

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ



## Πτυχιακή εργασία

ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ  
ΡΥΘΜΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΩΝ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΩΝ  
ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ:

Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΠΟΛΕΩΣ ΧΡΥΣΟΧΟΥΣ

ΚΑΙ ΛΕΜΕΣΟΥ

Ζορπάς Ελευθέριος

Λεμεσός 2016



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

## **Πτυχιακή εργασία**

ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ  
ΡΥΘΜΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΩΝ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΩΝ  
ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ:

Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΠΟΛΕΩΣ ΧΡΥΣΟΧΟΥΣ  
ΚΑΙ ΛΕΜΕΣΟΥ

Ζορπάς Ελευθέριος

Σύμβουλος καθηγητής  
Δρ. Διόφαντος Χατζημιτσής

Λεμεσός 2016

## **Πνευματικά δικαιώματα**

Copyright © Ζορπάς Ελευθέριος, 2016

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον καθηγητή κ. Διόφαντο Χατζημιτσή για την ευκαιρία ανάθεσης της παρούσας πτυχιακής εργασίας. Ιδιαίτερες ευχαριστίες στο κ. Άθω Αγαπίου για την καθοδήγηση, τη βοήθεια και τις γνώσεις που μου μετέδωσε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας αυτής και των σπουδών μου.

Θερμά ευχαριστώ, τον κ Στέλιο Ζερβό, υπεύθυνο του κλάδου Θαλάσσιων Έργων του Τμήματος Δημοσίων Έργων του Υπουργείου Συγκοινωνιών και Έργων, καθώς επίσης και όλους τους λειτουργούς του κλάδου για την πολύτιμη βοήθεια, τις πληροφορίες και δεδομένα που μου διέθεσαν για τις περιοχές μελέτης. Θερμές ευχαριστίες στο καθηγητή κ. Αντώνη Τουμαζή, για την πολύτιμη βοήθεια του και για τη άμεση ανταπόκριση του ως προς την επίλυση αποριών και ανταλλαγή απόψεων για δυσκολίες που αντιμετωπίστηκαν.

Θερμές ευχαριστίες στη οικογένεια μου, στη σύζυγο μου Αλεξάνδρα και υιό μου Φίλιππο για την έμπρακτη συμπαράσταση, και ένα συγνώμη για τον κοινό μας χρόνο που στερήθηκαν στη προσπάθεια ολοκλήρωσης της παρούσας εργασίας και των σπουδών μου γενικότερα.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη της μεταβολής των ακτογραμμών για τα παράκτια μέτωπα της Πόλεως Χρυσοχούς και Λεμεσού στη Κύπρο, αναδεικνύοντας τα πλεονεκτήματα της χρήσης της Γεωπληροφορικής στις διαδικασίες μελέτης της παράκτιας ζώνης γενικότερα.

Η περιοχή της Πόλεως Χρυσοχούς παρουσιάζει σημαντικά προβλήματα διάβρωσης. Σήμερα, στη περιοχή έχουν κατασκευαστεί τέσσερις (4) παράλληλοι κυματοθραύστες και προγραμματίζεται να κατασκευαστούν ακόμη δέκα (10), για την αντιμετώπιση του έντονου αυτού φαινομένου.

Η δεύτερη περίπτωση μελέτης, του παραλιακού μετώπου της Λεμεσού, αποτελεί ένα ιδιαίτερο παράδειγμα μελέτης μεταβολής της ακτογραμμής, λόγω των εκτεταμένων ενεργειών επέμβασης στη παράκτια ζώνη. Στη περιοχή σήμερα είναι κατασκευασμένοι σαράντα-έξι (46) παράλληλοι κυματοθραύστες και εμφανέστατα μπορεί να παρατηρηθεί μελετώντας τα δεδομένα των ιστορικών ακτογραμμών το μέγεθος των επεμβάσεων των ανθρώπινων ενεργειών για την εκμετάλλευση της πολύτιμης αυτής ζώνης.

Η διαδικασία μοντελοποίησης και εξαγωγής αποτελεσμάτων έγινε μέσα από λειτουργίες Γεωπληροφορικής με χρήση του λογισμικού ArcGIS, και το εργαλείο επέκτασης DSAS που παρέχεται από την Αμερικάνικη υπηρεσία Γεωλογικής Επισκόπησης (USGS). Δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη αυτή είναι διανυσματικά δεδομένα ιστορικών ακτογραμμών του 1963, 1973, 1993, 2003, 2008, τα οποία προήλθαν από επεξεργασία πρωτογενών δεδομένων, όπως ορθοφωτοχάρτες και δορυφορικές εικόνες από το Τμήμα Κτηματολογίου και Χωρομετρίας.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν, αξιολογήθηκαν και αναλύθηκαν για την εκτίμηση της κατάστασης στις δύο περιοχές κατά την περίοδο μελέτης 1963-2008.

**Λέξεις κλειδιά:** Διάβρωση, Ακτογραμμή, DSAS, Συντελεστής προσδιορισμού  $R^2$ , Πόλις Χρυσοχούς, Λεμεσός.

## ABSTRACT

Primary aim of this thesis is the determination and analysis of coastline transition through the year-span 1963-2008, of the coastal fronts of Polis Chrysochous and Limassol in Cyprus, highlighting the advantages provided by using GIS tools, in procedures studying coastal zones in general.

The coast of Polis Chrysochous experiences significant erosion problems. Today, in situ four (4) parallel breakwaters are constructed and an additional ten (10) are about to be built in order to constraint erosion. The second case study, refers to Limassol's beach front, as a unique example of shoreline analysis study due to the extensive interferences carried out along the coast through the study period 1963-2008. In situ today forty-six (46) parallel breakwaters are constructed in order to replace all the inefficient and antiesthetic groins constructed under desperate decisions taken in the past to control erosion phenomena. Having a glimpse through historical shoreline data, anyone can appraise the size of human interventions made for the exploitation of this highly privileged region.

Final results for the coastline transition model and analysis were calculated using an extension tool named DSAS (Digital Shoreline Analysis System) in ArcGIS software, provided by United States Geological Service (USGS). Vector data of historical shorelines positions of 1963, 1973, 1993, 2003, 2008, resulted from processing raw data, such as orthophotos maps and satellite images by the Department of Lands and Surveys, were processed through methodologies in order to calculate the annual rates of the coastline transition for both areas of study, through the study period 1963-2008.

# ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	iv
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ .....	iv
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ .....	vi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ .....	vii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ .....	viii
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ .....	ix
ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ .....	x
ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	xi
1. Βιβλιογραφική ανασκόπηση .....	1
1.1 Παράκτια Ζώνη .....	1
1.2.1 Μηχανισμοί-διεργασίες παράκτιας ζώνης: .....	1
1.2 Δυνάμεις μεταβολής των ακτογραμμών .....	2
1.2.1 Παλίρροια .....	4
1.2.2 Κύματα και ρεύματα .....	5
1.2.3 Στερεομεταφορά – Κύκλος των ιζημάτων .....	6
1.2.4 Διάβρωση .....	7
1.3 Έργα Προστασίας των ακτών .....	10
1.4 Διαδικασίες υπολογισμού μεταβολής των ακτογραμμών .....	12
1.4.1 Χωρικός προσδιορισμός και απόσπαση των ακτογραμμών .....	13
1.4.2 Σφάλματα προσδιορισμού της ακτογραμμής .....	14
2. Μεθοδολογία προσδιορισμού μεταβολής της ακτογραμμής .....	16
2.1 Δεδομένα .....	16
2.2 Digital Shoreline Analysis System (DSAS v.4.0) .....	18
2.1.1 End Point Rate -EPR .....	18
2.1.2 Linear Regression Rate -LRR : .....	19
2.1.3 Weighted Linear Regression(WLR) .....	20
2.1.4 Τυπικό σφάλμα εκτίμησης- WSE .....	22
2.1.5 Συντελεστής προσδιορισμού $R^2$ (LR2 και WR2) .....	22
2.1.6 Γραμμή βάσης και Χάραξη καθέτων .....	23
2.1.7 Υπολογισμός στατιστικών μεγεθών - Διάστημα εμπιστοσύνης .....	24
3. Περιοχή Μελέτης – Πόλης Χρυσοχούς .....	26
3.1 Δυναμικό Στερεομεταφοράς της περιοχής .....	28
3.2.1 Αποτελέσματα από δεδομένα 1963, 1973, 1993, 2003, 2008 .....	30



3.2.2	Αξιολόγηση αποτελεσμάτων από τα δεδομένα ιστορικών ακτογραμμών 1963, 1973, 1993, 2003, 2008.....	35
4.	Περιοχή Μελέτης - Λεμεσός .....	38
4.3	Δυναμικό Στερεομεταφοράς της περιοχής.....	39
4.4	Έργα προστασίας από τη διάβρωση (περίοδος 1963-2008).....	40
4.5	Διαδικασίες υπολογισμού στατιστικών μεγεθών.....	40
4.5.1	Ορισμός Γραμμής βάσης και δημιουργία διατομών.....	40
4.5.2	Αποτελέσματα από δεδομένα ιστορικών ακτογραμμών 1963, 1973, 1993, 2003, 2008.....	42
4.5.3	Αξιολόγηση αποτελεσμάτων από τα δεδομένα ιστορικών ακτογραμμών 1963, 1973, 1993, 2003, 2008.....	46
5.	Συμπεράσματα .....	51
6.	Βιβλιογραφία-Αναφορές.....	54

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Παράκτια Ζώνη .....	2
Εικόνα 2: Το φαινόμενο της παλίρροιας.....	5
Εικόνα 3: Επίδραση του πυθμένα στα χαρακτηριστικά των κυμάτων .....	6
Εικόνα 4: Φορτία σε αιώρηση από κυματισμό .....	7
Εικόνα 5 : Κίνηση ιζημάτων στη ακτή .....	7
Εικόνα 6: Διαχωρισμός παράκτιας ζώνης ως προς τη διάβρωση. ....	8
Εικόνα 7: Αρχές που επηρεάζουν την μεταφορά ιζημάτων σε ένα "σύστημα στερεομεταφοράς" .....	9
Εικόνα 8: Κυματοθραύστες (Λεμεσός).....	10
Εικόνα 9: Κυματοθραύστες από φυσικούς και τεχνητούς ογκολίθους. ....	10
Εικόνα 10: Πρόβολοι (Ολλανδία).....	11
Εικόνα 11: Προσάμμιση ανάντη κυματοθραυστών (Ορόκλινη).....	12
Εικόνα 12: Επίδραση προβόλων στις αμμώδεις ακτές (πχ. Ocean City, New Jersey) .....	12
Εικόνα 13: Μέγεθος EPR.....	19
Εικόνα 14: Στατιστικό μέγεθος LRR.....	20
Εικόνα 15: Στατιστικό μέγεθος WLR.....	21
Εικόνα 16: α) Ορισμός κατεύθυνσης και βήματος χάραξης καθέτων, β) ορισμός ακτίνας εξομάλυνσης καθέτων.....	24
Εικόνα 17: Επιλογή στατιστικών μεγεθών προς υπολογισμό.....	24
Εικόνα 18 : Διάστημα εμπιστοσύνης .....	25
Εικόνα 19: Ποταμοί που εκβάλουν στο κόλπο Χρυσοχούς - Φράγμα της Ευρέτου (υπόβαθρο ArcGIS Earth) .....	26
Εικόνα 20: Ιστορικές ακτογραμμές - Περιοχή Πόλεως Χρυσοχούς (εκβολή ποταμού Χρυσοχούς πάρα τον κατασκευητικό χώρο).....	27
Εικόνα 21: Περιοχή μελέτης.....	27

Εικόνα 22: α) Δυναμικό Στερεομεταφοράς για Βόρειο άνεμο 5 μποφόρ β) Δυναμικό στερεομεταφοράς για Βόρειο άνεμο 9 μποφόρ. ....	28
Εικόνα 23: α) Δυναμικό Στερεομεταφοράς για Βόρειο-Βορειοανατολικό άνεμο 5 μποφόρ β) Δυναμικό στερεομεταφοράς για Βόρειο-Βορειοανατολικό άνεμο 9 μποφόρ. ....	28
Εικόνα 24: α) Δυναμικό Στερεομεταφοράς για Βόρειο-Βορειοδυτικό άνεμο 5 μποφόρ β) Δυναμικό στερεομεταφοράς για Βόρειο-Βορειοδυτικό άνεμο 9 μποφόρ. ....	29
Εικόνα 25: Ορισμός γραμμής βάσης και δημιουργία διατομών - Περιοχή Πόλεως Χρυσοχούς .....	29
Εικόνα 26: Ακτογραμμές 1963 & 2008 (υπόβαθρο Αεροφωτογραφία του 1963) .....	38
Εικόνα 27: Δυναμικό Στερεομεταφοράς περιοχής Λεμεσού (υπόβαθρο ArcGIS Earth) .....	39
Εικόνα 28: Περίοδοι κατασκευής κυματοθραυστών .....	40
Εικόνα 29: Περιοχές με έντονα στοιχεία επεμβάσεων (υπόβαθρο από αεροφωτογραφία 2008) .....	41
Εικόνα 30: Εμπλουτισμός ακτής Ολυμπίων .....	49

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

Γράφημα 1: LR2 vs WR2 (Περιοχή Μελέτης Πόλεως Χρυσοχούς).....	34
Γράφημα 2: Αποστάσεις από τη γραμμή βάσης -Διατομή 78 (Πόλις Χρυσοχούς).....	36
Γράφημα 3: Ρυθμοί διάβρωσης για τις περιόδους 1963-1973 και 1993-2008 (σημείο εκβολής ποταμού-Πόλις Χρυσοχούς). ....	36
Γράφημα 4: LR2 vs WR2 (Περιοχή Μελέτης Λεμεσός).....	46
Γράφημα 5: Αποστάσεις από τη γραμμή βάσης -Διατομή 49 (περιοχή Δασούδι -Λεμεσού).48	
Γράφημα 6: Μείωση ρυθμού διάβρωσης από το 1993 -Διατομή 49 (περιοχή Δασούδι - Λεμεσού).....	48
Γράφημα 7: Αποστάσεις από τη γραμμή βάσης -Διατομή 27 (περιοχή ακτής Ολυμπίων Λεμεσού).....	50
Γράφημα 8: Αποστάσεις από τη γραμμή βάσης -Διατομή 27 (ρυθμός διάβρωσης περίοδος 1973-2003, περιοχή ακτής Ολυμπίων Λεμεσού).....	50

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Χώρο-χρονική κλίμακα μεταβολής των ακτογραμμών και των παραλίων από φυσικά αίτια .....	3
Πίνακας 2: Χώρο-χρονική κλίμακα μεταβολής των ακτογραμμών και των παραλίων από ανθρωπογενής αίτια .....	4
Πίνακας 3: Δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν.....	16
Πίνακας 4: Στατιστικά μεγέθη που υπολογίζονται απο το εργαλείο DSAS.....	18
Πίνακας 5: Αποτελέσματα στατιστικών μεγεθών από δεδομένα ιστορικών ακτογραμμών 1963, 1973, 1993, 2003, 2008, για τη περιοχή Πόλεως Χρυσοχούς.....	34
Πίνακας 6: Αποτελέσματα στατιστικών μεγεθών από δεδομένα ιστορικών ακτογραμμών 1963, 1973, 1993, 2003, 2008, για τη περιοχή Λεμεσού.....	45
Πίνακας 7: Ικανοποιητικά αποτελέσματα διατομών 40-42, 48-52 (περιοχή Δασούδι-Λεμεσός) .....	47

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Ιστορικές Ακτογραμμές.....	17
Σχήμα 2: Εύρος Αβεβαιότητας ιστορικών ακτογραμμών.....	17
Σχήμα 3: Ρυθμοί Διάβρωσης στη εκβολή του ποταμού Χρυσοχούς .....	35
Σχήμα 4: Ορισμός γραμμής βάσης και δημιουργία διατομών - Παραλιακό μέτωπο Λεμεσού .....	41
Σχήμα 5: Διατομές και αποτελέσματα για τη περιοχή Δασούδι - Λεμεσός .....	47

## ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

ΤΕ.ΠΑ.Κ.:	Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου
Μ.Σ.Θ.:	Μέση Στάθμη Θάλασσας
Γ.Σ.Π.:	Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών

## ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ

fetch	Η απόσταση της θάλασσας πάνω στη οποία φυσάει ο άνεμος
Total Station	Γεωδαιτικός Σταθμός
Surf Zone	Ζώνη Κυματαγωγής
GNSS	Παγκόσμιο Δορυφορικό Σύστημα Πλοήγησης
USGS	Αμερικάνικη Υπηρεσία Γεωλογικής Επισκόπησης
DSAS	Digital Shoreline Analysis System -Ψηφιακό Σύστημα Ανάλυσης Ακτογραμμών



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η πληροφορία είναι η βάση για την αειφόρο ανάπτυξη. Εάν μία απόφαση λαμβάνεται χωρίς οποιεσδήποτε ποιοτικές πληροφορίες να την στηρίζουν τότε η απόφαση βασίζεται σε ανακριβείς υποθέσεις. Ο περιβαλλοντικός σχεδιασμός και η σωστή διαχείριση του φυσικού πλούτου απαιτούν όπως οι πληροφορίες που αναλύονται στις διαδικασίες λήψεως αποφάσεων να είναι ακριβείς, περιεκτικές και ενημερωμένες.

Η χρήση της Γεωπληροφορικής στη μελέτη συμπεριφοράς της παράκτιας ζώνης και του περιβάλλοντος γενικότερα, παρέχει σημαντικά πλεονεκτήματα στην σωστή εκτίμηση καταστάσεων και στη εξαγωγή φιλτραρισμένων αποτελεσμάτων που βοηθούν στη λήψη ορθολογικών αποφάσεων διαχείρισης, γρήγορα και με τεκμηριωμένα αποτελέσματα.

Η ανάγκη σωστού ελέγχου φαινομένων διάβρωσης των ακτών, αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι στη διαχείριση της παράκτιας ζώνης, αλλά και σπαζοκεφαλιά για τους μελετητές έργων ανάπτυξης στη παράκτια ζώνη, που έχουν ως κύριο μέλημα την αειφόρο εκμετάλλευση της παράκτιας ζώνης διαφυλάσσοντας το ευαίσθητο περιβάλλον με αποδοτικά έργα εναρμονισμένα με τη φύση και τους μηχανισμούς που την διέπουν.

Η εργασία μέσα από τη δομή των κεφαλαίων, παρουσιάζει τις φυσικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στη παράκτια ζώνη, τη διαδικασία μοντελοποίησης της ιστορικής αλλαγής των ακτογραμμών, βαθμονομώντας το μοντέλο σύμφωνα με την ακρίβεια των δεδομένων που παρέχονται για την βελτιστοποίηση των αποτελεσμάτων.

### Δομή της εργασίας:

- Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά βασικών εννοιών που αναφέρονται στη εργασία αυτή, όπως περιγραφή παράκτιων διεργασιών και φυσικών μηχανισμών που παρατηρούνται στη παράκτια ζώνη, καθώς επίσης και αναφορές για κατασκευαστικά έργα που σκοπό έχουν τη προστασία της ακτής από τη διάβρωση, έργα όπως κυματοθραύστες και βραχίονες.
- Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μία αναφορά των δυνατοτήτων του εργαλείου DSAS (Digital Shoreline Analysis System), όπως επίσης η μεθοδολογία προσδιορισμού των στατιστικών μεγεθών των ρυθμών μεταβολής της ακτογραμμής και πώς αυτά υπολογίζονται λαμβάνοντας υπόψιν τυχόν αβεβαιότητες και σφάλματα που υπεισέρχονται στη όλη διαδικασία μελέτης.

- Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται περιγραφή της διαδικασίας υπολογισμού ρυθμών μεταβολής της ακτογραμμής για το παραλιακό μέτωπο της Πόλεως Χρυσοχούς. Παρατίθενται τα αποτελέσματα των στατιστικών μεγεθών της μελέτης για την περίοδο 1963-2008 και η απεικόνιση αυτών σε χάρτη κλίμακας 1:8000, που επισυνάπτεται στο APPENDIX I. Σχολιάζονται κατά πόσο αυτά είναι αντιπροσωπευτικά σύμφωνα με τον συντελεστή προσδιορισμού, παρουσιάζοντας παράδειγμα διατομής στο σημείο εκβολής του ποταμού Χρυσοχούς.
- Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφεται η διαδικασία υπολογισμού ρυθμών μεταβολής της ακτογραμμής για το παραλιακό μέτωπο της Λεμεσού, περιοχή μελέτης από το παλιό λιμάνι μέχρι τη Αμαθούντα. Γίνεται σχολιασμός της ιδιαίτερης αυτής περίπτωσης παραλιακού μετώπου στη περιοχή της Λεμεσού και οι δυσκολίες μοντελοποίησης της αλλαγής της ακτογραμμής λόγω των εκτεταμένων επεμβάσεων στη περιοχή κατά τη διάρκεια της περιόδου μελέτης 1963-2008. Αναδεικνύεται η σπουδαιότητα της χρήσης της Γεωπληροφορικής στις διαδικασίες μοντελοποίησης και προσδιορισμό των ρυθμών μεταβολής των ακτογραμμών, αφού ο μελετητής μπορεί μέσα από μεθοδολογίες και χρησιμοποιώντας διάφορα εργαλεία, να εξάγει συμπεράσματα και υποθέσεις για την υφιστάμενη κατάσταση αλλά και για παρελθοντικές καταστάσεις, έχοντας το πλεονέκτημα της ανάκτησης ιστορικών πληροφοριών και καταστάσεων διάβρωσης η πρόσχωσης για το σημείο που τον ενδιαφέρει.
- Στο πέμπτο κεφάλαιο αναλύονται τα συμπεράσματα που εξήχθησαν με την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας, σύμφωνα με τα αποτελέσματα που υπολογίστηκαν για τις δύο περιοχές μελέτης.

# 1. Βιβλιογραφική ανασκόπηση

## 1.1 Παράκτια Ζώνη

Σύμφωνα με το Πρωτόκολλο Ολοκληρωμένης Διαχείρισης Παράκτιων Περιοχών της Σύμβασης της Βαρκελώνης, «*παράκτια ζώνη*» ορίζεται η γεωγραφική περιοχή στη οποία οι αλληλοεπιδράσεις μεταξύ του θαλάσσιου και χερσαίου τμήματος συμβαίνουν σε μορφή σύνθετων οικολογικών συστημάτων, που προκαλούνται από βιοτικά και αβιοτικά συστατικά, συνυπάρχοντας και αλληλοεπιδρώντας με τις ανθρώπινες κοινωνίες και τις σχετικές κοινωνικο-οικονομικές δραστηριότητες. (Τμήμα Περιβάλλοντος, 2011)

Η διαχείριση και προστασία των παράκτιων ζωνών είναι σημαντική γενικότερα, καθώς οι περιοχές αυτές είναι κατοικήσιμες από τη πλειοψηφία του παγκόσμιου πληθυσμού, και αποτελούν σημαντικά οφέλη στην οικονομία μιας χώρας (Δουκάκης Ε., 2007). Οι παραλίες, πέραν της σημασίας τους για την οικονομία αποτελούν σημαντικό οικότοπο για αρκετά είδη χλωρίδας και πανίδας. Στη Κύπρο έχουν χαρακτηριστεί από τη Διεθνή Ένωση Προστασίας της Φύσης (IUCN) ως κινδυνεύοντα είδη με εξαφάνιση η χελώνα καρέτα-καρέτα η πράσινη χελώνα η μεσογειακή φώκια, και το κρισίμως κινδυνεύον ενδημικό φυτό Μαλκόμια η νανώδης ποικ. η γυμνή (*malcomia nana* var. *glabra*), του οποίου ο μοναδικός πληθυσμός στο νησί περιορίζεται σε μικρή έκταση εντός της περιοχής του δικτύου «NATURA 2000». Η ελκυστικότητα των κυπριακών παραλιών δημιουργεί όμως αναπόφευκτα πιέσεις ως προς την ανάπτυξη τους, γεγονός αναμενόμενο και αυτό πρέπει να γίνεται με τρόπο που να διασφαλίζεται η αειφορία των παραλιών ώστε να αποφευχθούν καταστροφικές και μη αναστρέψιμες επιπτώσεις σε αυτές.

Μέχρι πρόσφατα, τα παράκτια έργα που κατασκευάζονταν δεν λάμβαναν υπόψη τη περιβαλλοντική διάσταση ενός παράκτιου συστήματος. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την επίδραση από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες και επεμβάσεις δημιούργησε πολλά προβλήματα στις ακτές με σημαντικότερο τη διάβρωση.

### 1.2.1 Μηχανισμοί-διεργασίες παράκτιας ζώνης:

Διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στη παράκτια ζώνη

- Μεταφορά ενέργειας και κίνηση υδάτινων μαζών
- Μεταφορά και απόθεση ιζημάτων

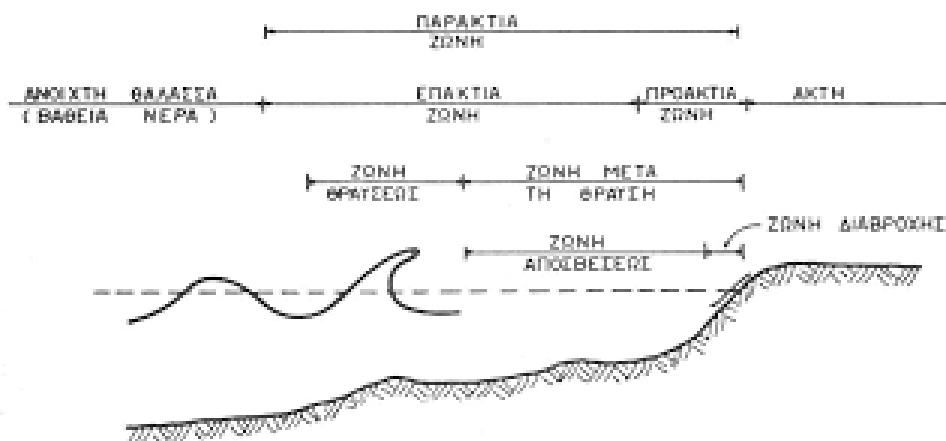
- Μεταβολή της μορφής της παράκτιας ζώνης

Ζώνες που αποτελούν τη παράκτια ζώνη:

- Ζώνη πριν τη θραύση<sup>1</sup>: Πεδίο όπου είναι εμφανές οι παραμορφώσεις των κυμάτων
- Ζώνη θραύσης: Χαρακτηρίζεται το δυναμικό τμήμα της παράκτιας ζώνης όπου εμφανίζεται και ολοκληρώνεται η θραύση των κυμάτων.
- Ζώνη μετά τη θραύση, υποδιαιρείται σε ζώνη απόσβεσης και διαβροχής.

Το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας του θραυόμενου κύματος αποσβένεται στη ζώνη θραύσης και το εύρος της εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των κυμάτων, την παλίρροια και τη κλίση του πυθμένα.

Η ζώνη διαβροχής βρίσκεται μεταξύ από την κατώτερη θέση της ακτογραμμής και εσωτερικά από την ανώτερη θέση της ίδιας γραμμής. Αναλόγως της κλίσης του πυθμένα και των περιβαλλοντικών συνθηκών διαμορφώνεται και το πλάτος της.



Εικόνα 1: Παράκτια Ζώνη

Πηγή: (Μουτζούρης Κ., 1985)

## 1.2 Δυνάμεις μεταβολής των ακτογραμμών

Η παρουσίαση της ακτογραμμής σαν ένα γεωγραφικό χαρακτηριστικό δεν είναι παρά μια απλουστευμένη παρουσίαση ενός δυναμικού φαινομένου αλληλεπίδρασης της ακτής με τη

---

<sup>1</sup> Φυσικός μηχανισμός παρατήρησης αστάθειας του κύματος, λόγω μειωμένου βάθους και κλίσης του πυθμένα

θάλασσα, προκαλώντας διάβρωση ή απόθεση ανάλογα με τη χρονική κλίμακα και τους παράγοντες που επιδρούν είτε αυτοί είναι φυσικοί ή ανθρωπογενείς επεμβάσεις.

Φυσικοί παράγοντες που επηρεάζουν τις μεταβολές στις ακτογραμμές είναι οι κυματισμοί, οι παλίρροιες, η μεταβολή της στάθμης της θάλασσας, η τροφοδοσία των ιζημάτων, το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής, το κλίμα, η επιφανειακή απορροή από τις βροχές και οι βιολογικοί δείκτες.

Πέραν των φυσικών αιτιών που προκαλούν μεταβολές στις ακτογραμμές είναι και οι ανθρώπινες επεμβάσεις, οι οποίες επιδρούν και επηρεάζουν σημαντικά στη δυναμικότητα του φαινομένου μεταβολής. Κατασκευές όπως προκουμαίες, προβλήτες, κυματοθραύστες και φράγματα σε παρακείμενους ποταμούς συνήθως επιφέρουν σημαντικές αλλαγές στη μορφή και τη λειτουργία της ακτής. Επίσης η παράνομη λάξευση και αμμοληψία αποτελεί αρνητικές επιδράσεις. Συγκεκριμένα το φαινόμενο έχει παρατηρηθεί έντονα στη Κύπρο κατά τη περίοδο μετά το 1974 όπου οι ανάγκες υλικών για κατασκευή υποστατικών οίκησης για τους εκτοπισμένους ήταν μεγάλες.

Τα φυσικά και ανθρωπογενή αίτια μεταβολής των ακτογραμμών και των παραλιών σε σχέση με τη κλίμακα χρόνου και χώρου όπου συμβαίνουν, παρουσιάζονται στους πιο κάτω πίνακες:

Κλίμακα (χρονική – χωρική)	Φυσικά αίτια
Αιώνες ή χιλιετηρίδες – περισσότερο των 100km	<ul style="list-style-type: none"> <li>☞ Διαθεσιμότητα σε ιζήματα</li> <li>☞ Σχετική μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης</li> <li>☞ Κατακόρυφες κινήσεις του πυθμένα</li> <li>☞ Γεωλογικό υπόβαθρο</li> <li>☞ Γεωλογικής κλίμακας κλιματικές αλλαγές</li> <li>☞ Παλαιομορφολογία</li> </ul>
Δεκάδες χρόνια έως μερικούς αιώνες – 10 έως 100km	<ul style="list-style-type: none"> <li>☞ Σχετική μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης</li> <li>☞ «Κύματα άμμου»</li> <li>☞ Τοπικές κλιματικές μεταβολές</li> <li>☞ Ακραία καιρικά φαινόμενα</li> </ul>
1 έως 10 χρόνια – 1 έως 5km	<ul style="list-style-type: none"> <li>☞ Κλιματικές μεταβολές κυμάτων</li> <li>☞ Μεταβολή του αναβαθμού της ζώνης κυματοαγωγής</li> <li>☞ Ακραία καιρικά φαινόμενα</li> </ul>
Ώρες έως 1 έτος – 10m έως 1km	<ul style="list-style-type: none"> <li>☞ Κύματα, παλίρροιες και καταγίδες</li> <li>☞ Εποχιακές κλιματικές αλλαγές</li> </ul>

**Πίνακας 1:** Χώρο-χρονική κλίμακα μεταβολής των ακτογραμμών και των παραλιών από φυσικά αίτια  
 Πηγή: (Λουκάκης Ε., 2007)

Κλίμακα (χρονική – χωρική)	Ανθρωπογενή αίτια
Αιώνες ή χιλιετηρίδες – περισσότερο των 100km	<ul style="list-style-type: none"> <li>☞ Κλιματικές αλλαγές προκαλούμενες από ανθρώπινες δραστηριότητες</li> <li>☞ Μεταβολή στην απορροή μεγάλων ποταμών (φράγματα κλπ)</li> <li>☞ Μεγάλες παράκτιες κατασκευές</li> <li>☞ Αναμορφώσεις της παράκτιας ζώνης σε μεγάλη κλίμακα</li> <li>☞ (Μη)Διαχείριση παρακτίων ζωνών με σειρά από τεχνικά έργα</li> </ul>
Δεκάδες χρόνια έως μερικούς αιώνες – 10 έως 100km	<ul style="list-style-type: none"> <li>☞ Μεταβολή στην απορροή ποταμών (φράγματα κλπ)</li> <li>☞ Παράκτια τεχνικά έργα</li> <li>☞ Αναμορφώσεις της παράκτιας ζώνης</li> <li>☞ Παράκτια (μη) διαχείριση</li> <li>☞ Υπερεκμετάλλευση φυσικών πόρων</li> </ul>
1 έως 10 χρόνια – 1 έως 5km	<ul style="list-style-type: none"> <li>☞ Κατασκευές στη ζώνη κυματαγωγής</li> <li>☞ Ανατροφοδότηση παραλιών με άμμο</li> </ul>
Ωρες έως 1 έτος – 10m έως 1km	<ul style="list-style-type: none"> <li>☞ Κατασκευές στη ζώνη κυματαγωγής</li> <li>☞ Ανατροφοδότηση παραλιών με άμμο</li> </ul>

**Πίνακας 2:** Χώρο-χρονική κλίμακα μεταβολής των ακτογραμμών και των παραλιών από ανθρωπογενής αίτια

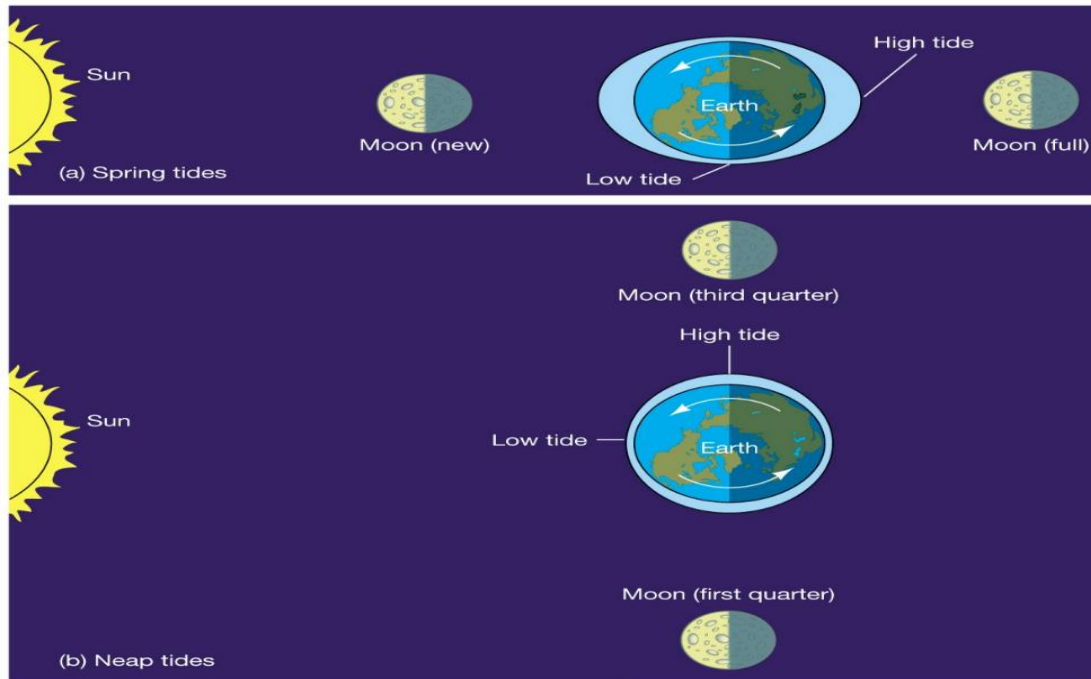
Πηγή: (Λουκάκης Ε., 2007)

### 1.2.1 Παλίρροια

Το φυσικό φαινόμενο της περιοδικής ανόδου και καθόδου της στάθμης της θάλασσας ή μίας μεγάλης λίμνης, των υδάτινων επιφανειακών όγκων γενικότερα, το οποίο οφείλεται στη βαρυτική έλξη που ασκείται από τη Σελήνη και σε μικρότερο βαθμό από τον Ήλιο στη Γη, συμπεριλαμβανομένου της περιστροφής της Γης γύρω από το άξονα της, μετατοπίζοντας τα ύδατα αναλόγως της θέσης της Σελήνης. Σε ακτές με απότομες κλίσεις η παλίρροια εμφανίζεται ως κατακόρυφη μετατόπιση καθώς η οριζόντια μετατόπιση είναι πρακτικά μηδενική.

Σε ακτές όπου παρατηρούνται παλίρροιες άνω των 2-3μ, η παραλία διαμορφώνεται με τη συμβολή τόσο των κυμάτων όσο και της παλίρροιας, καθώς η παλινδρομική μετακίνηση των νερών γίνεται σε διάστημα λίγων ωρών προκαλώντας σημαντικές μεταφορές ποσότητας ιζημάτων.

Σύμφωνα με έκθεση του Τμήματος Αλιείας και Θαλάσσιων Ερευνών, στις κυπριακές ακτές το εύρος της παλίρροιας που παρατηρείται είναι της τάξης 0,3-0,4μ.



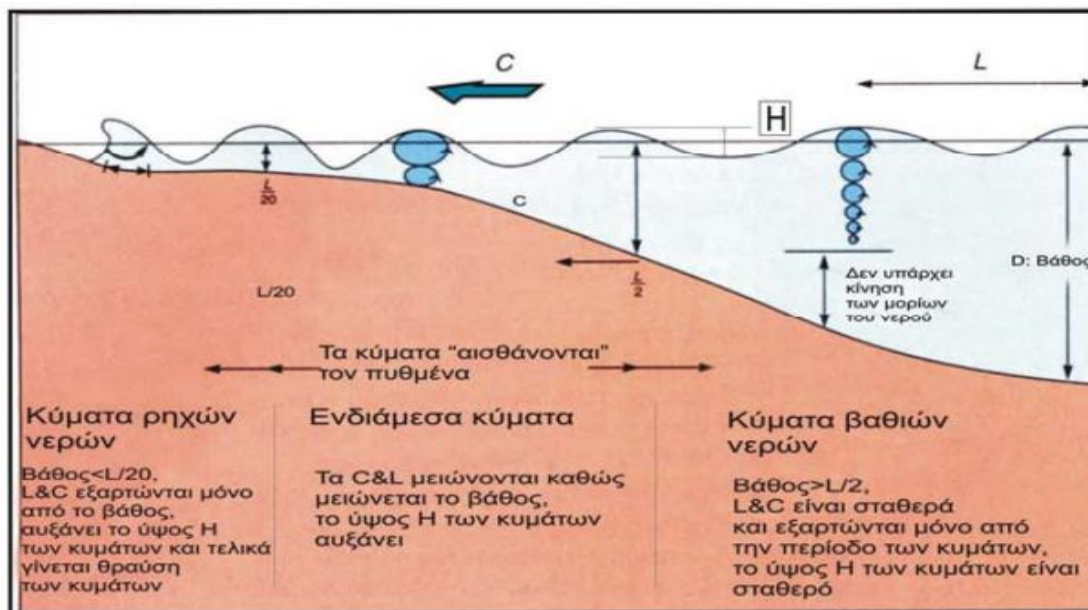
Εικόνα 2: Το φαινόμενο της παλίρροιας

Πηγή: (Astronomy & Astrophysics Dept, PennState, -)

### 1.2.2 Κύματα και ρεύματα

Ως θαλάσσιος κυματισμός ορίζεται η συνισταμένη διαταραχή της θαλάσσιας μάζας από τις ταλαντώσεις των σωματιδίων που απομακρύνονται από τη θέση ισορροπίας τους και επανέρχονται στις αρχικές τους θέσεις. Τα κύματα διακρίνονται σε δισδιάστατα, τρισδιάστατα, αναπτυσσόμενα, ανεπτυγμένα και αποσβαινόμενα αναλόγως αν η περίοδος ταλαντώσεων των σωματιδίων είναι μεγάλη ή μικρή. Χαρακτηριστικά μεγέθη των κυμάτων είναι το μήκος κύματος, η περίοδος, το ύψος, και η ταχύτητα του κύματος. Η κατεύθυνση των κυμάτων εξαρτάται κυρίως από τον άνεμο και από το φαινόμενο διάθλασης για κύματα σε ρηχά νερά. Η γένεση των ρευμάτων γίνεται μέσα στη ζώνη κυματαγωγής (surf zone), όπως επίσης από κύματα σε περιοχές οι οποίες πρόσκεινται στη ζώνη αυτή και την προσεγγίζουν τις ισοβαθείς υπό γωνία. Σε κατά μήκος ευθύγραμμες παραλίες τα κύματα που προσεγγίζουν την ακτή υπό γωνία σχηματίζουν επίμηκες ρεύματα κατά μήκος της ακτογραμμής.





