access 02, 3–4. doi:10.4172/2332-2632.1000e108

Anderson, T.R., Frazer, L.N., 2014. Toward Parsimony in Shoreline Change Prediction (III): B-Splines and Noise Handling. J. Coast. Res. 296, 729–742. doi:10.2112/JCOASTRES-D-13-00032.1

Anderson, T.R., Frazer, L.N., Fletcher, C.H., 2015. Long-Term Shoreline Change at Kailua, Hawaii, Using Regularized Single Transect. J. Coast. Res. 300, 464–476. doi:10.2112/JCOASTRES-D-13-00202.1

Anfuso, G., Domínguez, L., Gracia, F.J., 2007. Short and medium-term evolution of a coastal sector in Cadiz, SW Spain. CATENA 70, 229–242. doi:10.1016/j.catena.2006.09.002

Anthony, E.J., 2005. Beach erosion, in: Encyclopedia of Coastal Science, Encyclopedia of Earth Sciences Series. M. L. Schwartz (ed), Springer, pp. 140–144.

Appeaning-Addo, K., Lamptey, E., 2013. Innovative Technique of Predicting Shoreline Change in Developing Countries: Case of Accra Erosion and Causal Factors, in: Finkl, C.W. (Ed.), Coastal Hazards. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 367–402.

Bartlett, D.J., 1993. GIS and the Coastal Zone: An Annotated Bibliography (93-9), NCGIA Technical Reports. National Center for Geographic Information and Analysis, UC Santa Barbara.

Beriatos, E., Papageorgiou, M., 2010. Towards Sustainable Urbanization and Spatial Planning of the Coastal Zone in Greece and the Mediterranean Basin, in: Sustainable Planning of the Coastal Zone in Mediterranean. Presented at the 46th ISOCARP Congress, Nairobi, Kenya.

Bird, E., 2008. Coastal geomorphology: an introduction, 2. ed. ed, Geostudies. John Wiley, Chichester.

Boak, E.H., Turner, I.L., 2005. Shoreline Definition and Detection: A Review. J. Coast. Res. 21, 688–703. doi:10.2112/03-0071.1

Brooks, M., Ferentinos, G., 1984. Tectonics and sedimentation in the Gulf of Corinth and the Zakynthos and Kefallinia channels, Western Greece. Tectonophysics 101, 25–54.

Brown, I., Jude, S., Koukoulas, S., Nicholls, R., Dickson, M., Walkden, M., 2006. Dynamic simulation and visualisation of coastal erosion. Comput. Environ. Urban Syst. 30, 840–860. doi:10.1016/j.compenvurbsys.2005.08.002

Bull, J., 2014. Geometric Correction, Orthorectification, and Mosaicking.

Camfield, F.E., Morang, A., 1996. Defining and interpreting shoreline change. Ocean Coast. Manag. 32, 129–151.

Carter, R.W.G., Woodroffe, C.D., 1994. Coastal Evolution: Late Quaternary Shoreline Morphodynamics. Cambridge University Press.

Cicin-Sain, B., Belfiore, S., 2005. Linking marine protected areas to integrated coastal and ocean management: A review of theory and practice. Ocean Coast. Manag. 48, 847–868. doi:10.1016/j.ocecoaman.2006.01.001

COASTGAP - MED, 2014. Πολιτικές παράκτιας διακυβέρνησης και προσαρμογής στην Μεσόγειο - Coastal Governance and Adaptation Policies in the Mediterranean (Τεχνική Εισήγηση).

Conscience, 2007. Concepts and Science for Coastal Erosion Management. European Commission.

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

Crowell, M., Leatherman, S.P., Buckley, M.K., 1993. Shore-line change rate analysis: long term versus short term data. Shore Beach 61, 13–20.

Crowell, M., Leatherman, S.P., Douglas, B., 2005. Erosion: Historical analysis and forecasting, in: Encyclopedia of Coastal Science, Encyclopedia of Earth Sciences Series. M. L. Schwartz (ed), Springer, pp. 428–432.

Davidson-Arnott, R., 2010. Introduction to Coastal Processes & Geomorphology. Cambridge University Press, New York, USA.