Εικόνα 3: Επίδραση του πυθμένα στα χαρακτηριστικά των κυμάτων

Πηγή: (Duxbury, A.B and Duxbury A.C., 1996) με τροποποίηση

### 1.2.3 Στερεομεταφορά – Κύκλος των ιζημάτων

Η διάβρωση στη ξηρά ορίζεται ως, η αποκόλληση σωματιδίων λόγω θερμοκρασιακών αλλαγών και περιβαλλοντικών δράσεων. Τα αποκολλημένα σωματίδια μεταφέρονται και καταλήγουν στην θάλασσά με κινητήριο μέσο το νερό της βροχής και διαμέσου των ποταμών. Απαιτείται ικανή ροή νερού για την μεταφορά των ιζημάτων, και απαραίτητα η παρουσία ιζημάτων σε άμεση επαφή με το νερό.

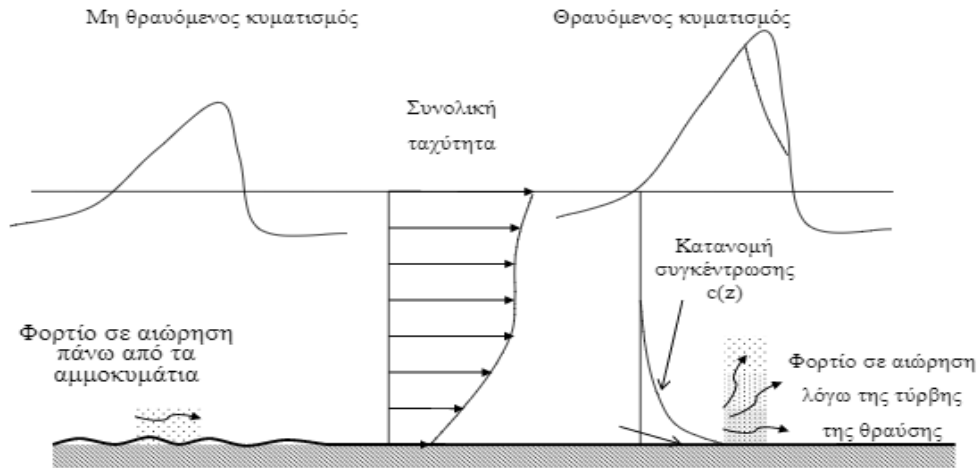
Υπό γεωλογικής απόψεως, οι ακτές και ο πυθμένας των παράκτιων περιοχών είναι βραχώδεις όπου η χρονική κλίμακα μεταβολής τους παρατηρείται με τη πάροδο αιώνων και αμμώδες/γαιώδες περιοχές όπου η αντίστοιχη μεταβολή τους παρατηρείται σε πέρασ ορισμένων ορών σε φαινόμενα θύελλας μέχρι και αιώνες.

Η δράση των κυματισμών και η μεταφορική ικανότητα των ρευμάτων αποσταθεροποιεί τις τεράστιες ποσότητες ιζημάτων στο βυθό με αποτέλεσμα την μετακίνηση υλικών αναλόγως της κατεύθυνσης των ρευμάτων και την ενέργεια που τα διέπει.



## ΦΟΡΤΙΟ ΣΕ ΑΙΩΡΗΣΗ

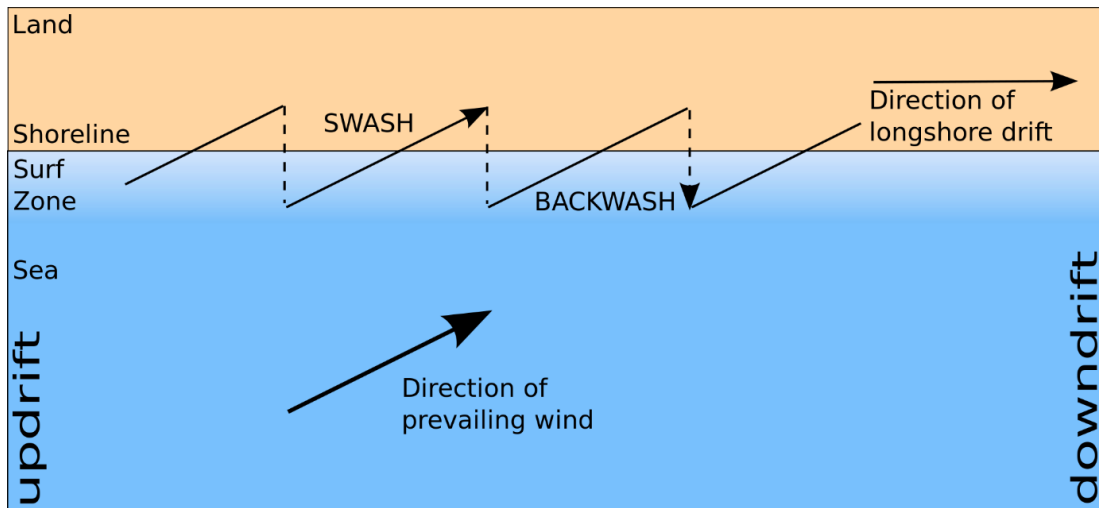
Λόγω της τύρβης τα λεπτόκοκκα ιζήματα αιωρούνται και μεταφέρονται προς την κατεύθυνση του ρεύματος



Εικόνα 4: Φορτία σε αιώρηση από κυματισμό

Πηγή: Διαδίκτυο

Το σταθερό σύνολο των ιζημάτων που εισέρχονται, εξέρχονται, εναποθέτονται, ή χάνονται (διαβρώνονται) σε μία περιοχή αποτελεί το ισοζύγιο ιζημάτων της



Εικόνα 5 : Κίνηση ιζημάτων στη ακτή

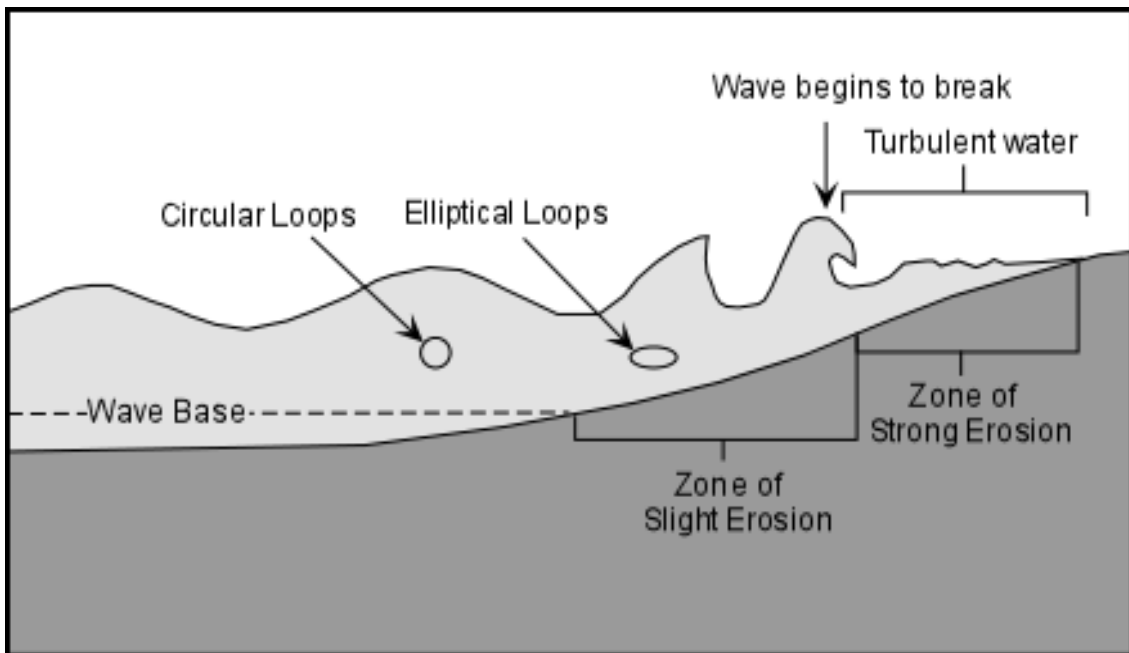
Πηγή : Διαδίκτυο

### 1.2.4 Διάβρωση

Η διάβρωση των ακτών είναι από τις σημαντικότερες αιτίες μεταβολής της μορφής των ακτογραμμών, διεργασία, η οποία επηρεάζει μακροχρόνια τις ακτογραμμές και η οποία

ποικίλει από ακτή σε ακτή καθώς οι μηχανισμοί του φαινομένου αυτού εξαρτώνται από τις εξής φυσικές παραμέτρους:

- *Κύματα:* Αποτελούν την κύρια αιτία διάβρωσης των ακτών. Ο ρυθμός διάβρωσης είναι ανάλογος της κυματικής ενέργειας, η οποία εξαρτάται από την ταχύτητα ανέμου στην επιφάνεια της θάλασσας, από το μήκος αναπτύγματος πελάγους-fetch<sup>2</sup> και από τη χρονική διάρκεια πνοής του ανέμου.



Εικόνα 6: Διαχωρισμός παράκτιας ζώνης ως προς τη διάβρωση.

Πηγή: (Nelson A.S., 2013)

- *Γεωλογία της ακτής:* Ο ρυθμός διάβρωσης εξαρτάται από τη γεωλογία της ακτής. Σε ακτές όπου τα υλικά είναι μεγάλης αντοχής παρατηρείται μικρότερος ρυθμός διάβρωσης ενώ σε ακτές με χαλαρά υλικά το αντίστροφο. Στις αμμώδεις ακτές η διείσδυση του νερού είναι μικρότερη σε σχέση με ακτές με χαλίκια όπου σημειώνεται μεγαλύτερη διείσδυση του νερού με επακόλουθο την μείωση της ενέργειας λόγω τριβής. Η μείωση της ενέργειας τριβής συντελεί σε μικρότερους ρυθμούς διάβρωσης.
- *Γεωμορφολογία των ακτών:* Σε περιοχές με έντονη γεωμορφολογία όπως είναι τα ακρωτήρια, το φαινόμενο διάθλασης των κυμάτων είναι εντονότερο

---

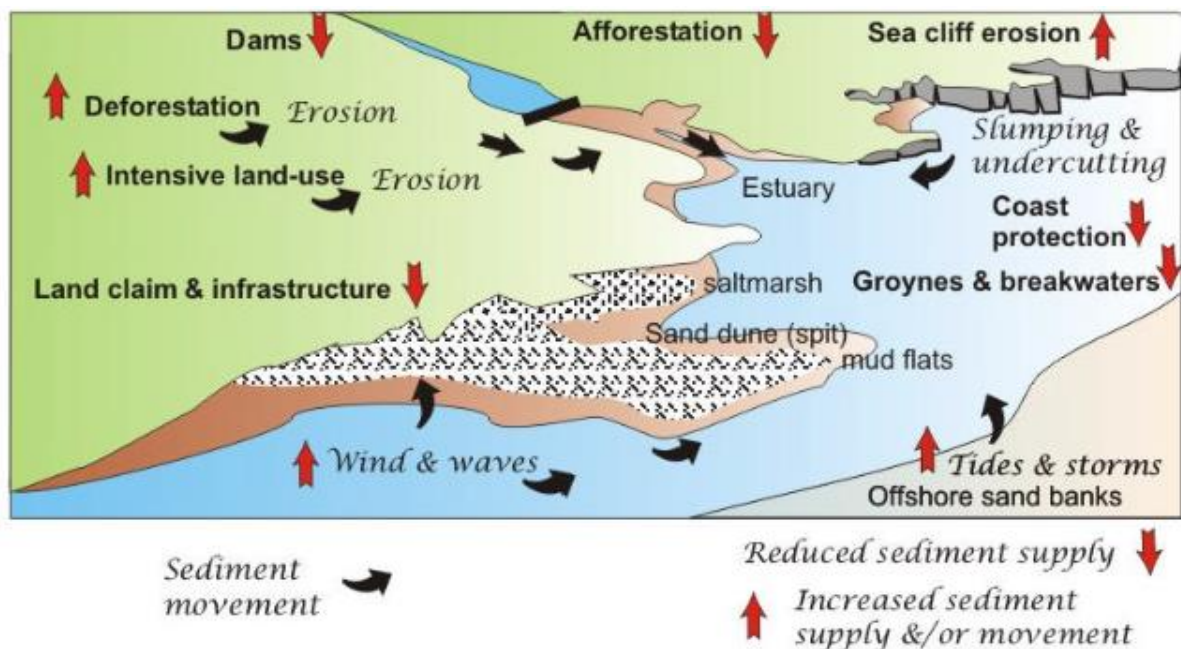
<sup>2</sup> Η απόσταση της θάλασσας πάνω στη οποία φυσάει ο άνεμος

δημιουργώντας έτσι την συσσώρευση ενέργειας. Σε αμμώδεις παραλίες με πλατιά μέτωπα, παρατηρείται η απόκλιση των κυμάτων και η μείωση της ενέργειας λόγω τριβής με τον πυθμένα.

- *Έντονες καταιγίδες:* Φαινόμενα έντονων καταιγίδων συντελούν στην μεταφορά ιζημάτων προς και από τις ακτές.
- *Κλιματική αλλαγή:* Αιτία ανόδου της στάθμης της θάλασσας και έντονων καιρικών φαινομένων.

Ανθρωπογενείς διεργασίες που συντελούν στη διάβρωση των ακτών:

- *Κατασκευή φραγμάτων και άλλων τεχνικών έργων:* Τα έργα αυτά επιφέρουν μειωμένη στερεομεταφορά από τα ποτάμια και τους χειμάρρους.
- *Κατασκευή παράκτιων έργων:* Έργα όπως κάθετοι και παράλληλοι κυματοθραύστες, μόλοι, λιμάνια, προβλήτες καθώς και η οικιστική και βιομηχανική ανάπτυξη στη παράκτια ζώνη διαταράσσουν την ισορροπημένη από τη φύση κατανομή των ιζημάτων.
- *Παράνομες αμμοληψίες και αλόγιστες παρεμβάσεις για τον έλεγχο της χερσαίας διάβρωσης.*



Εικόνα 7: Αρχές που επηρεάζουν την μεταφορά ιζημάτων σε ένα "σύστημα στερεομεταφοράς"

Πηγή: (National Institute For Coastal and Marine Management of the Netherlands et al, 2004)

### 1.3 Έργα Προστασίας των ακτών

Από τον 18<sup>ο</sup> αιώνα, γίνονταν προσπάθειες από τους μηχανικούς για έλεγχο της παράκτιας ζώνης από τη διάβρωση, εγχείρημα όμως όπου αναδείχθηκε η δυσκολία στο σχεδιασμό τέτοιων έργων. Οι παλαιές μέθοδοι προστασίας είχαν ως στόχο την θωράκιση των ακτών με ογκόλιθους, προστατευτικά τοιχία και με εφαρμογή άλλων μεθόδων. Στη σύγχρονη ακτομηχανική, έργα προστασίας από τη διάβρωση είναι ως επί τον πλείστον κατασκευές παράλληλα και κάθετα στη ακτογραμμή, έργα που βρίσκονται στη κατηγορία σκληρών έργων προστασίας της ακτής. Παράλληλα στη ακτογραμμή έργα είναι οι έξαλλοι κυματοθραύστες και οι ύφαλοι, ενώ κάθετα έργα είναι οι πρόβολοι/βραχίονες.



Εικόνα 8: Κυματοθραύστες (Λεμεσός)

Πηγή : Google Earth

Υλικά για την κατασκευή τους είναι το σκυρόδεμα, και διαφόρων τύπων φυσικοί και τεχνητοί ογκόλιθοι.



Εικόνα 9: Κυματοθραύστες από φυσικούς και τεχνητούς ογκολίθους.

Πηγή: Διαδίκτυο

Σύμφωνα με την EUCC (European Union for Coastal Conservation), ήπιες μέθοδοι προστασίας των ακτών χαρακτηρίζονται οι ενέργειες εγκατάστασης στοιχείων που έχουν ως στόχο την συνεργασία της φύσης με την διαχείριση των φυσικών συστημάτων με μέλημα την προσαρμογή τους στις φυσικές δυνάμεις των κυμάτων, ανέμων και παλίρροιας. Τα ήπια έργα προστασίας, αναπλήρωση των ακτών, ύφαλοι κυματοθραυστών και πρόβολοι ή βραχίονες συνδυάζονται με έργα σκληρών μεθόδων, και απαιτούν σωστό σχεδιασμό για κάθε περίπτωση ακτής που απειλείται από διάβρωση αποσκοπώντας τη εξομάλυνση αρνητικών συνεπειών από τις ανθρώπινες παρεμβάσεις. Ο τύπος της ακτής και των ιζημάτων, η παράκτια χρήση και οικονομικά ζητήματα, είναι τα κύρια κριτήρια επιλογής μεθόδου προστασίας από τη διάβρωση.



**Εικόνα 10: Πρόβολοι (Ολλανδία)**

**Πηγή: Διαδίκτυο**

Όπως προαναφέρθηκε, οποιαδήποτε ενέργεια προστασίας της ακτής, προκαλεί αναστάτωση στο φυσικό περιβάλλον καθώς οι φυσικές δυνάμεις καλούνται να εναρμονιστούν με τις αλλαγές που επιβλήθηκαν μεταβάλλοντας τα κυματολογικά δεδομένα και συνάμα το δυναμικό στερεομεταφοράς. Διαδικασίες περίθλασης, ανάκλασης και θραύσης των κυμάτων παρατηρούνται σε περιοχές που δεν υπήρχαν πριν, όπως επίσης και αλλαγή μοτίβων στερεομεταφοράς. Ανάντη του έργου παρατηρείται προσάμμιση, επακόλουθο της μείωσης της ταχύτητας ροής και κατά συνέπεια την μείωση σε στερεομεταφορά.

Το φαινόμενο παρατηρείται πιο έντονα όταν οι παράλληλοι κυματοθραύστες τοποθετούνται σε κοντινές αποστάσεις από την ακτή.(Εικ.11)

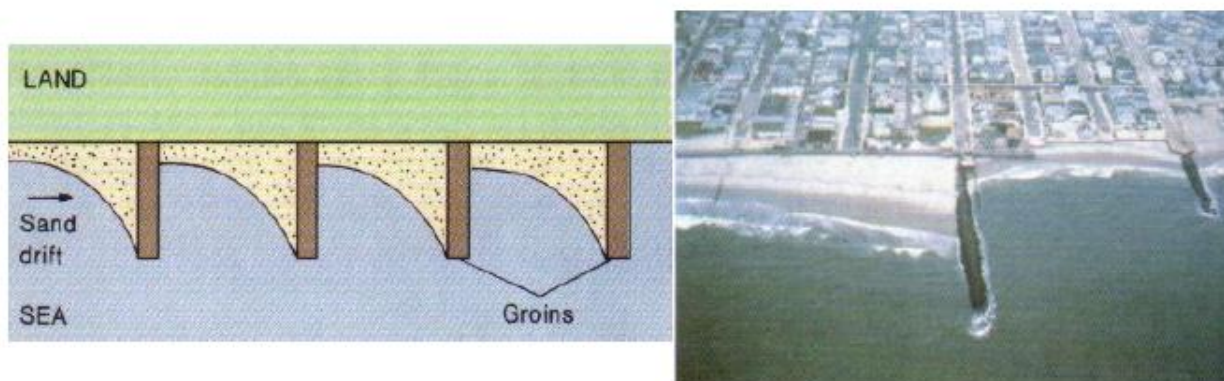




Εικόνα 11: Προσάμμιση ανάντη κυματοθραυστών (Ορόκλινη)

Πηγή: Google Earth

Αντίστοιχο φαινόμενο παρατηρείται και στους προβόλους (Groins) όπου η διεύθυνση του ανέμου ευνόα τη διαδικασία απώλειας άμμου σε διεύθυνση κάθετη προς την ακτή.