Del Río, L., Gracia, F.J., Benavente, J., 2013. Shoreline change patterns in sandy coasts. A case study in SW Spain. Geomorphology 196, 252–266.

Dolan, R., Fenster, M.S., Holme, S.J., 1991. Temporal analysis of shoreline recession and accretion. J. Coast. Res. 7, 723–744.

Dolan, R., Hayden, B.P., Heywood, J., 1978. A new photogrammetric method for determining shoreline erosion. Coast. Eng. 2, 21–39. doi:10.1016/0378-3839(78)90003-0

Dolan, R., Hayden, B.P., May, P., May, S., 1980. The reliability of shoreline change measurements from aerial photographs. Shore Beach 48, 22–29.

E.A. Himmelstoss, 2009. DSAS 4.0 Installation Instructions and User Guide, in: In: Thieler, E.R., Himmelstoss, E.A., Zichichi, J.L., and Ergul, Ayhan. 2009 Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Version 4.0 — An ArcGIS Extension for Calculating Shoreline Change: U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278.

EEA, 2000. Κατάσταση και πιέσεις του θαλάσσιου και παράκτιου περιβάλλοντος της Μεσογείου: περίληψη, Mediterranean Action Plan.

Elfrink, B., Baldock, T., 2002. Hydrodynamics and sediment transport in the swash zone: A review and perspectives. Coast. Eng. 45, 149–167. doi:10.1016/S0378-3839(02)00032-7

Eliot, I., Clarke, D., 1989. Temporal and spatial bias in the estimation of shoreline rate-of-change statistics from beach survey information. Coast. Manag. 17, 129–156. doi:10.1080/08920758909362081

Eurosion, 2004a. Living with coastal erosion in Europe: Sediment and Space for Sustainability. A guide to coastal erosion management practices in Europe, Brussels. Directorate General Environment. ed, Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος - UNEP. European Commission.

Eurosion, 2004b. Living with coastal erosion in Europe: Sediment and Space for Sustainability. Part I - Major findings and Policy Recommendations of the EUROSION project, Brussels. Directorate General Environment. ed, Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος - UNEP. European Commission.

Fairbridge, R.W., 2004. Classification of Coasts. J. Coast. Res. 20, 155–165. doi:10.2112/1551-5036(2004)20[155:COC]2.0.CO;2

Ferentinos, G., Brooks, M., Doutsos, T., 1985. Quaternary tectonics in the Gulf of Patras, Western Greece. J. Struct. Geol. 7, 713–717.

Fisher, J.S., Overton, M.F., 1994. Interpretation of shoreline position from aerial photographs. Coast. Eng. Proc. 1.

Fletcher, C.H., 2011. National Assessment of Shoreline Change: Historical Shoreline Change in the Hawaiian Islands 67.

Fletcher, C., Rooney, J., Barbee, M., Lim, S.-C., Richmond, B., 2003. Mapping Shoreline Change Using Digital Orthophotogrammetry on Maui, Hawaii. J. Coast. Res. SPEC. ISS. 38, 106–124.

Galgano, F.A., Douglas, B.C., 2000. Shoreline Position Prediction: Methods and Errors. Environ. Geosci. 7, 23–31.

Galgano, F.A., Leatherman, S.P., 1991. Shoreline change analysis: A case study, in: Proceedings of Coastal Sediments ’91. American Society of Civil Engineers, New York, pp. 1043–1053.

Galgano, F., Leatherman, S., 2005. Modes and Patterns of Shoreline Change, in: Schwartz, M. (Ed.), Encyclopedia of Coastal Science, Encyclopedia of Earth Science Series. Springer Netherlands, pp. 651–656.

Genz, A.S., Fletcher, C.H., Dunn, R.A., Frazer, L.N., Rooney, J.J., 2007. The predictive accuracy of shoreline change rate methods and alongshore beach variation on Maui, Hawaii. J. Coast. Res. 23, 87–105.

Hammar-Klose, E.S., Thieler, E.R., 2001. Coastal Vulnerability to Sea-Level Rise, A Preliminary Database for the U.S. Atlantic, Pacific, and Gulf of Mexico Coasts, U.S. Geological Survey Digital Data Series 68.