Εικόνα 12: Επίδραση προβόλων στις αμμώδεις ακτές (πχ. Ocean City, New Jersey)

Πηγή: (Δουκάκης Ε., 2007)

#### 1.4 Διαδικασίες υπολογισμού μεταβολής των ακτογραμμών.

Από τις σημαντικότερες παραμέτρους μελέτης της παράκτιας ζώνης, είναι ο ρυθμός μεταβολής των ακτογραμμών, και χρησιμοποιείται κατά κόρον από τους επιστήμονες για τη μελέτη του δυναμικού αυτού φαινομένου. Η διεξοδική μελέτη συμπεριφοράς των ακτογραμμών ωθείται από το γεγονός ότι τα 2/3 περίπου του παγκόσμιου πληθυσμού είναι κάτοικοι παράλιων περιοχών και φυσικά από το γεγονός ότι η οικονομία των κρατών εξαρτάται από τις δραστηριότητες οι οποίες χωροθετούνται στα παραλιακά μέτωπα. Διάφορες τουριστικές και βιομηχανικές δραστηριότητες στα παραλιακά μέτωπα συνδράμουν στη οικονομική ενίσχυση των κρατών και αυτό επιβάλλει τη διεξοδική μελέτη ρυθμών μεταβολής των ακτογραμμών και την ορθολογική διαχείριση της παράκτιας ζώνης.

Από τους σημαντικότερους τομείς που περιλαμβάνονται στη μελέτη των ακτογραμμών είναι:

- Η πρόβλεψη της μελλοντικής θέσης της ακτογραμμής
- Η αναδημιουργία ιστορικής ακτογραμμής

Τομείς από τους οποίους παράγονται τα απαραίτητα στοιχεία που χρειάζονται για να ληφθούν οι αποφάσεις για τη διαχείριση της παράκτιας ζώνης.

#### **1.4.1 Χωρικός προσδιορισμός και απόσπαση των ακτογραμμών**

Αρχικό στάδιο μελέτης μεταβολής της ακτογραμμής, είναι προσδιορισμός της ακτογραμμής, η οποία ακτογραμμή είναι στη ουσία το όριο μεταξύ της υδρόσφαιρας και της λιθόσφαιρας, απλουστερά, το όριο μεταξύ υγρής και στεγνής επιφάνειας. (Δουκάκης Ε., 2007)

Το σημαντικότερο στάδιο μίας μελέτης μοντελοποίησης της μεταβολής των ακτογραμμών είναι το στάδιο απόσπασης των ακτογραμμών, καθώς είναι θεμιτό τα αποτελέσματα και οι προβλέψεις που θα εξαχθούν να αντικατοπτρίζουν λογικά το μοντέλο με ελάχιστη ανησυχία αβεβαιότητας.

Οι μετρήσεις της θέσης των ακτογραμμών πρέπει να λαμβάνονται με ακρίβεια, όπου κάθε ακρίβεια εξαρτάται και από την μέθοδο απόσπασης. Συνηθέστερες πηγές απόσπασης ακτογραμμής είναι:

- *Ορθοφωτογραφίες*: αναλογικές ή ψηφιακές αεροφωτογραφίες οι οποίες έχουν υποστεί φωτογραμμετρική επεξεργασία με συνδυασμό εργασιών πεδίου, δίνοντας ένα χαρτογραφικό προϊόν που συνδυάζει την μετρητική ποιότητα και ακρίβεια ενός τοπογραφικού διαγράμματος με τον πλούτο και την ποιότητα πληροφορίας που μπορεί να δώσει μία υψηλής ανάλυσης ψηφιακή αεροφωτογραφία.
- *Δορυφορικές εικόνες*: υψηλής χωρικής ανάλυσης παγχρωματικές και πολυφασματικές εικόνες.
- *Χάρτες*: Ψηφιακούς χάρτες και αναλογικούς χάρτες, όπου στη περίπτωση των αναλογικών χαρτών η θεμιτή πληροφορία λαμβάνετε με ψηφιοποίηση.
- *Φύλλα τοπογραφικών χαρτών και ναυτικά διαγράμματα*
- *Διαγράμματα παράκτιων εκτάσεων*
- *Μετρήσεις πεδίου*: με χρήση δέκτη δορυφορικού εντοπισμού (GNSS) ή και γεωδαιτικού σταθμού (Total Station)

#### 1.4.2 Σφάλματα προσδιορισμού της ακτογραμμής

Το τελικό αποτέλεσμα σε κάθε διαδικασία υπολογισμού ρυθμών μεταβολής μίας ακτογραμμής, επηρεάζεται από σφάλματα που υπεισέρχονται στη συνολική μεθοδολογία μοντελοποίησης του φαινομένου μεταβολής της ακτογραμμής. Για ορισμένα μπορεί να προβλεφθεί η συμβολή στον επηρεασμό του τελικού αποτελέσματος, ενώ για άλλα τα οποία είναι γνωστή η ύπαρξή τους, οι δυσκολίες στη ποσοτικοποίηση των μεγεθών τους επηρεάζουν το τελικό αποτέλεσμα.

Πιθανά σφάλματα που υπεισέρχονται στα στάδια μίας διαδικασίας υπολογισμού ρυθμών μεταβολής είναι τα ακόλουθα:

- *Κατά το στάδιο λήψης πληροφορίας.* Είναι σημαντική η καταγραφή της ακριβούς ημερομηνίας και ώρας που γίνεται η λήψη της κάθε πληροφορίας, λεπτομέρεια που αποτελεί βασική πληροφορία στον υπολογισμό μέσης στάθμης της θάλασσας όπου απαιτείται να πλησιάζει την πραγματική. Οι φυσικές διαδικασίες όπως οι παλίρροιές επηρεάζουν τη θέση μίας ακτογραμμής κατά της χρονικής στιγμή αποτύπωσης της. Ο επηρεασμός και η ένταση του περιοδικού φαινομένου της παλίρροιας είναι ανάλογη με τη περιοχή. Η ύπαρξη ρευμάτων, κυμάτων, αέρα και φαινόμενα κυματικών καταγίδων επηρεάζουν εξίσου τη Μ.Σ.Θ. κατά τις χειμερινές περιόδους. Θεωρείται σάφρον όπως, διαδικασίες αποτύπωσης ακτογραμμής να γίνονται κατά τις καλοκαιρινές περιόδους όπου παρατηρούνται σε μικρότερο εύρος σταθερές και προβλέψιμες διακυμάνσεις των ακτογραμμών.
- *Κατά το στάδιο Απόσπασης ακτογραμμών.* Η απόσπαση ακτογραμμών από πρωτογενή δεδομένα (αεροφωτογραφίες, δορυφορικές εικόνες, τοπογραφικά διαγράμματα και χάρτες) επιφέρει πολυάριθμα σφάλματα τα οποία όμως μπορούν να εκτιμηθούν και να συνυπολογιστούν στις παραμέτρους υπολογισμού του τελικού αποτελέσματος. Κύριες μέθοδοι απόσπασης ακτογραμμής είναι:
  - α) η μετατροπή αναλογικών δεδομένων σε ψηφιακά, διαδικασία που εκτελείται με ψηφιοποίηση μέσω λογισμικού προγράμματος, όπου τα σφάλματα είναι ανάλογα της εμπειρίας του χρήστη που πραγματοποιεί τη ψηφιοποίηση, της ποιότητας και της κλίμακας των πρωτογενών δεδομένων.
  - β) με τη βοήθεια τρισδιάστατου μοντέλου εδάφους, όπου με τη βοήθεια κατάλληλων λογισμικών απλοποιείται η διαδικασία απόσπασης ακτογραμμής και τα σφάλματα εξαρτώνται από την μεθοδολογία σχηματισμού του ψηφιακού



μοντέλου εδάφους. Θεωρείται ως μία ακριβής μέθοδος προσδιορισμού θέσης της ακτογραμμής με μόνο μειονέκτημα το ενδεχόμενο να μην μπορεί να εφαρμοστεί σε δεδομένα παλαιών χρονολογιών.

- *Κατά το στάδιο μαθηματικών υπολογισμών.* Κάθε διαδικασία υπολογισμού των ακτογραμμών πραγματοποιείται βάσει ενός μαθηματικού μοντέλου, από το οποίο τα δεδομένα αναλύονται και γίνεται ο υπολογισμός των ρυθμών μεταβολής. Σφάλματα προκύπτουν αναλόγως του μοντέλου στο οποίο προσαρμόζεται η κάθε ακτογραμμή που επιλέχτηκε για μελέτη.

## 2. Μεθοδολογία προσδιορισμού μεταβολής της ακτογραμμής.

Για την παρούσα εργασία, καταλληλότερο εργαλείο επεξεργασίας, ανάλυσης και παρουσίασης αποτελεσμάτων για τη διαδικασία μοντελοποίησης της μεταβολής της ακτογραμμής επιλέχθηκε το λογισμικό ArcGIS, με την δυνατότητα επέκτασης ενός εργαλείου το οποίο παρέχεται από την Αμερικάνικη Υπηρεσία Γεωλογικής Επισκόπησης (USGS).

### 2.1 Δεδομένα

Για τη μελέτη υπολογισμού ρυθμών μεταβολής, στόχος της παρούσας πτυχιακής εργασίας, χρησιμοποιήθηκαν διανυσματικά δεδομένα ιστορικών ακτογραμμών, που δόθηκαν από το Τμήμα Θαλάσσιων Ερευνών του Τμήματος Δημοσίων Έργων.

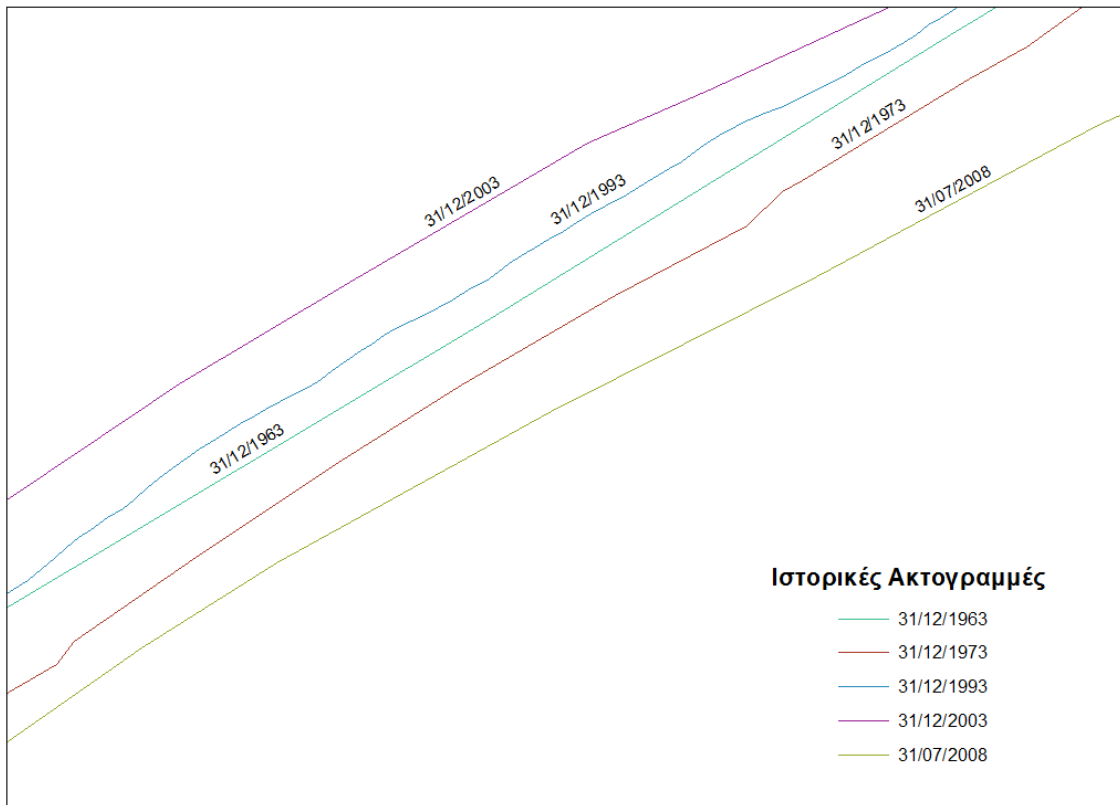
Αναλόγως της μεθόδου απόσπασης των ακτογραμμών από τα πρωτογενή δεδομένα, εκτιμήθηκε η αβεβαιότητα θέσης των ακτογραμμών, πεδίο απαραίτητο στον υπολογισμό του σταθμισμένου στατιστικού μεγέθους ρυθμών μεταβολής (WRR). Συγκεκριμένα, για δεδομένα τα οποία προήλθαν από ορθοφωτογραφίες, εκτιμήθηκε η αβεβαιότητα θέσης σύμφωνα με τη κλίμακα και τη διακριτική ικανότητα του ματιού 0,00025μ.. Για δεδομένα που προήλθαν από δορυφορικές εικόνες εκτιμήθηκε το πεδίο αβεβαιότητας ως το μισό μέγεθος της εικονοηφίδας των εικόνων.

Έγινε παραδοχή, πώς λοιπά σφάλματα που πιθανόν να ακολουθούν τα δεδομένα αυτά όπως σφάλματα στη φωτογραμμετρική επεξεργασία, σφάλματα ψηφιοποίησης θεωρούνται αμελητέα, καθώς και παραδοχή, πως σφάλματα λόγω δυναμικού φαινομένου της παλίρροιας συμπεριλήφθηκαν στον προσδιορισμό της θέσης των ακτογραμμών αναλόγως ημερομηνίας και ώρας λήψης των πρωτογενών δεδομένων.

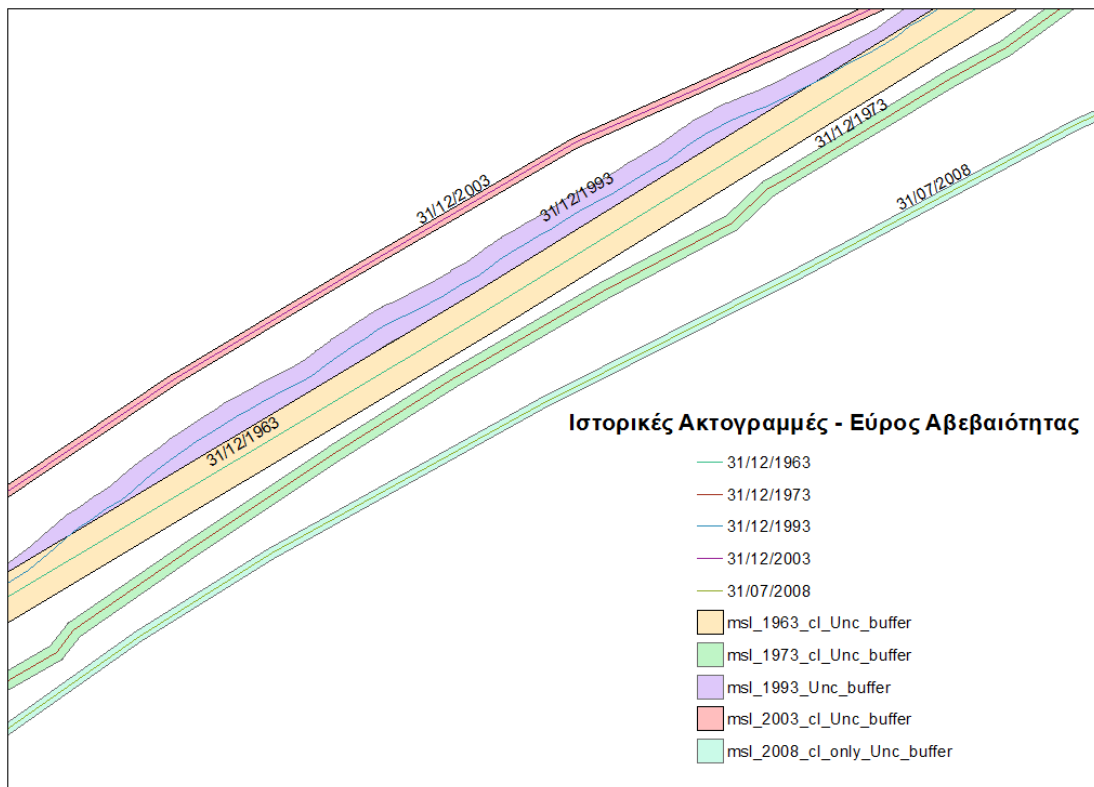
Δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν:

α/α	Πηγή	Ημερ/νία	Κλίμακα	Αβεβαιότητα(m)
1	Ορθοφωτογραφίες	1963	1:10000	2,5
2	Δορυφορικές εικόνες	1973	-	1
3	Ορθοφωτογραφίες	1993	1:8000	2
4	Δορυφορικές εικόνες	2003	-	0,6
5	Ορθοφωτογραφίες	2008	1:2500	0,625

Πίνακας 3: Δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν



**Σχήμα 1: Ιστορικές Ακτογραμμές**



**Σχήμα 2: Εύρος Αβεβαιότητας ιστορικών ακτογραμμών**

## 2.2 Digital Shoreline Analysis System<sup>3</sup> (DSAS v.4.0)

Η επέκταση DSAS στο λογισμικό ArcGIS, δίνει την δυνατότητα υπολογισμού στατιστικών μεγεθών ρυθμών μεταβολής της ακτογραμμής, από πολλαπλές ιστορικές ακτογραμμές.

Στατιστικά μεγέθη που υπολογίζονται στη διαδικασία ανάλυσης είναι τα ακόλουθα:

<b>NSM</b>	Net Shoreline Movement	
<b>SCE</b>	Shoreline Change Envelope	
<b>EPR</b>	End Point Rate	
<b>ECI</b>	Confidence of End Point Rate	
<b>LRR</b>	Linear Regression Rate	
<b>LSE</b>	Standard Error of Linear Regression	
<b>LCI</b>	Confidence Interval of Linear Regression	LCI95, LCI90
<b>LR2</b>	R-squared of Linear Regression	
<b>WLR</b>	Weighted Linear Regression Rate	
<b>WSE</b>	Standard Error of Weighted Linear Regression	
<b>WCI</b>	Confidence Interval of Weighted Linear Regression	WCI95, WCI90
<b>WR2</b>	R-squared of Linear Regression	
<b>LMS</b>	Least Median of Squares	

**Πίνακας 4:** Στατιστικά μεγέθη που υπολογίζονται από το εργαλείο DSAS

Πηγή: (Himmelson E.A., 2009)

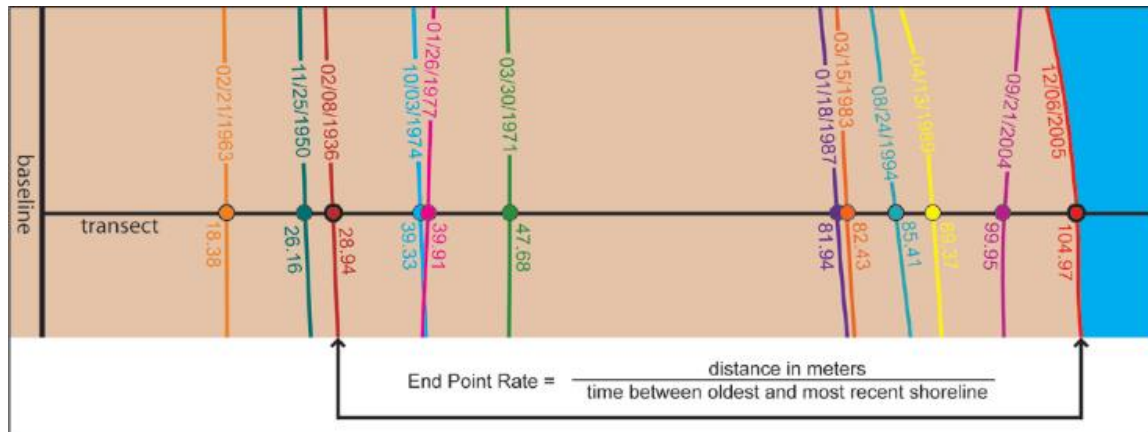
### 2.1.1 End Point Rate -EPR

Το στατιστικό μέγεθος End Point Rate, προσδιορίζεται με το πηλίκο της απόστασης μεταβολής μεταξύ της παλαιότερης και της πιο πρόσφατης ακτογραμμής προς την χρονική διάρκεια των δύο. Η μέθοδος αυτή έχει το πλεονέκτημα υπολογισμού του στατιστικού μεγέθους με μόνο

---

<sup>3</sup> Thieler, E.R., Himmelstoss, E.A., Zichichi, J.L., and Ergul, Ayhan, Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0—An ArcGIS extension for calculating shoreline change: U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278.

δύο ιστορικές ακτογραμμές. Αυτό όμως έχει το μειονέκτημα παράβλεψης τυχόν άλλων ιστορικών ακτογραμμών με ημερομηνίες μέσα στο διάστημα παλαιότερης και πρόσφατης.