Honeycutt, M.G., Crowell, M., Douglas, B.C., 2001. Shoreline-position forecasting: impact of storms, rate-calculation methodologies, and temporal scales. J. Coast. Res. 721–730.

Hughes, M.L., McDowell, P.F., Marcus, W.A., 2006. Accuracy assessment of georectified aerial photographs: Implications for measuring lateral channel movement in a GIS. Geomorphology 74, 1–16. doi:10.1016/j.geomorph.2005.07.001

Inman, D.L., 1953. Areal and seasonal variations in beach and nearshore sediments at La Jolla, California. DTIC Document.

Kamphuis, J.W., 2001. Designing with Models. American Society of Civil Engineers, pp. 19–32. doi:10.1061/40549(276)2

Kapsimalis, V., Poulos, S.E., Karageorgis, A.P., Pavlakis, P., Collins, M., 2005. Recent evolution of a Mediterranean deltaic coastal zone: human impacts on the Inner Thermaikos Gulf, NW Aegean Sea. J. Geol. Soc. 162, 897–908. doi:10.1144/0016-764904-018

Kelleher, G., Kenchington, R.A., 1991. Guidelines for Establishing Marine Protected Areas. IUCN.

Komar, P.D., 1977. Beach Processes and Sedimentation. J. Geol. 86, 155–155.

Komar, P.D., Enfield, D.B., 1987. Short-term sea-level changes and coastal erosion, in: Nummedal, D. (Ed.), Sea Level Change and Coastal Evolution. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists.

Leatherman, S.P., 2001. Chapter 8 Social and economic costs of sea level rise, in: International Geophysics. Elsevier, pp. 181–223.

Limber, P.W., List, J.H., Warren, J.W., Farris, A.S., Weber, K.M., 2007. Using topographic lidar data to delineate the North Carolina shoreline. Proc. Coast. Sediments' 07 1837–1850.

Li, R., Di, K., Ma, R., 2001. A Comparative Study of Shoreline Mapping Techniques. Presented at the 4th International Symposium on Computer Mapping and GIS for Coastal Zone Management, Halifax, Nova Scotia, Canada.

Li, R., Ma, R., Di, K., 2002. Digital tide-coordinated shoreline. Mar. Geod. 25, 27–36.

List, J.H., Farris, A.S., 1999. Large-scale shoreline response to storms and fair weather, in: Coastal Sediments '99. American Society of Civil Engineers, Long Island, New York, pp. 1324–1338.

Llasat, M.C., Llasat-Botija, M., Prat, M. a., Porcú, F., Price, C., Mugnai, a., Lagouvardos, K., Kotroni, V., Katsanos, D., Michaelides, S., Yair, Y., Savvidou, K., Nicolaides, K., 2010. High-impact floods and flash floods in Mediterranean countries: the FLASH preliminary database. Adv. Geosci. 23, 47–55. doi:10.5194/adgeo-23-47-2010

Loizidou, X., Iacovou, N., 1999. Anthropogenic coastal erosion and shoreline management in Cyprus, in: MEDCOAST 99 – EMECS 99 Joint Conference: Land-Ocean Interactions – Managing Coastal Ecosystems. Ankara, Turkey, pp. 1501–1509.

Ma, R., Buchwald, A., 2012. Orthorectify historical aerial photographs using DLT. Presented at the American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS) Annual Conference, Sacramento, California.

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

McWilliam, N., Teeuw, R., M. Whiteside, Zukowskyj, P., 2005. Section C: Techniques - Chapter 9: Geocorrection and photogrammetry, in: Field Techniques Manual: GIS, GPS and Remote Sensing. Royal Geographical Society, London.

Meaden, G.J., Aguilar-Manjarrez, J., Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2013. Advances in geographic information systems and remote sensing for fisheries and acquaculture.

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

Milligan, D.A., O'Brien, K.P., Wilcox, C., Hardaway Jr, C.S., 2010a. Shoreline Evolution: Gloucester County, Virginia York River, Mobjack Bay, and Piankatank River Shorelines. Data Summ. Rep. Va. Inst. Mar. Sci. Coll. William Mary Glos. Point Va.