Εικόνα 13: Μέγεθος EPR

Πηγή : (Himmelson E.A., 2009)

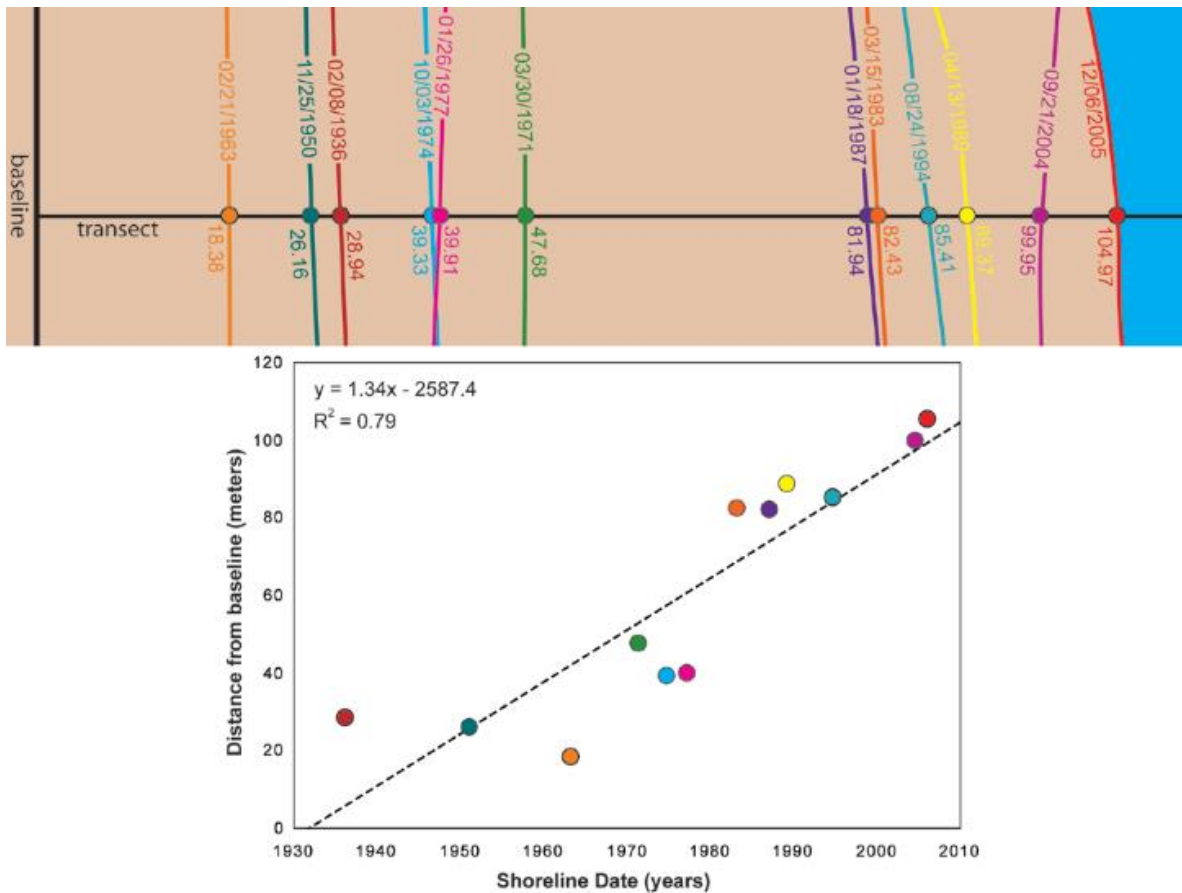
### 2.1.2 Linear Regression Rate -LRR :

Ο προσδιορισμός του ρυθμού γραμμικής μεταβολής, γίνεται με γραμμική παλινδρόμηση, με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων, όπου υπολογίζεται η βέλτιστη γραμμική συσχέτιση στα μεγέθη μεταβολής ακτογραμμών από τη γραμμή βάσης, έτσι ώστε το μέσο τετραγωνικό σφάλμα να είναι το ελάχιστο. Το τελικό μέγεθος ρυθμών γραμμικής μεταβολής (LRR), είναι η κλίση της βέλτιστης γραμμής συσχέτισης.

Η μέθοδος είναι καθαρά υπολογιστική και δεν λαμβάνει υπόψη σφάλματα δειγματοληψίας. Αβεβαιότητες όπως, ακρίβεια θέσης ακτογραμμών και σφάλματα που προκύπτουν από τα στάδια προσδιορισμού και απόσπασης της ακτογραμμής όπως αναφέρονται πιο πάνω (1.3.2), δεν λαμβάνονται υπόψη στον υπολογισμό του ρυθμού γραμμικής μεταβολής της ακτογραμμής.

Συνδυαστικά, με το ρυθμό γραμμικής μεταβολής υπολογίζονται και:

- το τυπικό σφάλμα εκτίμησης (Standard Error of the Estimate-LSE)
- το τυπικό σφάλμα της κλίσης(LCI) - θέτοντας διάστημα εμπιστοσύνης
- και ο συντελεστής προσδιορισμού (R-squared-LR2)



Εικόνα 14: Στατιστικό μέγεθος LRR

Πηγή: (Himmelson EA., 2009)

### 2.1.3 Weighted Linear Regression(WLR)

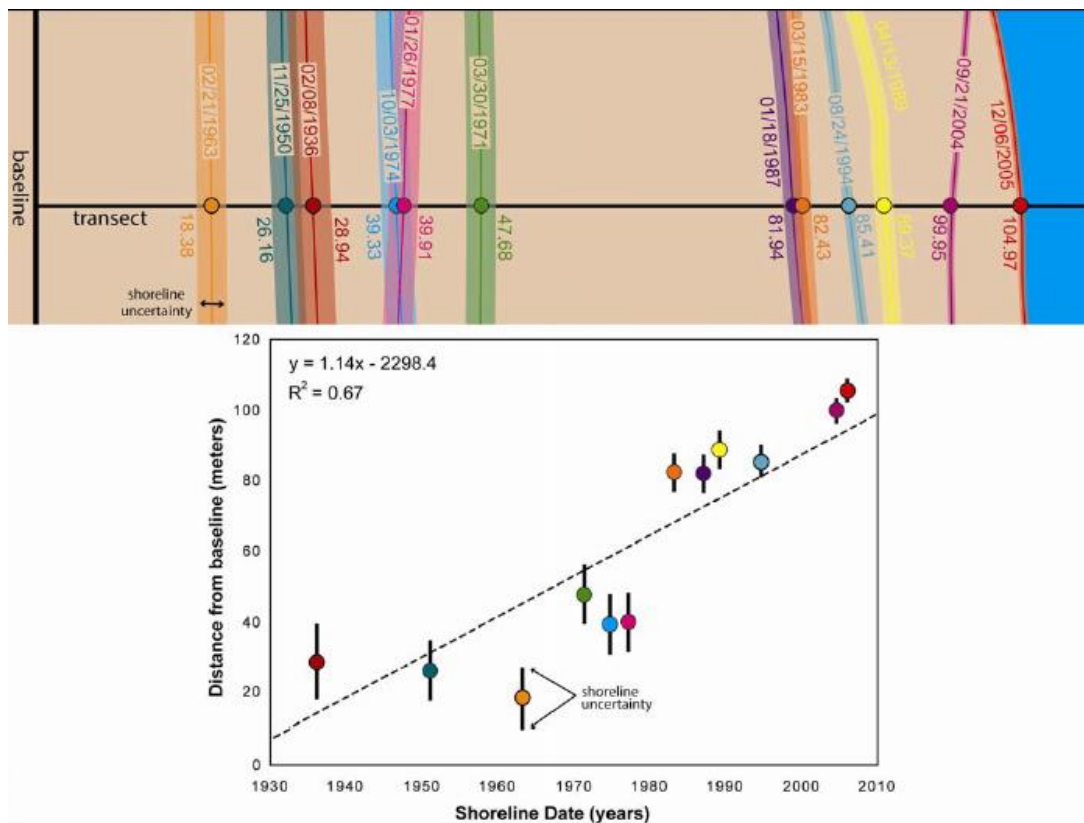
Το «σταθμισμένο» μέγεθος ρυθμού γραμμικής (WLR) μεταβολής δίνει πιο αξιόπιστα αποτελέσματα, καθώς, κατά τον υπολογισμό της γραμμικής συσχέτισης δίνεται έμφαση σε δεδομένα τα οποία έχουν οριστεί με μικρότερο μέγεθος αβεβαιότητας (Field-Uncertainty).

Ο διορθωτικός συντελεστής ( $w$ ) προσδιορίζεται συναρτήσει της μεταβλητής *αβεβαιότητας* μέτρησης ( $e$ ) για κάθε ακτογραμμή.

$$w = \frac{1}{e^2}$$

όπου

$e$  = αβεβαιότητα ακτογραμμής (Shoreline Uncertainty value)



Εικόνα 15: Στατιστικό μέγεθος WLR

Πηγή: (Himmelson EA., 2009)

Συνδυαστικά, με το «σταθμισμένο» ρυθμό γραμμικής μεταβολής (WLR) υπολογίζονται και:

- το τυπικό «σταθμισμένο» σφάλμα εκτίμησης (Standard Error of the Estimate-WSE)
- το τυπικό «σταθμισμένο» σφάλμα της κλίσης(WCI) - προ απαιτείται από τον χρήστη να έχει θέσει διάστημα εμπιστοσύνης
- και ο «σταθμισμένος» συντελεστής προσδιορισμού ( $R^2$ -WR2)

Το τυπικό σφάλμα, ο συντελεστής συσχέτισης και το διάστημα εμπιστοσύνης υπολογίζονται και για τις δύο μεθόδους προσδιορισμού γραμμικής μεταβολής (LRR και WRL). Αυτά τα επιπρόσθετα στατιστικά μεγέθη προσφέρουν χρήσιμες πληροφορίες στο προσδιορισμό της αξιοπιστίας των εκτιμήσεων.

Για κάθε ακτογραμμή, υπολογίζεται η απόσταση της από τη γραμμή βάσης ( $y$ ) θέτοντας τιμές  $x$  για κάθε ακτογραμμή βάση ημερομηνίας(Field-Date), λύνοντας την εξίσωση της ευθείας παλινδρόμησης.

$$y = mx + b$$

όπου

$y$  = απόσταση από τη γραμμή βάσης

$m$  = η κλίση (ρυθμός αλλαγής)

$b$  =  $y$  - το σημείο όπου η βέλτιστη γραμμή συσχέτισης τέμνει το άξονα  $y$

#### 2.1.4 Τυπικό σφάλμα εκτίμησης- WSE

Το τυπικό σφάλμα εκτίμησης υπολογίζει την ακρίβεια του αποτελέσματος εκτίμησης απόστασης  $y$ , συγκρίνοντας τις τιμές αυτές από τα γνωστά σημειακά δεδομένα της ακτογραμμής. Ορίζεται ως LSE για την απλή μέθοδο υπολογισμού γραμμικής μεταβολής και WRL για την «σταθμισμένη» μέθοδο υπολογισμού γραμμικής μεταβολής.

$$\frac{LSE}{\text{or}} = \sqrt{\frac{\sum(y-y')^2}{n-2}}$$

όπου

$y$  = η γνωστή απόσταση από την γραμμή βάσης για κάθε σημείο στη ακτογραμμή

$y'$  = η εκτιμώμενη τιμή βάσει της εξίσωσης ευθείας παλινδρόμησης

$n-2$  = αριθμός βαθμών ελευθερίας

Από τον αριθμό των σημείων ( $n$ ) που τέμνει η εγκάρσια τομή (transect) τις ακτογραμμές αφαιρούνται δύο γιατί από την γραμμή παλινδρόμησης υπολογίζονται δύο παράμετροι, της κλίσης  $m$  και του σημείου τομής με το άξονα  $b$ .

#### 2.1.5 Συντελεστής προσδιορισμού $R^2$ (LR2 και WR2)

Ο συντελεστής προσδιορισμού  $R^2$  υποδηλώνει το ποσοτικό μέτρο της ισχύς της σχέσης παλινδρόμησης, ένα μέτρο για το πόσο καλά προσαρμόζεται η ευθεία στα δεδομένα.



$$R^2 = 1 - \sqrt{\frac{\sum(y-y')^2}{\sum(y-\bar{y})^2}}$$

όπου

$R^2$  = συντελεστής συσχέτισης

$y$  = η γνωστή απόσταση από την γραμμή βάσης για κάθε σημείο στη ακτογραμμή

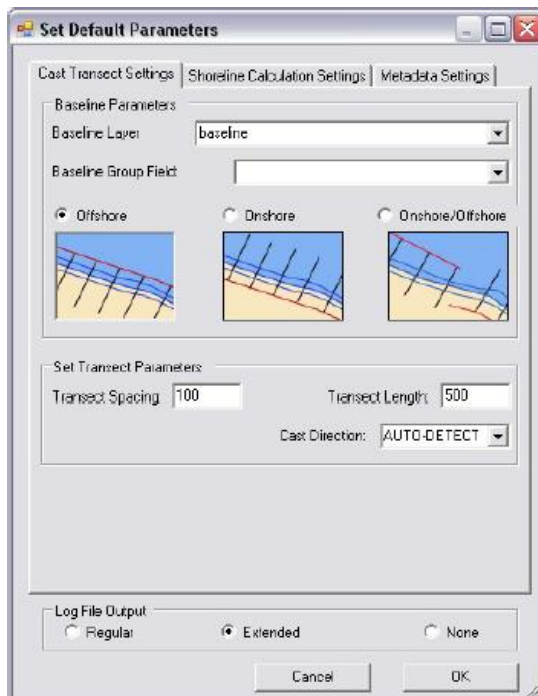
$y'$  = η εκτιμώμενη τιμή βάσει της εξίσωσης ευθείας παλινδρόμησης

$\bar{y}$  = η μέση τιμή

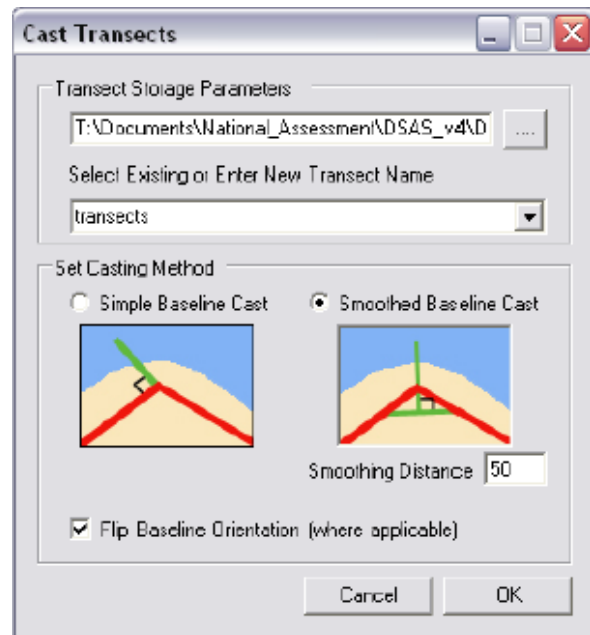
Ο συντελεστής συσχέτισης  $R^2$  εκφράζει το ποσοστό της μεταβλητότητας της εξαρτημένης μεταβλητής  $y$  που εξηγείται από την παλινδρόμηση μέσω της ανεξάρτητης μεταβλητής  $x$ . Όσο μικρότερη είναι η μεταβλητότητα των υπόλοιπων σφαλμάτων γύρω από την γραμμή παλινδρόμησης σε σχέση με τη συνολική μεταβλητότητα, τόσο καλύτερη είναι η πρόβλεψη. Παίρνει τιμές από 0 έως 1, και όσο βρίσκεται πλησιέστερα στο 1 τόσο καλύτερη είναι η ευθεία ελαχίστων τετραγώνων ως εκτίμηση της ευθείας παλινδρόμησης.

### 2.1.6 Γραμμή βάσης και Χάραξη καθέτων

Για τον υπολογισμό των στατιστικών μεγεθών, αρχικά πρέπει να οριστεί η αφετηρία από την οποία θα χαραχτούν κάθετες στις ιστορικές γραμμές, δημιουργώντας σημεία τομής με γνωστές συντεταγμένες. Είναι σημαντικό ο ορισμός της κατεύθυνσης στη οποία θα χαραχτούν οι κάθετες διατομές, το βήμα χάραξης (συνηθίζεται 50m), το μήκος των καθέτων καθώς επίσης και η ακτίνα που θα καθορίσει την «ομαλή» καθετότητα από τη γραμμή βάσης έτσι ώστε σε περιοχές όπου η γραμμή βάσης δημιουργεί έντονα σπασίματα να αποφεύγετε η διασταύρωση των καθέτων.



(α)



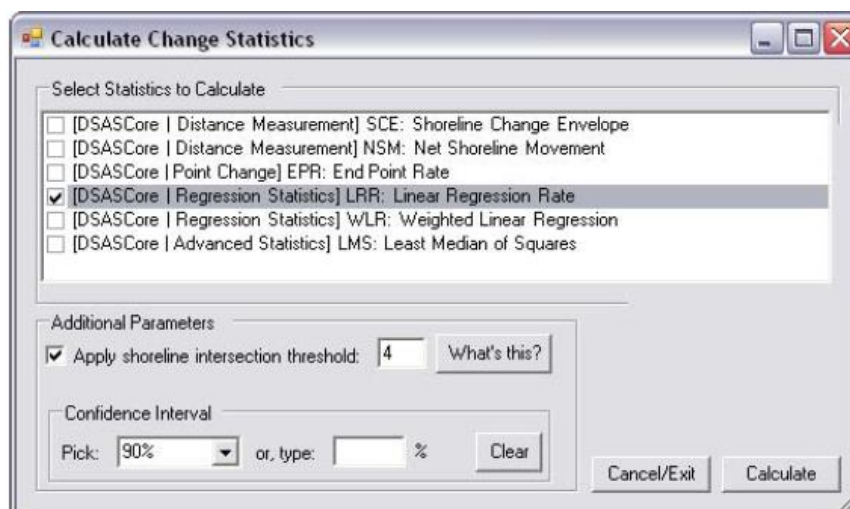
(β)

Εικόνα 16: α) Ορισμός κατεύθυνσης και βήματος χάραξης καθέτων, β) ορισμός ακτίνας εξομάλυνσης καθέτων

Πηγή: (Himmelson E.A., 2009)

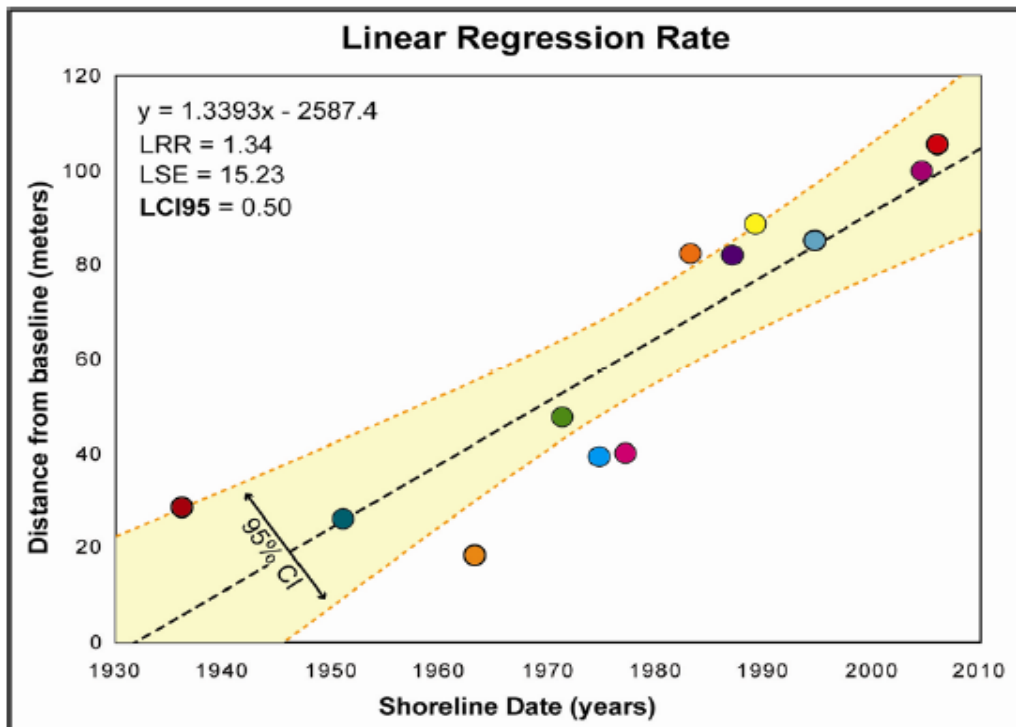
### 2.1.7 Υπολογισμός στατιστικών μεγεθών - Διάστημα εμπιστοσύνης

Δίνετε η δυνατότητα στο χρήστη η επιλογή υπολογισμού των στατιστικών μεγεθών που επιθυμεί (στατιστικά μεγέθη που αναφέρθηκαν πιο πάνω), όπως επίσης και η δυνατότητα ορισμού του διαστήματος εμπιστοσύνης.