Milligan, D.A., O'Brien, K.P., Wilcox, C., Hardaway Jr, C.S., 2010b. Shoreline Evolution: City of Poquoson, Virginia Poquoson River, Chesapeake Bay, and Back River Shorelines. Data Summ. Rep. Va. Inst. Mar. Sci. Coll. William Mary Glos. Point Va.

Milligan, D.A., O'Brien, K.P., Wilcox, C., Hardaway Jr, C.S., 2010c. Shoreline Evolution: City of Newport News, Virginia James River and Hampton Roads Shorelines. Data Summ. Rep. Va. Inst. Mar. Sci. Coll. William Mary Glos. Point Va.

Milligan, D.A., O'Brien, K.P., Wilcox, C., Hardaway Jr, C.S., 2010d. Shoreline Evolution: York County, Virginia York River, Chesapeake Bay and Poquoson River Shorelines. Data Summ. Rep. Va. Inst. Mar. Sci. Coll. William Mary Glos. Point Va.

Milligan, D.A., Wilcox, C., Hardaway,Jr, C.S., Cox, M.C., 2012. Shoreline Evolution: Lancaster County, Virginia Rappahannock River and Chesapeake Bay Shorelines (Data Summary Report). Virginia Institute of Marine Science College of William & Mary Gloucester Point, Virginia.

Moore, L.J., 2000. Shoreline Mapping Techniques. J. Coast. Res. 16, 111–124.

Morton, R.A., 1991. Accurate shoreline mapping: past, present, and future, in: A Specialty Conference on Quantitative Approaches to Coastal Sediment Processes. Seattle, Washington, United States, pp. 997–1010.

Nicholls, R.J., Wong, P.P., Burkett, V., Codignotto, J., Hay, J., McLean, R., Ragoonaden, S., Woodroffe, C.D., 2007. Coastal systems and low-lying areas. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Presented at the Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 315–356.

Norcross, Z.M., Fletcher, C.H., Merrifield, M., 2002. Annual and interannual changes on a reef-fringed pocket beach: Kailua Bay, Hawaii. Mar. Geol. 190, 553–580.

Oertel, G.F., 2005. Coasts, coastlines, shores, and shorelines, in: Encyclopedia of Coastal Science. pp. 323–327.

Overton, M.F., Fisher, J.S., 1996. Shoreline analysis using digital photography. Coast. Eng. Proc. 1.

Ozhan, E., 2002. Coastal erosion management in the Mediterranean: an overview, in: Priority Action Programme: Regional Activity Centre (PAP/RAC). UNEP/MAP, Ankara/Split.

Phillips, M.R., 2008. Beach Erosion and Marine Aggregate Dredging: A Question of Evidence? Geogr. J. 174, pp. 332–343.

Poulos, S., Chronis, G., 2001. Coastline changes in relation to longshore sediment transport and human impact, along the shoreline of Kato Achaia (NW Peloponnese, Greece). Mediterr. Mar. Sci. 2/1, 5–13.

Poulos, S., Kapsimalis, V., Tziavos, C., Paramana, T., 2008. Origin and distribution of surface sediments and human impacts on recent sedimentary processes. The case of the Amvrakikos Gulf (NE Ionian Sea). Cont. Shelf Res. 28, 2736–2745. doi:10.1016/j.csr.2008.09.014

Rodríguez, I., Montoya, I., Sánchez, M.J., Carreño, F., 2009. Geographic Information Systems applied to Integrated Coastal Zone Management. Geomorphology 107, 100–105. doi:10.1016/j.geomorph.2007.05.023

Romine, B.M., 2008. Historical shoreline trends and management implications: Southeast Oahu, Hawaii (Master's thesis). University of Hawaii at Manoa.

Romine, B.M., Fletcher, C.H., 2013. A Summary of Historical Shoreline Changes on Beaches of Kauai, Oahu, and Maui, Hawaii. J. Coast. Res. 29, 605–614. doi:10.2112/JCOASTRES-D-11-00202.1

Silva, J.F. da, Duck, R.W., 2001. Historical changes of bottom topography and tidal amplitude in the Ria de Aveiro , Portugal — trends for future evolution. Clim. Res. 18, 17–24. doi:10.3354/cr018017

Smith, G.L., Zarillo, G.A., 1990. Calculating Long-Term Shoreline Recession Rates Using Aerial Photographic and Beach Profiling Techniques. J. Coast. Res. 6, pp. 111–120.

Soomere, T., 2005. Fast Ferry Traffic as a Qualitatively New Forcing Factor of Environmental Processes in Non-Tidal Sea Areas: A Case Study in Tallinn Bay, Baltic Sea. Environ. Fluid Mech. 5, 293–323. doi:10.1007/s10652-005-5226-1

Srivastava, A., 2005. A least-squares approach to improved shoreline modeling (Master's thesis).

Srivastava, A., Niu, X., Di, K., Li, R., 2005. Shoreline modeling and erosion prediction. Presented at the ASPRS 2005 Annual Conference, "Geospatial Goes Global: From Your Neighborhood to the Whole Planet," Baltimore, Maryland.

Stefatos, A., Papatheodorou, G., Ferentinos, G., Leeder, M., Collier, R., 2002. Seismic reflection imaging of active offshore faults in the Gulf of Corinth: their seismotectonic significance. Basin Res. 14, 487–502. doi:10.1046/j.1365-2117.2002.00176.x

Stive, M.J.., Aarninkhof, S.G.., Hamm, L., Hanson, H., Larson, M., Wijnberg, K.M., Nicholls, R.J., Capobianco, M., 2002. Variability of shore and shoreline evolution. Coast. Eng. 47, 211–235. doi:10.1016/S0378-3839(02)00126-6

Sundaravadivelu, R., Sivasankaravel, M., RajeshwaraRao, N., Nagabhushan, N., 2005. Coastal Erosion Studies in Pondicherry Using GIS and Remote Sensing. American Society of Civil Engineers, pp. 297–305. doi:10.1061/40774(176)30

The Comet Program, 2015. Rip Current Longshore Current.

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

Thurman, H.V., 1983. Essentials of oceanography.

Turki, I., Medina, R., Gonzalez, M., Coco, G., 2013. Natural variability of shoreline position: Observations at three pocket beaches. Mar. Geol. 338, 76–89. doi:10.1016/j.margeo.2012.10.007

USACE, 2006. Coastal Classification and Morphology, in: Coastal Engineering Manual (CEM), Part IV - Chapter 2.

U.S. Army Corps of Engineers, 2011. Coastal Engineering Manual, CEM EM 1110-2-1100, Handbook. Washington, D.C.

U.S. Congress, 1972. Coastal Zone Management Act of 1972.pdf.

Welch, R., Jordan, T., 1996. Using scanned aerial photographs. Raster Imag. Geogr. Ldots 1–12.

Αγγελίδης, Μ., Οικονόμου, Α., 2008. Επιπτώσεις της τουριστικής ανάπτυξης στο περιβάλλον του ελληνικού παράκτιου χώρου και χωροταξική πολιτική. Presented at the 4ο Πανελλήνιο Συνέδριο για τη διαχείριση των παράκτιων ζωνών, Μυτιλήνη.

Αγγελίδης, Μ., Οικονόμου, Α., 2005. Χρήσεις γης και επιπτώσεις στον παράκτιο χώρο της Ελλάδας. Presented at the HELECO ’05, ΤΕΕ, Αθήνα.

Αλεξανδράκης, Γ., Καρδιτσά, Α., Πούλος, Σ., Γκιώνης, Γ., Καμπάνης, Ν., 2009. Εκτίμηση της τρωτότητας των ακτών του Αιγαίου στην αύξηση της θαλάσσιας στάθμης, in: 9ο Πανελλήνιο Συμπόσιο Ωκεανογραφίας & Αλιείας. pp. 327–332.

Αχιλλεόπουλος, Π., 1990. Παλίρροιες σε Κόλπους και Στενά της Δυτικής Ελλάδας, Α) Πατραϊκός Κόλπος, Β) Δίαυλος Λευκάδας (Διδακτορική Διατριβή). Πανεπιστήμιο Πατρών.