Εικόνα 17: Επιλογή στατιστικών μεγεθών προς υπολογισμό

Το διάστημα εμπιστοσύνης βασίζεται στις παρατηρήσεις του δείγματος και καθορίζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να υπάρχει μία συγκεκριμένη πιθανότητα ότι η άγνωστη πραγματική τιμή περιλαμβάνεται στο δείγμα.



Εικόνα 18 : Διάστημα εμπιστοσύνης

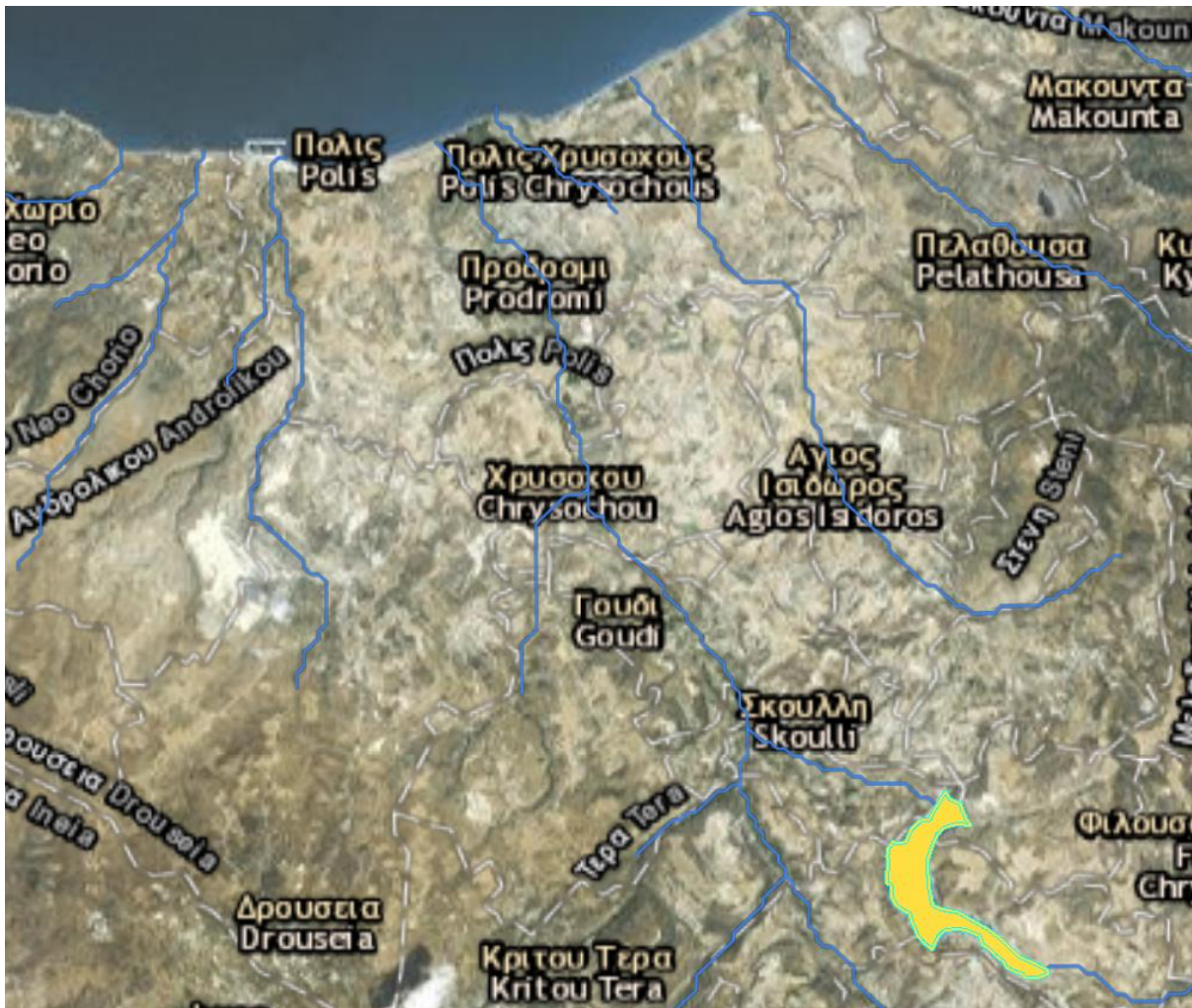
Πηγή: (Himmelson E.A., 2009)

Επεξηγώντας το πιο πάνω γράφημα όπου απεικονίζονται οι αποστάσεις από τη γραμμή βάσης για κάθε ιστορική ακτογραμμή, η κλίση της βέλτιστης ευθείας 1,34 δηλώνει το ρυθμό γραμμικής μεταβολής της ακτογραμμής. Μπορούμε να πούμε με 95% βεβαιότητα ότι ο πραγματικός ρυθμός μεταβολής είναι  $1,34 \pm 0,50$  μέτρα ανά χρόνο.

Με την εκτέλεση της διαδικασίας υπολογισμού, τα αποτελέσματα καταχωρούνται σε πίνακες όπου ο χρήστης μπορεί να ανακτήσει και να τα παρουσιάσει.

### 3. Περιοχή Μελέτης – Πόλης Χρυσοχούς

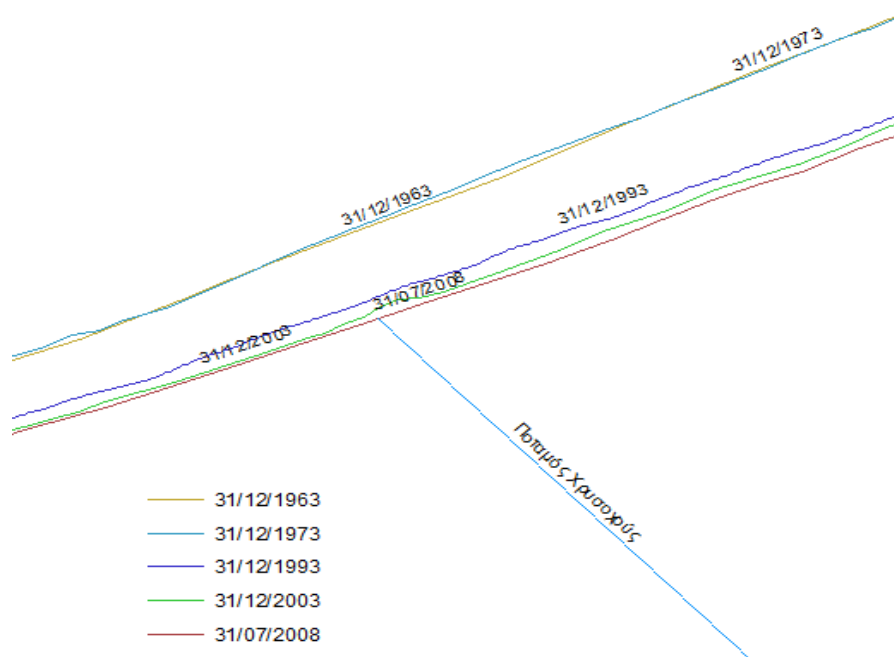
Αντικείμενο έντονης συζήτησης, τα τελευταία χρόνια μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων είναι τα φαινόμενα έντονης διάβρωσης που παρατηρούνται κατά μήκος του παραλιακού μετώπου Πόλεως Χρυσοχούς κοντά στις εκβολές του ποταμού Χρυσοχούς, πάρα τον κατασκευαστικό χώρο πόλεως Χρυσοχούς. Ο ποταμός Χρυσοχούς πηγάζει από το Σταυρό της Ψώκας και χύνεται στο κόλπο της Χρυσοχούς.



Εικόνα 19: Ποταμοί που εκβάλουν στο κόλπο Χρυσοχούς - Φράγμα της Ευρέτου (υπόβαθρο ArcGIS Earth)

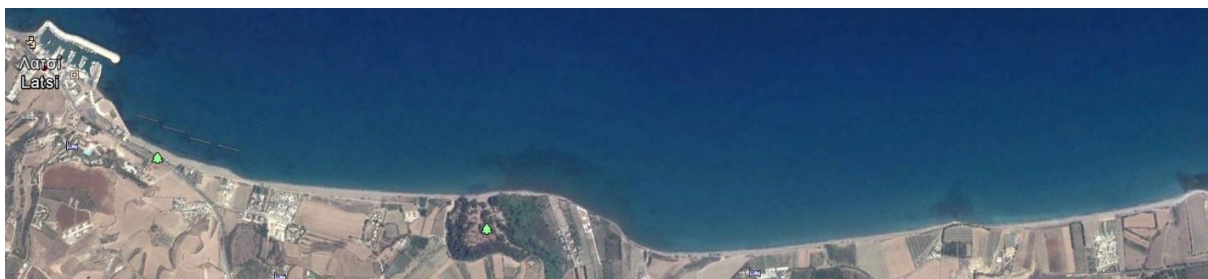
Το 1986, ολοκληρώθηκε η κατασκευή του φράγματος της Ευρέτου, το έργο αυτό φτιάχτηκε για σκοπούς αξιοποίησης των υδάτινων πόρων του ποταμού Σταυρού της Ψώκας, και με επιδίωξη την επέκταση της αρδευόμενης έκτασης στη περιοχή. Οι αρνητικές επιπτώσεις στη στερεομεταφορά από τη κατασκευή του φράγματος αυτού είναι εμφανείς στη απεικόνιση των

ιστορικών ακτογραμμών, όπου παρατηρείται η έντονη υποχώρηση 40μ. στα δεδομένα μεταξύ περιόδου 1963-1993.



**Εικόνα 20:** Ιστορικές ακτογραμμές - Περιοχή Πόλεως Χρυσοχούς (εκβολή ποταμού Χρυσοχούς πάρα τον κατασκηνωτικό χώρο)

Περιοχή μελέτης ορίστηκε το μέτωπο από το αλιευτικό καταφύγιο του Λατσιού και για απόσταση 5,5 km ανατολικά προς το χωριό Αργάκα. Στη περιοχή σήμερα έχουν κατασκευαστεί τέσσερις (4) παράλληλοι κυματοθραύστες (ολοκλήρωση έργου 2010) έναντι από τη δημοτική ακτή, δεξιοθεν του αλιευτικού καταφύγιου και μέλλεται να κατασκευαστούν ακόμη δέκα (10) παράλληλοι κυματοθραύστες που θα εκτείνονται μέχρι και τον κατασκηνωτικό χώρο, σύμφωνα με το σχέδιο δράσης αντιμετώπισης της διάβρωσης της περιοχής.



**Εικόνα 21:** Περιοχή μελέτης

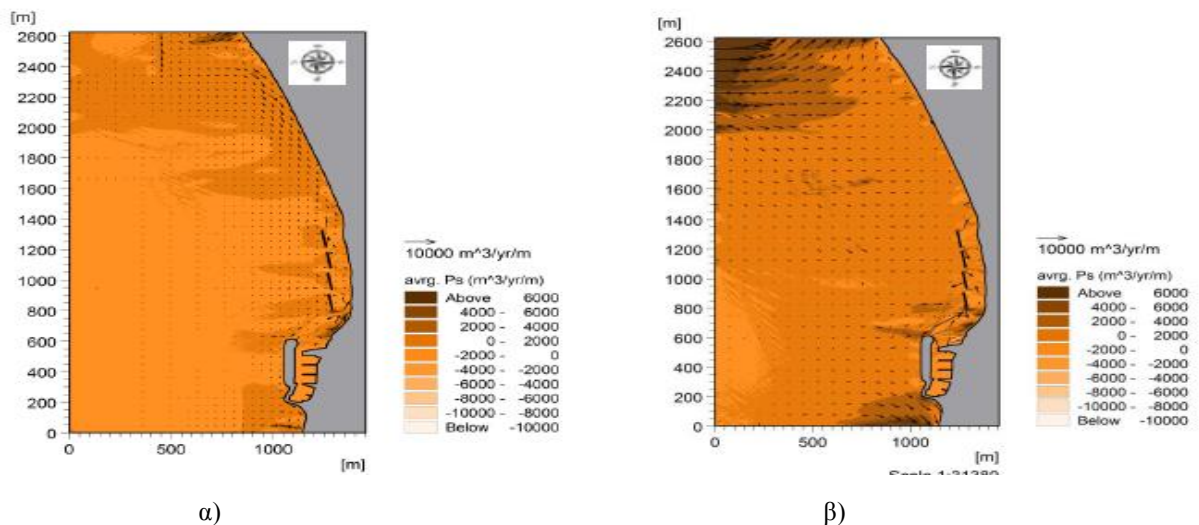
Πηγή: Google Earth (2016)



Λόγω του περιορισμού των ιστορικών δεδομένων, ο προσδιορισμός ρυθμών μεταβολής της ακτογραμμής στη παρούσα μελέτη έγινε μόνο με τα δεδομένα των ιστορικών ακτογραμμών περιόδου 1963-2008.

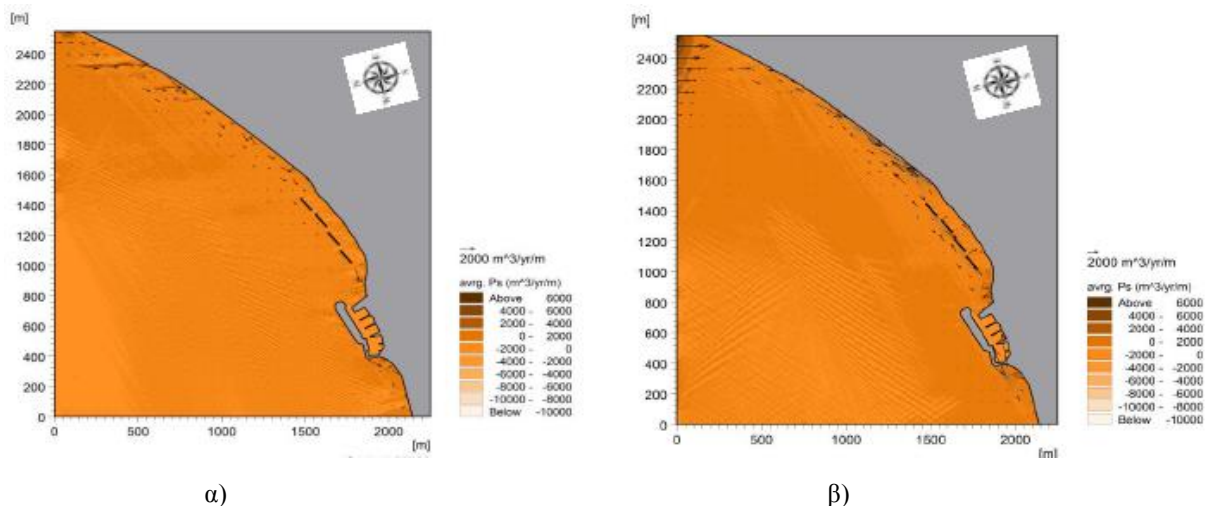
### 3.1 Δυναμικό Στερεομεταφοράς της περιοχής

Σύμφωνα με την Νικολάου Ε., η μελέτη δυναμικού στερεομεταφοράς το 2014 για τη περιοχή, ανέδειξε πώς «το μεγαλύτερο δυναμικό στερεομεταφοράς προκύπτει από την κυματογενή κυκλοφορία της περιοχής που προκαλούν οι Βόρειοι, Βόρειοι-Βορειοδυτικοί και Βόρειοι-Βορειοανατολικοί κυματισμοί»



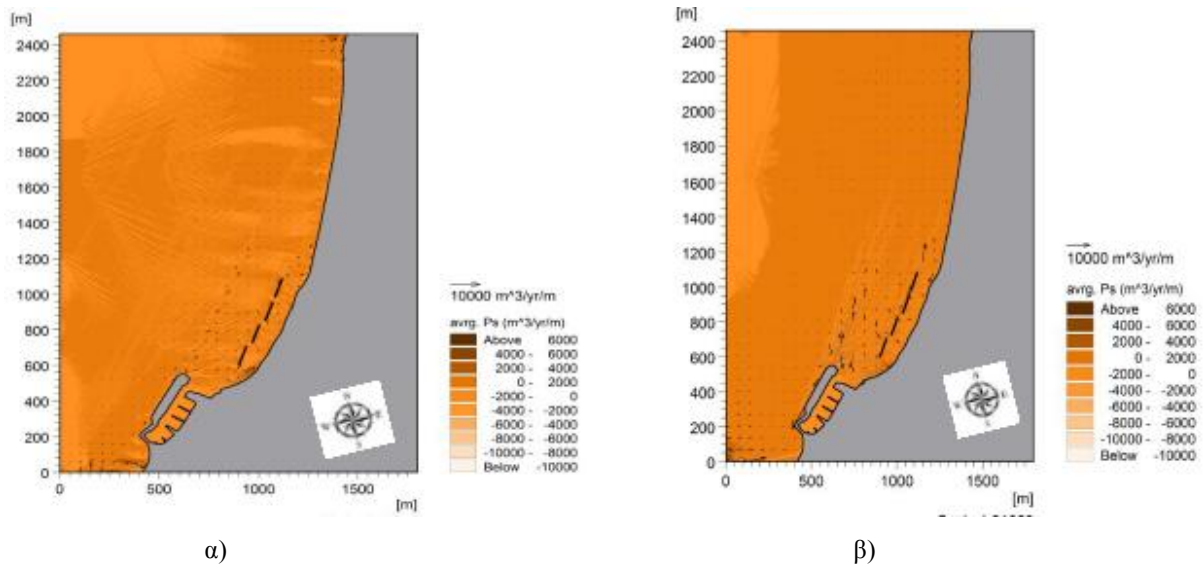
Εικόνα 22: α) Δυναμικό Στερεομεταφοράς για Βόρειο άνεμο 5 μποφόρ β) Δυναμικό στερεομεταφοράς για Βόρειο άνεμο 9 μποφόρ.

Πηγή: (Νικολάου Ε., 2014)



Εικόνα 23: α) Δυναμικό Στερεομεταφοράς για Βόρειο-Βορειοανατολικό άνεμο 5 μποφόρ β) Δυναμικό στερεομεταφοράς για Βόρειο-Βορειοανατολικό άνεμο 9 μποφόρ.

Πηγή: (Νικολάου Ε., 2014)

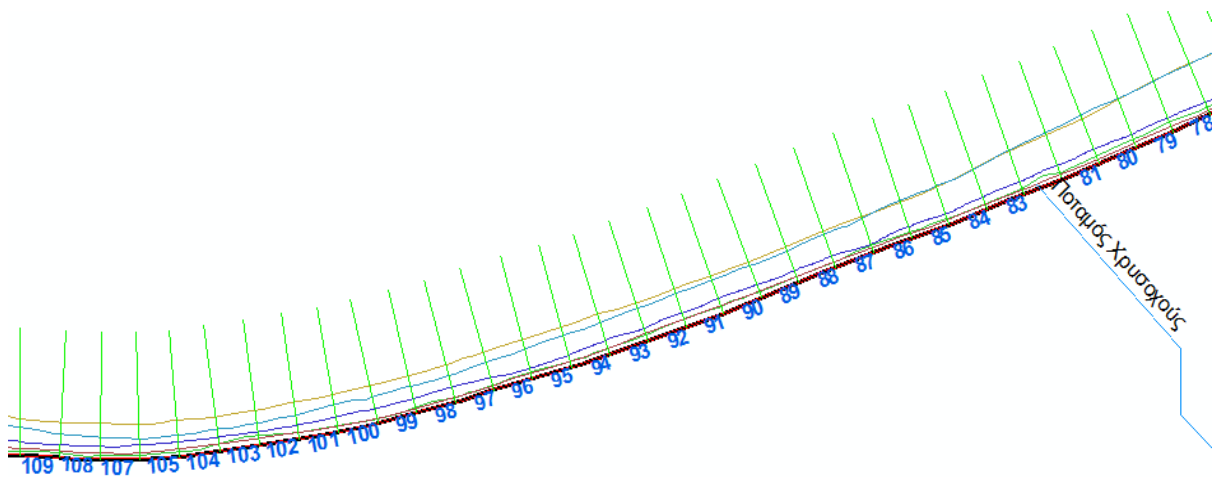


Εικόνα 24: α) Δυναμικό Στερεομεταφοράς για Βόρειο-Βορειοδυτικό άνεμο 5 μποφόρ β) Δυναμικό στερεομεταφοράς για Βόρειο-Βορειοδυτικό άνεμο 9 μποφόρ.