Δημοπούλου, Ε., Αβαγιανού, Θ., Ζεντέλης, Π., 2005. Συγκρότηση Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών για τη διαχείριση Παράκτιων Ζωνών. Presented at the 5ο Διεπιστημονικό Διαπανεπιστημιακό Συνέδριο ΕΜΠ «Παιδεία, Έρευνα, Τεχνολογία. Από το χθες στο αύριο», Μέτσοβο.

Δουκάκης, Ε., 2007a. Μέθοδοι προσδιορισμού του ρυθμού μεταβολής των ακτογραμμών (Σημειώσεις). ΕΜΠ, Διατμηματικό - Διεπιστημονικό ΠΜΣ “Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων.”

Δουκάκης, Ε., 2007b. Φυσικές καταστροφές και παράκτια ζώνη. Presented at the Πρόληψη – Διαχείριση των φυσικών καταστροφών. Ο ρόλος του Αγρονόμου Τοπογράφου Μηχανικού Τοπογράφου Μηχανικού | Ημερίδα, ΤΕΕ, ΠΣΔΑΤΜ, ΕΜΠ – Κέντρο Εκτίμησης Φυσικών Κινδύνων και Προληπτικού Σχεδιασμού, Αθήνα.

Δουκάκης, Ε., 2006. Εκτίμηση των επιπτώσεων της ανόδου της θαλάσσιας στάθμης και των κυματικών καταιγίδωνστην Ελληνική παράκτια ζώνη. Presented at the 8ο Πανελλήνιο Συμπόσιο Ωκεανογραφίας & Αλιείας, Θεσσαλονίκη, pp. 171–174.

Επιτροπή Μελέτης των Επιπτώσεων της Κλιματικής Αλλαγής, 2011. Οι περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις. της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα. Τράπεζα Της Ελλάδος.

Ηλιάδης, Φ., Κυριακίδης, Χ., Σιουτοπούλου, Α., 2011. Σχεδιασμός και διαχείριση παράκτιου χώρου: Ένα καίριο ζήτημα της σύγχρονης χωροταξίας. Presented at the 4ο Περιβαλλοντικό Συνέδριο Μακεδονίας, (Ενωση Ελλήνων Χημικών - Περιφερειακό Τμήμα Κεντρικής & Δυτικής Μακεδονίας), Θεσσαλονίκη.

Ιατρού, Μ., 2013. Ωκεανογραφικές - Γεωμορφολογικές έρευνες στον κεντρικό Κορινθιακό Κόλπο σε σχέση με τη διασπορά μεταλλευτικών αποβλήτων ερυθράς ιλύος (Διδακτορική Διατριβή). Πανεπιστήμιο Πατρών.

Καρύμπαλης, Ε., 2010. Παράκτια γεωμορφολογία, Ίων.

Κιουσόπουλος, Γ., 2000. Πληθυσμιακές μεταβολές στις παράκτιες περιοχές της Ελλάδας. Presented at the Επιστημονικό Συνέδριο: “Οι χωρικές διαστάσεις των δημογραφικών φαινομένων,” Βόλος.

Κοκκώσης, Χ., Δημητρίου, Κ., Κωνσταντόγλου, Μ., 2004. Δημιουργία ΓΣΠ για τις παράκτιες περιοχές της Ελλάδας. Presented at the 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο “Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών - Δυνατότητες και Εφαρμογές, Προοπτικές και Προκλήσεις,” Αθήνα.

Κομπιάδου, Κ., Χατήρης, Γ.Α., Ανδρουλιδάκης, Γ., Σιούλας, Α., Κρεστενίτης, Γ., Αναγνώστου, Χ., Ίσσαρης, Ι., 2009. Διερεύνηση της διάβρωσης στο Ακρωτήριο Ρόδου και μέτρα αντιμετώπισης. Presented at the 9th Symposium on Oceanography & Fisheries, Patras.

Κοτζαμάνης, Β., Τσιλιμίγκας Γιώργος, Σταθάκης, Δ., 2008. Ο ρόλος των αλλοδαπών στη δομή και διάρθρωση του παράκτιου και νησιώτικου χώρου. Presented at the 10ο Εθνικό Συνέδριο Χαρτογραφίας, Ιωάννινα.

Κρεστενίτης, Γ.Ν., 2011. Ολοκληρωμένη Διαχείριση της Παράκτιας Ζώνης - Το φυσικό και το ανθρώπινο σύστημα στην παράκτια ζώνη.

Λυμπέρης, Ε., Φερεντίνος, Γ., Παπαθεοδώρου, Γ., Χασιώτης, Θ., 1998. Υποθαλάσσια ρήγματα στην ενεργή τεκτονική τάφρο του Κορινθιακού κόλπου. Τέσσερα τυπικά παραδείγματα σύγχρονου τεκτονικού ελέγχου της μορφολογίας και των διεργασιών ιζηματογένεσης κάτω από τη στάθμη τη θάλασσας. Δελτίον Της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας 32, 223–234.

Μιχαήλογλου, Α., 2011. Χωρικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις της παράκτιας διάβρωσης: Η περίπτωση του Ν.Δωδεκανήσου. ΠΜΣ Προστασία Περιβάλλοντος Και Βιώσιμη Ανάπτυξη. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Μονιούδη, Ι., 2011. Ολοκληρωμένη εκτίμηση της διάβρωσης των ακτών λόγω της ανύψωσης της θαλάσσιας στάθμης (Διδακτορική Διατριβή). Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη.

Μπεριάτος, Η., 2013. Χωροταξικός Σχεδιασμός και εδαφικές-διοικητικές δομές: Ζητήματα χωρικής διακυβέρνησης σε τοπική κλίμακα, in: Αγροτική οικονομία, ύπαιθρος χώρος, περιφερειακή και τοπική ανάπτυξη. Ελληνική Εταιρεία Περιφερειακής Επιστήμης, Πάτρα.

Μωραΐτη, Α., 2015. Δημιουργία και Αξιολόγηση Συστήματος Δεικτών Βιώσιμης Ανάπτυξης: Η περίπτωση του Δήμου Πατρέων (Διπλωματική Εργασία). Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Νικολακόπουλος, Κ.Γ., Περισοράτης, Κ., Τσόμπος, Π.Ι., Μητρόπουλος, Δ., Γεωργίου, Χ., 2008. Καθορισμός του παλαιού αιγιαλού με γεωλογικά κριτήρια, in: 4ο Πανελλήνιο Συνέδριο «Διαχείριση και Βελτίωση Παράκτιων ζωνών». Μυτιλήνη, pp. 13–28.

Ν. Τσιμενίδης, 2000. Θαλάσσια Βιολογία (Σημειώσεις). Πανεπιστήμιο Κρήτης.

Παναγιωτίδης, Π., Χατζημπίρος, Κ., 2004. Παράκτια οικοσυστήματα και ανθρωπογενείς πιέσεις στις ακτές - Παραδείγματα από την Ελλάδα. ΕΛΚΕΘΕ.

Παπαδάμ, Μ., 2013. Αστικός Χώρος και Νομοθεσία - Αθήνα, Θεσσαλονίκη, Πάτρα (Ερευνητική Εργασία). Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο.

Παπαθεοδώρου, Γ., Κοντόπουλος, Ν., 1998. Καθορισμός των διευθύνσεων μεταφοράς των επιφανειακών ιζημάτων του Πατραϊκού και Αμβρακικού κόλπου με τη μέθοδο “McLAREN.” Δελτίον Της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας Τόμος 32, Τεύχος 2.

Παπανικολάου, Δ., Μακρής, Ι., Σταυρακάκης, Γ., Παπούλια, Ι., Σακελλαρίου, Δ., Σαχπάζη, Μ., Wodtke, D., 1997. Νεοτεκτονική δομή του Δ. Κορινθιακού κόλπου και γεωδυναμικά φαινόμενα του σεισμού του Αιγίου, in: Γεωλογική Ωκεανογραφία. Presented at the 5ο Πανελλήννιο Συμπόσιο Ωκεανογραφίας και Αλιείας, pp. 427–430.

Πετρέλης, Ν., 2012. Διερεύνηση των μοντέλων εκτίμησης της μετακίνησης της ακτογραμμής (Διδακτορική Διατριβή). Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ), Αθήνα.