Πηγή: (Νικολάου Ε., 2014)

### 3.2 Ορισμός γραμμής βάσης και υπολογισμός στατιστικών μεγεθών

Όπως προαναφέρθηκε, περιοχή μελέτης ορίστηκε για έκταση 5,5 km, από το αλιευτικό καταφύγιο Λάτσιου προς τα ανατολικά. Συνολικά δημιουργήθηκαν 114 διατομές, με βήμα 50μ..



Εικόνα 25: Ορισμός γραμμής βάσης και δημιουργία διατομών - Περιοχή Πόλεως Χρυσόχους

### 3.2.1 Αποτελέσματα από δεδομένα 1963, 1973, 1993, 2003, 2008

Transect Id	Χιλ.θέση	EPR	ECI	SCE	NSM	LMS	WLR	WR2	WSE	WCI95	LRR	LR2	LSE	LCI95
1	0.00	-0.02	0.06	6.17	-0.70	-0.02	-0.11	0.40	2.54	0.24	-0.07	0.37	2.05	0.17
2	50.00	-0.02	0.06	8.52	-0.88	-0.03	-0.15	0.46	3.20	0.30	-0.10	0.40	2.71	0.22
3	100.00	-0.07	0.06	6.35	-3.21	-0.09	-0.16	0.84	1.31	0.12	-0.12	0.70	1.71	0.14
4	150.00	-0.22	0.06	11.14	-9.89	-0.33	-0.26	0.88	1.87	0.18	-0.27	0.91	1.80	0.15
5	200.00	-0.13	0.06	7.02	-5.67	-0.12	-0.18	0.89	1.28	0.12	-0.17	0.84	1.61	0.13
6	250.00	-0.21	0.06	18.29	-9.33	-0.21	-0.41	0.74	4.76	0.45	-0.35	0.72	4.76	0.39
7	300.00	-0.36	0.06	24.82	-15.94	-0.36	-0.63	0.86	4.96	0.47	-0.52	0.76	6.54	0.54
9	400.00	-0.43	0.06	20.88	-18.97	-0.45	-0.54	0.93	2.93	0.28	-0.51	0.85	4.73	0.39
10	450.00	-0.37	0.06	17.93	-16.44	-0.30	-0.46	0.94	2.34	0.22	-0.40	0.89	3.18	0.26
11	500.00	-0.33	0.06	15.03	-14.54	-0.29	-0.39	0.96	1.61	0.15	-0.35	0.92	2.29	0.19
12	550.00	-0.33	0.06	14.56	-14.56	-0.33	-0.40	0.98	1.05	0.10	-0.36	0.96	1.70	0.14
13	600.00	-0.27	0.06	15.28	-12.14	-0.27	-0.40	0.90	2.59	0.25	-0.35	0.88	2.92	0.24
14	650.00	-0.14	0.06	14.24	-6.27	-0.14	-0.32	0.75	3.59	0.34	-0.25	0.69	3.76	0.31
15	700.00	-0.14	0.06	9.52	-6.38	-0.16	-0.23	0.82	2.08	0.20	-0.20	0.86	1.79	0.15
16	750.00	-0.22	0.06	10.88	-10.01	-0.23	-0.28	0.92	1.54	0.15	-0.26	0.95	1.26	0.10
17	800.00	-0.22	0.06	9.89	-9.86	-0.21	-0.22	0.97	0.73	0.07	-0.23	0.99	0.53	0.04
18	850.00	-0.19	0.06	8.70	-8.69	-0.21	-0.22	0.96	0.86	0.08	-0.21	0.95	1.03	0.09
19	900.00	-0.16	0.06	9.96	-7.20	-0.16	-0.23	0.74	2.68	0.25	-0.21	0.85	1.95	0.16
20	950.00	-0.21	0.06	13.44	-9.25	-0.20	-0.24	0.62	3.61	0.34	-0.25	0.85	2.35	0.19
21	1000.00	-0.22	0.06	18.29	-9.72	-0.23	-0.43	0.80	4.17	0.40	-0.34	0.77	4.13	0.34
22	1050.00	-0.22	0.06	15.89	-9.90	-0.25	-0.38	0.81	3.63	0.34	-0.31	0.83	3.17	0.26
23	1100.00	-0.23	0.06	18.30	-10.20	-0.27	-0.41	0.71	5.04	0.48	-0.35	0.80	3.88	0.32
24	1150.00	-0.26	0.06	15.80	-11.39	-0.27	-0.41	0.89	2.80	0.27	-0.34	0.87	2.94	0.24
25	1200.00	-0.24	0.06	18.14	-10.66	-0.25	-0.41	0.70	5.21	0.49	-0.35	0.79	3.95	0.33
26	1250.00	-0.20	0.06	20.63	-8.91	-0.21	-0.43	0.60	6.74	0.64	-0.34	0.68	5.22	0.43



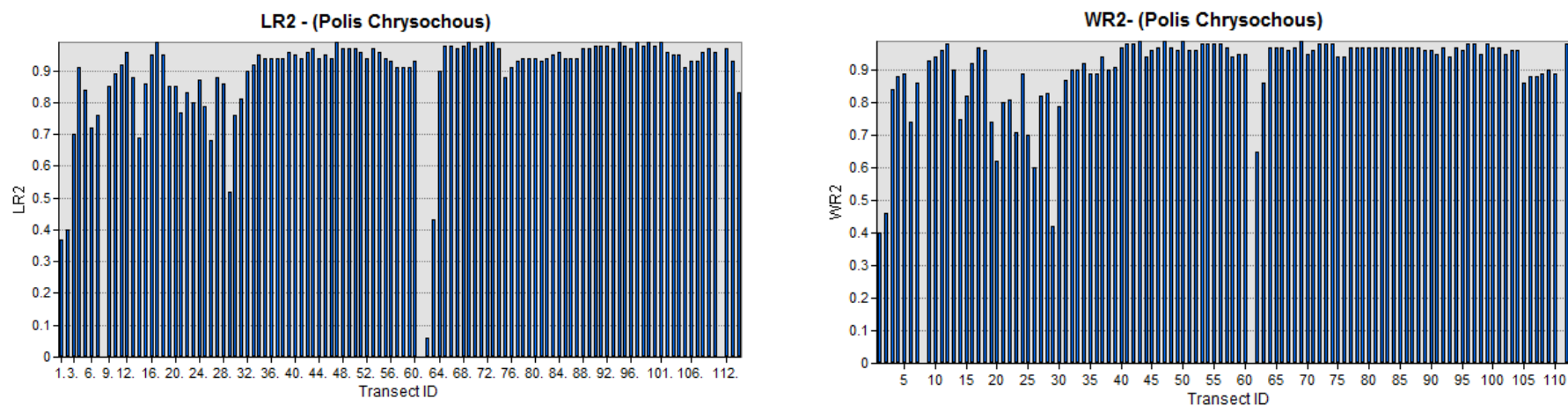
Transect Id	Χιλ.θέση	EPR	ECI	SCE	NSM	LMS	WLR	WR2	WSE	WCI95	LRR	LR2	LSE	LCI95
27	1300.00	-0.28	0.06	17.40	-12.56	-0.30	-0.42	0.82	3.89	0.37	-0.37	0.88	3.03	0.25
28	1350.00	-0.25	0.06	15.98	-10.93	-0.25	-0.39	0.83	3.42	0.32	-0.33	0.86	2.95	0.24
29	1400.00	-0.06	0.06	12.08	-2.47	-0.16	-0.21	0.42	4.84	0.46	-0.17	0.52	3.67	0.30
30	1450.00	-0.27	0.06	21.18	-12.09	-0.27	-0.50	0.79	5.02	0.48	-0.42	0.76	5.28	0.44
31	1500.00	-0.34	0.06	21.65	-15.13	-0.34	-0.55	0.87	4.08	0.39	-0.47	0.81	5.02	0.42
32	1550.00	-0.37	0.06	21.26	-16.49	-0.38	-0.55	0.90	3.63	0.34	-0.47	0.90	3.56	0.29
33	1600.00	-0.42	0.06	21.56	-18.56	-0.42	-0.57	0.90	3.68	0.35	-0.52	0.92	3.36	0.28
34	1650.00	-0.48	0.06	23.16	-21.45	-0.63	-0.57	0.92	3.22	0.31	-0.56	0.95	2.84	0.24
35	1700.00	-0.46	0.06	23.50	-20.63	-0.62	-0.56	0.89	3.88	0.37	-0.55	0.94	3.06	0.25
36	1750.00	-0.43	0.06	21.78	-19.20	-0.53	-0.55	0.89	3.72	0.35	-0.52	0.94	2.99	0.25
37	1800.00	-0.44	0.06	21.22	-19.57	-0.44	-0.58	0.94	2.88	0.27	-0.52	0.94	2.91	0.24
38	1850.00	-0.50	0.06	25.32	-22.33	-0.51	-0.66	0.90	4.36	0.41	-0.61	0.94	3.46	0.29
39	1900.00	-0.50	0.06	24.41	-22.19	-0.49	-0.56	0.91	3.36	0.32	-0.55	0.96	2.48	0.21
40	1950.00	-0.47	0.06	21.13	-21.13	-0.53	-0.55	0.97	1.98	0.19	-0.50	0.95	2.43	0.20
41	2000.00	-0.53	0.06	23.71	-23.71	-0.65	-0.63	0.98	1.83	0.17	-0.54	0.94	3.12	0.26
42	2050.00	-0.56	0.06	24.81	-24.81	-0.58	-0.62	0.98	1.58	0.15	-0.57	0.96	2.58	0.21
43	2100.00	-0.54	0.06	23.97	-23.97	-0.56	-0.60	0.99	1.31	0.12	-0.56	0.97	2.08	0.17
44	2150.00	-0.57	0.06	26.56	-25.38	-0.63	-0.66	0.94	3.28	0.31	-0.61	0.94	3.44	0.28
45	2200.00	-0.62	0.06	28.01	-27.72	-0.62	-0.77	0.96	3.18	0.30	-0.69	0.95	3.68	0.30
46	2250.00	-0.63	0.06	30.23	-28.23	-0.68	-0.85	0.97	3.12	0.30	-0.73	0.94	4.05	0.34
47	2300.00	-0.65	0.06	28.85	-28.85	-0.78	-0.75	0.99	1.24	0.12	-0.69	0.99	1.89	0.16
48	2350.00	-0.70	0.06	31.01	-31.01	-0.87	-0.84	0.97	2.82	0.27	-0.76	0.97	2.91	0.24
49	2400.00	-0.72	0.06	32.45	-32.03	-0.73	-0.87	0.96	3.31	0.31	-0.80	0.97	2.96	0.25
50	2450.00	-0.76	0.06	33.99	-33.99	-0.96	-0.92	0.99	1.93	0.18	-0.82	0.97	3.17	0.26
51	2500.00	-0.81	0.06	36.29	-36.17	-0.90	-1.04	0.96	3.99	0.38	-0.93	0.96	4.38	0.36
52	2550.00	-0.90	0.06	41.80	-40.22	-1.19	-1.19	0.96	4.97	0.47	-1.04	0.94	5.58	0.46

Transect Id	Χιλ.θέση	EPR	ECI	SCE	NSM	LMS	WLR	WR2	WSE	WCI95	LRR	LR2	LSE	LCI95
53	2600.00	-0.94	0.06	41.90	-41.90	-0.97	-1.17	0.98	3.05	0.29	-1.04	0.97	4.39	0.36
54	2650.00	-0.93	0.06	41.80	-41.32	-0.93	-1.17	0.98	3.23	0.31	-1.04	0.96	4.64	0.38
55	2700.00	-0.96	0.06	45.80	-42.90	-1.32	-1.27	0.98	3.93	0.37	-1.09	0.94	5.89	0.49
56	2750.00	-0.98	0.06	46.74	-43.80	-1.43	-1.29	0.98	3.91	0.37	-1.09	0.93	6.59	0.54
57	2800.00	-0.94	0.06	45.59	-42.00	-1.43	-1.27	0.97	4.50	0.43	-1.06	0.91	7.24	0.60
58	2850.00	-0.83	0.06	42.44	-37.18	-1.23	-1.17	0.94	5.82	0.55	-0.99	0.91	6.80	0.56
59	2900.00	-0.76	0.06	38.94	-33.89	-1.15	-1.09	0.95	4.61	0.44	-0.90	0.91	6.31	0.52
60	2950.00	-0.61	0.06	30.43	-27.06	-0.62	-0.84	0.95	3.93	0.37	-0.73	0.93	4.55	0.38
62	3050.00	0.00	0.06	7.91	0.04	-0.27	-0.19	0.65	2.67	0.25	-0.05	0.06	4.66	0.39
63	3100.00	-0.17	0.06	18.29	-7.62	-0.53	-0.45	0.86	3.52	0.33	-0.25	0.43	6.37	0.53
64	3150.00	-0.48	0.06	24.40	-21.45	-0.73	-0.66	0.97	2.25	0.21	-0.54	0.90	4.00	0.33
65	3200.00	-0.64	0.06	28.98	-28.75	-0.60	-0.64	0.97	2.30	0.22	-0.66	0.98	1.91	0.16
66	3250.00	-0.70	0.06	31.23	-31.23	-0.60	-0.63	0.97	2.15	0.20	-0.70	0.98	2.11	0.17
67	3300.00	-0.61	0.06	27.11	-27.11	-0.51	-0.53	0.96	1.96	0.19	-0.60	0.97	2.16	0.18
68	3350.00	-0.48	0.06	21.40	-21.40	-0.47	-0.44	0.97	1.43	0.14	-0.47	0.98	1.65	0.14
69	3400.00	-0.44	0.06	19.55	-19.55	-0.51	-0.48	0.99	0.68	0.06	-0.46	0.99	0.89	0.07
70	3450.00	-0.50	0.06	23.11	-22.39	-0.62	-0.57	0.95	2.50	0.24	-0.56	0.97	2.20	0.18
71	3500.00	-0.63	0.06	28.95	-28.06	-0.65	-0.73	0.96	3.09	0.29	-0.71	0.98	2.48	0.21
72	3550.00	-0.66	0.06	29.57	-29.57	-0.75	-0.70	0.98	1.87	0.18	-0.71	0.99	1.57	0.13
73	3600.00	-0.78	0.06	34.72	-34.72	-0.87	-0.82	0.98	2.45	0.23	-0.83	0.99	1.76	0.15
74	3650.00	-0.89	0.06	39.64	-39.64	-0.90	-1.03	0.98	2.79	0.26	-0.98	0.97	3.52	0.29
75	3700.00	-1.00	0.06	46.09	-44.37	-1.04	-1.16	0.94	5.73	0.54	-1.14	0.88	9.46	0.78
76	3750.00	-1.21	0.06	53.79	-53.79	-1.32	-1.48	0.94	7.01	0.66	-1.42	0.91	9.99	0.83
77	3800.00	-1.32	0.06	58.89	-58.89	-1.32	-1.61	0.97	5.52	0.52	-1.50	0.93	8.78	0.73
78	3850.00	-1.34	0.06	59.85	-59.85	-1.33	-1.64	0.97	5.48	0.52	-1.52	0.94	8.33	0.69
79	3900.00	-1.27	0.06	56.77	-56.77	-1.27	-1.56	0.97	5.06	0.48	-1.44	0.94	7.92	0.65

Transect Id	Χιλ.θέση	EPR	ECI	SCE	NSM	LMS	WLR	WR2	WSE	WCI95	LRR	LR2	LSE	LCI95
80	3950.00	-1.23	0.06	56.45	-54.69	-1.23	-1.55	0.97	5.20	0.49	-1.40	0.94	8.18	0.68
81	4000.00	-1.17	0.06	56.27	-52.08	-1.19	-1.54	0.97	5.25	0.50	-1.35	0.93	8.05	0.67
82	4050.00	-1.12	0.06	52.27	-50.10	-1.15	-1.45	0.97	5.14	0.49	-1.30	0.94	7.22	0.60
83	4100.00	-1.08	0.06	49.17	-48.22	-1.08	-1.37	0.97	4.66	0.44	-1.24	0.95	6.63	0.55
84	4150.00	-1.00	0.06	44.51	-44.51	-1.00	-1.23	0.97	4.22	0.40	-1.14	0.96	5.41	0.45
85	4200.00	-0.92	0.06	42.02	-41.08	-0.93	-1.17	0.97	4.30	0.41	-1.07	0.94	6.17	0.51
86	4250.00	-0.88	0.06	41.07	-39.13	-0.87	-1.14	0.97	4.18	0.40	-1.02	0.94	5.87	0.49
87	4300.00	-0.86	0.06	38.44	-38.44	-0.90	-1.01	0.97	3.62	0.34	-0.97	0.94	5.61	0.46
88	4350.00	-0.85	0.06	37.92	-37.92	-0.87	-1.00	0.97	3.63	0.34	-0.96	0.97	3.94	0.33
89	4400.00	-0.83	0.06	37.45	-36.80	-0.93	-0.94	0.96	3.77	0.36	-0.92	0.97	3.44	0.28
90	4450.00	-0.83	0.06	38.05	-37.09	-0.84	-0.96	0.96	3.96	0.38	-0.93	0.98	3.32	0.27
91	4500.00	-0.85	0.06	39.15	-37.76	-0.94	-0.98	0.95	4.21	0.40	-0.95	0.98	3.21	0.27
92	4550.00	-0.85	0.06	37.95	-37.95	-0.94	-0.95	0.97	3.19	0.30	-0.93	0.98	2.89	0.24
93	4600.00	-0.85	0.06	39.98	-38.06	-1.07	-0.94	0.94	4.45	0.42	-0.95	0.97	3.56	0.29
94	4650.00	-0.95	0.06	42.51	-42.51	-1.07	-0.97	0.97	3.03	0.29	-1.00	0.99	2.25	0.19
95	4700.00	-0.92	0.06	41.68	-41.17	-1.08	-0.96	0.96	3.58	0.34	-0.99	0.98	3.12	0.26
96	4750.00	-0.91	0.06	40.65	-40.65	-0.90	-0.87	0.98	2.51	0.24	-0.94	0.97	3.66	0.30
97	4800.00	-0.93	0.06	41.48	-41.48	-1.00	-0.88	0.98	2.17	0.21	-0.94	0.99	2.00	0.17
98	4850.00	-0.87	0.06	39.98	-38.89	-0.87	-0.82	0.95	3.51	0.33	-0.88	0.98	2.86	0.24
99	4900.00	-0.88	0.06	39.20	-39.20	-0.84	-0.82	0.98	2.03	0.19	-0.87	0.99	1.97	0.16
100	4950.00	-0.87	0.06	39.02	-39.00	-0.81	-0.81	0.97	2.79	0.26	-0.87	0.98	2.52	0.21
101	5000.00	-0.82	0.06	36.72	-36.57	-0.84	-0.78	0.97	2.67	0.25	-0.83	0.99	2.17	0.18
102	5050.00	-0.79	0.06	35.63	-35.32	-0.60	-0.66	0.95	2.90	0.28	-0.77	0.96	3.44	0.28
103	5100.00	-0.75	0.06	33.40	-33.40	-0.51	-0.57	0.96	2.13	0.20	-0.68	0.95	3.61	0.30
104	5150.00	-0.71	0.06	31.84	-31.84	-0.56	-0.57	0.96	2.28	0.22	-0.68	0.95	3.30	0.27
105	5200.00	-0.77	0.06	37.12	-34.18	-0.62	-0.59	0.86	4.66	0.44	-0.74	0.91	5.11	0.42

Transect Id	Χιλ.θέση	EPR	ECI	SCE	NSM	LMS	WLR	WR2	WSE	WCI95	LRR	LR2	LSE	LCI95
106	5250.00	-0.75	0.06	35.59	-33.25	-0.63	-0.59	0.88	4.16	0.39	-0.72	0.93	4.53	0.37
107	5300.00	-0.79	0.06	38.32	-35.20	-0.55	-0.64	0.88	4.67	0.44	-0.78	0.93	4.64	0.38
108	5350.00	-0.75	0.06	36.57	-33.39	-0.87	-0.67	0.89	4.46	0.42	-0.77	0.96	3.64	0.30
109	5400.00	-0.77	0.06	38.05	-34.40	-0.90	-0.77	0.90	4.90	0.46	-0.83	0.97	3.23	0.27
110	5450.00	-0.90	0.06	45.64	-40.31	-0.90	-0.95	0.89	6.60	0.63	-0.99	0.96	4.21	0.35
112	5550.00	-0.75	0.06	33.23	-33.23	-0.55	-0.60	0.98	1.69	0.16	-0.70	0.97	2.95	0.24
113	5600.00	-0.44	0.06	21.09	-19.70	-0.60	-0.57	0.98	1.65	0.16	-0.48	0.93	2.97	0.25
114	5650.00	-0.46	0.06	24.56	-20.32	-0.81	-0.67	0.91	4.13	0.39	-0.54	0.83	5.38	0.45

Πίνακας 5: Αποτελέσματα στατιστικών μεγεθών από δεδομένα ιστορικών ακτογραμμών 1963,1973,1993,2003,2008, για τη περιοχή Πόλεως Χρυσοχούς.