Πούλος, Σ., Σπερελέκη, Μ., Δρακόπουλος, Π., 2009. Μελέτη της διασποράς του αιωρούμενου υλικού του Κορινθιακού Κόλπου με τη χρήση οπτικών μεθόδων. Presented at the 9ο Πανελλήνιο Συμπόσιο Ωκεανογραφίας & Αλιείας.

ΠΠΧΣΑΑ, ΠΔΕ, 2014. Περιφερειακό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης Περιφέρειας Δυτικής Ελλάδας. Γεν. Δ/νση Αναπτυξιακού Προγραμματισμού Περιβάλλοντος & Υποδομών, ΠΔΕ.

Σταματίου, Ε., 2003. Χωρικές δυσλειτουργίες και περιβαλλοντικές αλλοιώσεις στους παράκτιους νομούς της Ελλάδας - προβλήματα και προοπτικές. Σειρά Ερευνητικών Εργασιών 9, 489–512.

Στεφάτος, Α., 2005. Μελέτη ιζηματογενών διεργασιών και τεκτονικών δομών στον Κορινθιακό κόλπο, με τη χρήση γεωφυσικών μεθόδων (Διδακτορική Διατριβή). Πανεπιστήμιο Πατρών.

ΤΕΕ/ΔΕ, 2010. Διάβρωση των ακτών (Τεχνική Έκθεση Ομάδας Εργασίας). Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας / Τμήμα Δυτικής Ελλάδας (ΤΕΕ/ΔΕ).

Τζανετάτου, Β., 2010. Εφαρμογή της ολοκληρωμένης διαχείρισης παράκτιων ζωνών στις παραλιακές περιοχές Πατραϊκού κόλπου και νότιων Ιονίων νήσων (Διδακτορική Διατριβή). Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.

Τσώκος, Α., Κώτση, Ε., Βασιλάκης, Ε., 2013. Ψηφιακή επεξεργασία χρονοσειράς από δεδομένα τηλεπισκόπησης υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας με στόχο τη διαχρονική παρατήρηση της μετατόπισης των ακτογραμμών, in: 6ο Πανελληνίο Συνέδριο Διαχείρισης και Βελτίωσης Παράκτιων Ζωνών.

ΥΠΕΚΑ, 2006. Report of Greece on Coastal Zone Management. Ministry of the environment, physical planning and public works.

Φουρνιώτης, Ν., 2009. Τρισδιάστατη αριθμητική προσομοίωση της υδροδυναμικής κυκλοφορίας του Πατραϊκού κόλπου με έμφαση στον υπολογισμό ρευμάτων στην παράκτια ζώνη του λιμένα Πατρών (Διδακτορική Διατριβή). Πανεπιστήμιο Πατρών.

Χατζημπίρος, Κ., Παναγιωτίδης, Π., 2008. Ολοκληρωμένη Διαχείριση Παράκτιας Ζώνης. Αξιολόγηση της εφαρμογής του Ευρωπαϊκού θεσμικού πλαισίου. Presented at the 4ο Πανελλήνιο Συνέδριο «Διαχείριση και Βελτίωση Παράκτιων Ζωνών», Μυτιλήνη.

Χριστοδούλου, Δ., 2010. Γεωφυσική, ιζηματολογική μελέτη : τηλεμετρική παρακολούθηση κρατήρων διαφυγής ρευστών σε σεισμικά ενεργές περιοχές (Διδακτορική Διατριβή). Πανεπιστήμιο Πατρών.

Χριστόδουλου, Δ., Παπαθεοδώρου, Γ., Φακίρης, Η., Etiope, G., Φερεντίνος, Γ., 2009. Η ενεργοποίηση του πεδίου κρατήρων διαφυγής ρευστών (pockmarks) του Πατραϊκού Κόλπου μετά το σεισμό Mw=6.4R της 8ης Ιουνίου 2008, στη ΒΔ Πελοπόννησο. Presented at the 9ο Πανελλήνιο Συμπόσιο Ωκεανογραφίας & Αλιείας, pp. 003–008.