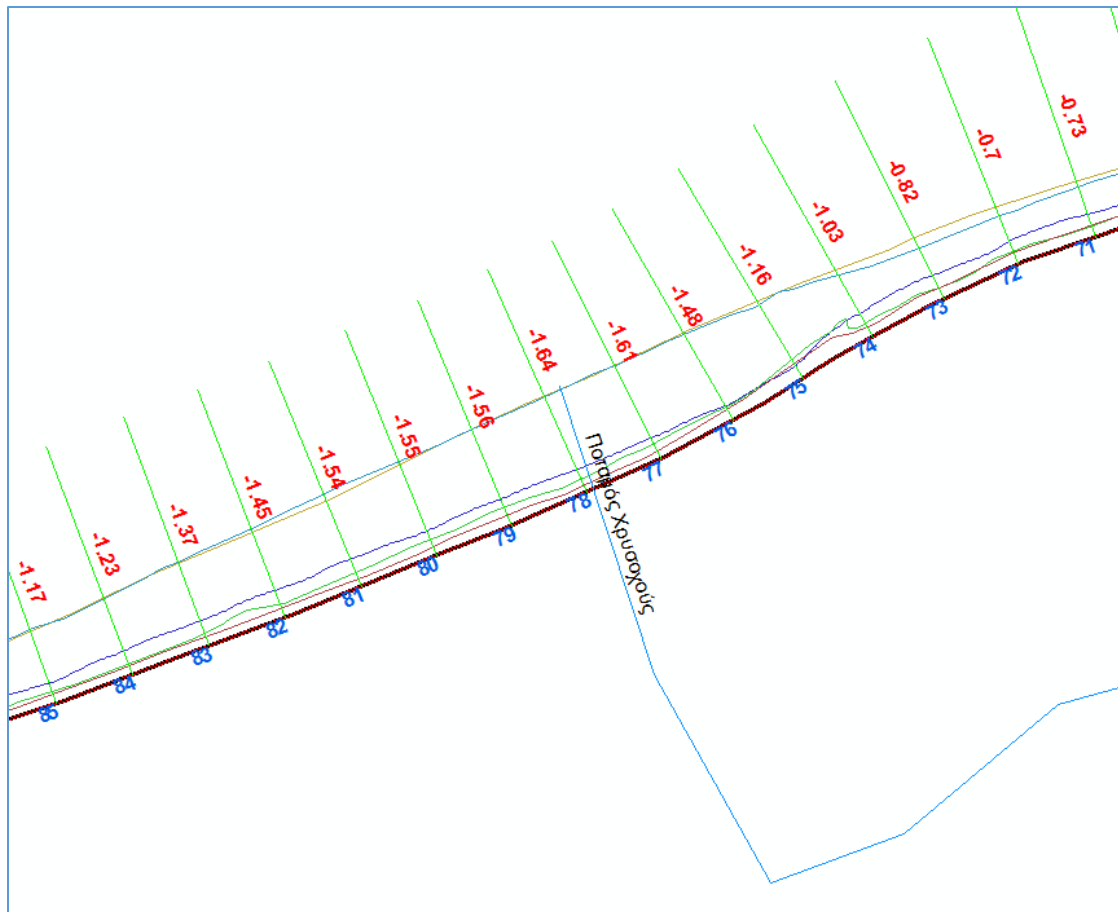


Γράφημα 1: LR2 vs WR2 (Περιοχή Μελέτης Πόλεως Χρυσοχούς)

### 3.2.2 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων από τα δεδομένα ιστορικών ακτογραμμών 1963, 1973, 1993, 2003, 2008

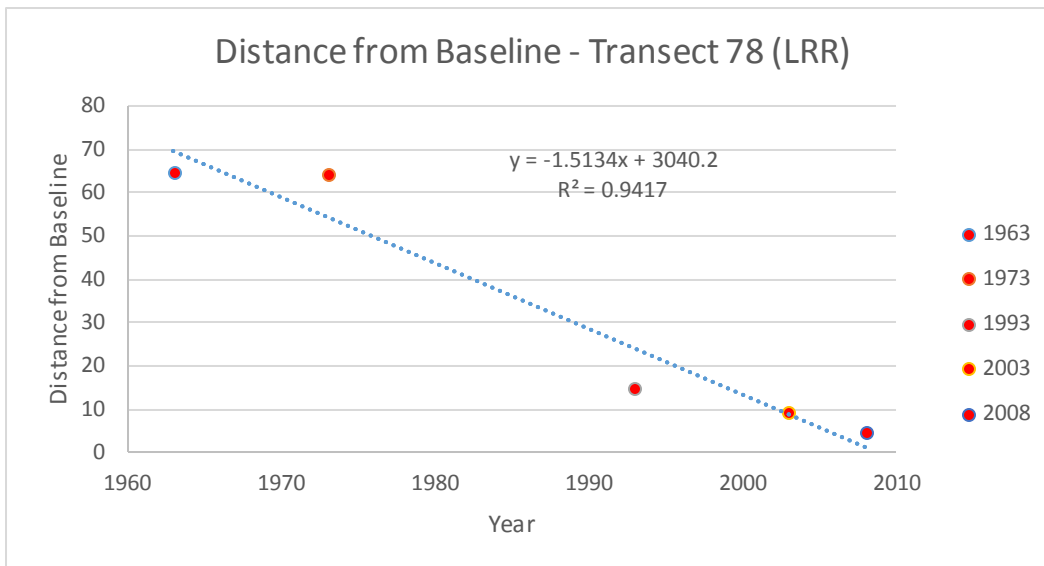
Από τα πιο πάνω αποτελέσματα, παρατηρούμε, πώς οι συντελεστές προσδιορισμού WR2 (που υπολογίστηκαν λαμβάνοντας υπόψη και την αβεβαιότητα θέσης των δεδομένων) είναι αρκετά ικανοποιητικοί δίνοντας τιμές πολύ κοντά στο 1. Οι τιμές αυτές μας καθιστούν ικανούς να συμπεράνουμε με μεγάλη βεβαιότητα πώς και οι αντίστοιχες τιμές σε διάβρωση είναι σε μεγάλο βαθμό αντιπροσωπευτικές.

Στο παραλιακό μέτωπο της Πόλεως Χρυσοχούς και συγκεκριμένα στο σημείο εκβολής του ποταμού Χρυσοχούς (διατομή 78) παρατηρείται διάβρωση με μέγιστο ρυθμό  $1,64 \pm 0,69$  m/year.



Σχήμα 3: Ρυθμοί Διάβρωσης στη εκβολή του ποταμού Χρυσοχούς

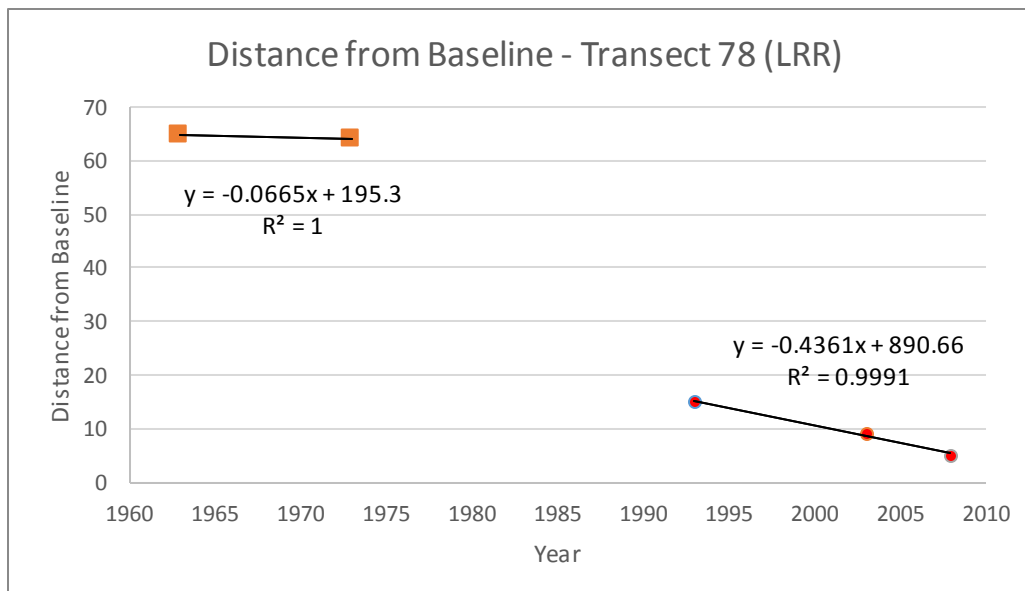
Το πιο κάτω γράφημα παρουσιάζει αναλυτικά τα αποτελέσματα αποστάσεων μεταξύ ιστορικών ακτογραμμών από τη γραμμή βάσης και μη σταθμισμένο ρυθμό μεταβολής (LRR) για τη διατομή 78.



**Γράφημα 2: Αποστάσεις από τη γραμμή βάσης -Διατομή 78 (Πόλις Χρυσοχούς).**

Με το παραπάνω γράφημα παρατηρούμε πώς κατά τη περίοδο 1963-1973, η διάβρωση στο συγκεκριμένο σημείο βρισκόταν σε χαμηλούς ρυθμούς, ενώ μετά το 1993-2008 ο ρυθμός αυτός διάβρωσης αυξήθηκε, αποτέλεσμα της μείωσης των φερτών υλών από το ποταμό Χρυσοχούς λόγω κατασκευής του φράγματος της Ευρέτου το 1986.

Αναλυτικότερα στο γράφημα 3, απομονώνοντας της περιόδους αυτές μπορούμε να προσδιορίσουμε τους ρυθμούς διάβρωσης για τη περίοδο 1963-1973, που ήτανε 0,06 m/year, και για τη περίοδο 1993-2008 0,44 m/year.



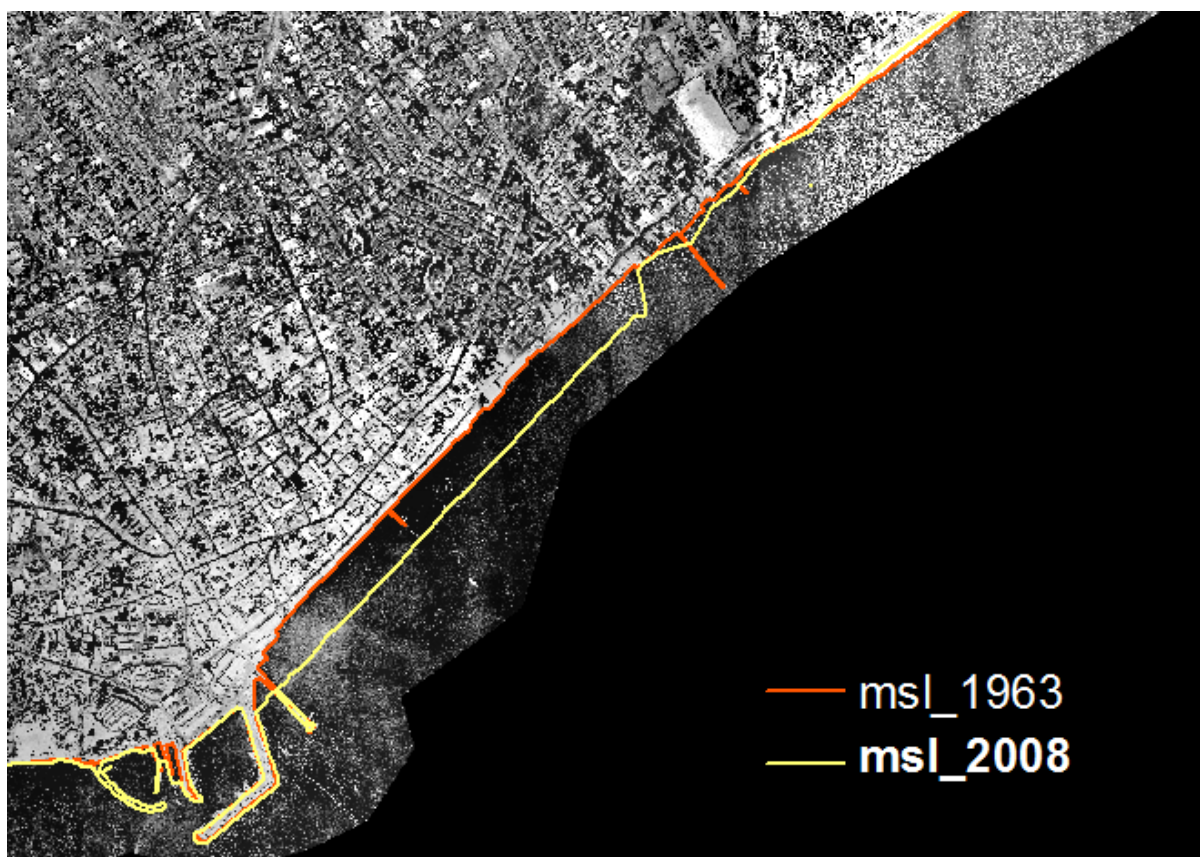
**Γράφημα 3: Ρυθμοί διάβρωσης για τις περιόδους 1963-1973 και 1993-2008 (σημείο εκβολής ποταμού-Πόλις Χρυσοχούς).**

Τα πλήρεις αποτελέσματα για τη περιοχή Πόλεως Χρυσοχούς, παρουσιάζονται στο, χάρτη -  
APPENDIX 1 «*COASTLINE CHANGING RATES – POLIS CHRYSOCHOUS (1963-2008)*»,  
που επισυνάπτεται.

## 4. Περιοχή Μελέτης - Λεμεσός

Το παραλιακό μέτωπο της Λεμεσού αποτελεί ένα ιδιαίτερο παράδειγμα, που αναδεικνύει την δυσκολία στη μελέτη υπολογισμού ρυθμών μεταβολής της ακτογραμμής σε περιοχές με εκτεταμένες επεμβάσεις. Συγκεκριμένα επιλέχθηκε ως περιοχή μελέτης το μέτωπο από το παλιό λιμάνι της Λεμεσού μέχρι την Αμαθούντα. Οι διαφορές στη ακτογραμμή του σήμερα εν συγκρίσει των ιστορικών ακτογραμμών, υποδουλώνουν το υπεράριθμο μέγεθος επεμβάσεων που πραγματοποιήθηκαν στο χρονικό διάστημα 1963-2008.

Στο διάστημα των σαράντα-πέντε (45) αυτών χρόνων σαράντα-έξι (46) κυματοθραύστες κατασκευάστηκαν για τον έλεγχο της διάβρωσης, ακυρώνοντας σταδιακά τους υφιστάμενους βραχίονες. Οι πλείστοι από αυτούς ήταν αυθαίρετες κατασκευές από ιδιώτες που στη προσπάθειά τους να προστατεύσουν την ιδιοκτησία τους και να εκμεταλλευτούν την παράκτια ζώνη, όπου οι αδυναμίες στη εκπόνηση μελέτης απέφερε περεταίρω προβλήματα.



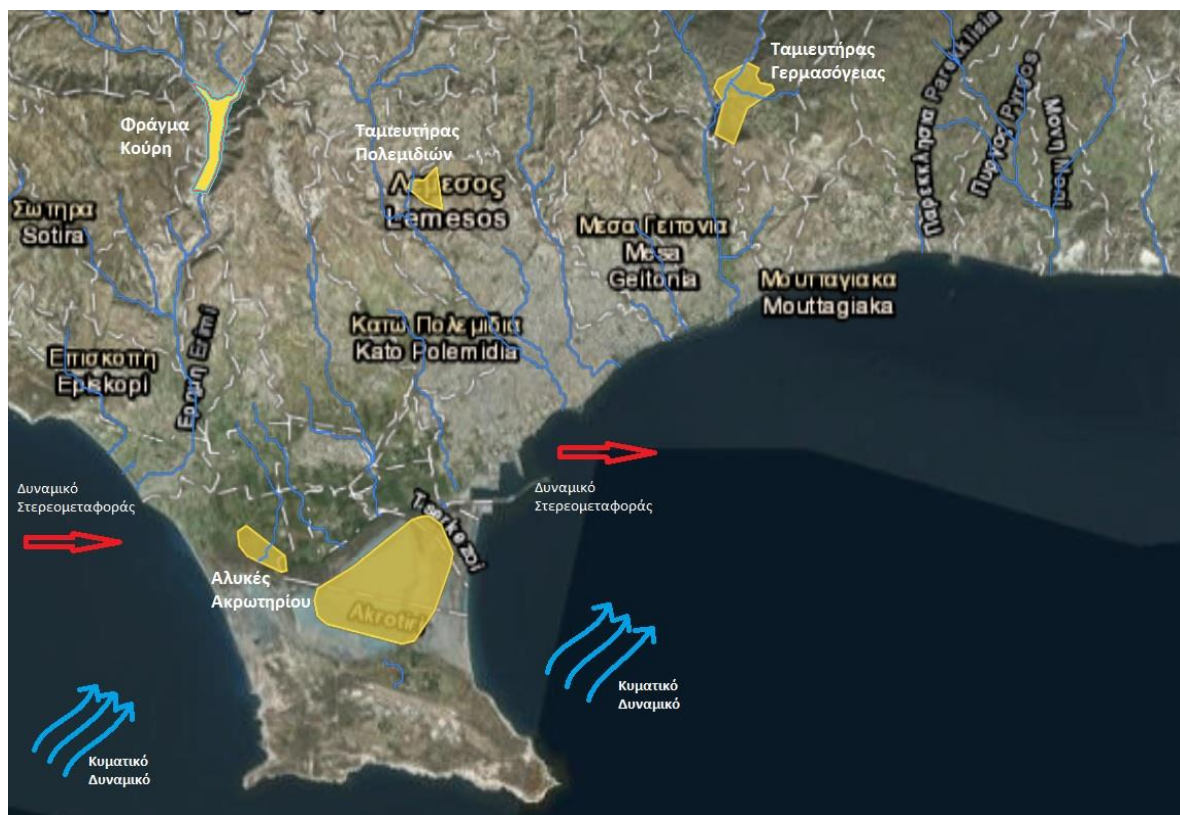
Εικόνα 26: Ακτογραμμές 1963 & 2008 (υπόβαθρο Αεροφωτογραφία του 1963)



Από τα δεδομένα των ιστορικών ακτογραμμών 1963, 1973, 1993, 2003, και 2008 παρατηρείται εμφανέστατα το μέγεθος των επεμβάσεων που έχουν γίνει στο παρελθόν στο παραλιακό μέτωπο της Λεμεσού. Επεμβάσεις όπως προσχώσεις, κατασκευές αυθαίρετων έργων όπως αυτά απεικονίζονται στα δεδομένα καθιστούν δυσκολίες στη μοντελοποίηση της γραμμικής μεταβολής και στην αντιπροσώπευση των τελικών αποτελεσμάτων.

### 4.3 Δυναμικό Στερεομεταφοράς της περιοχής

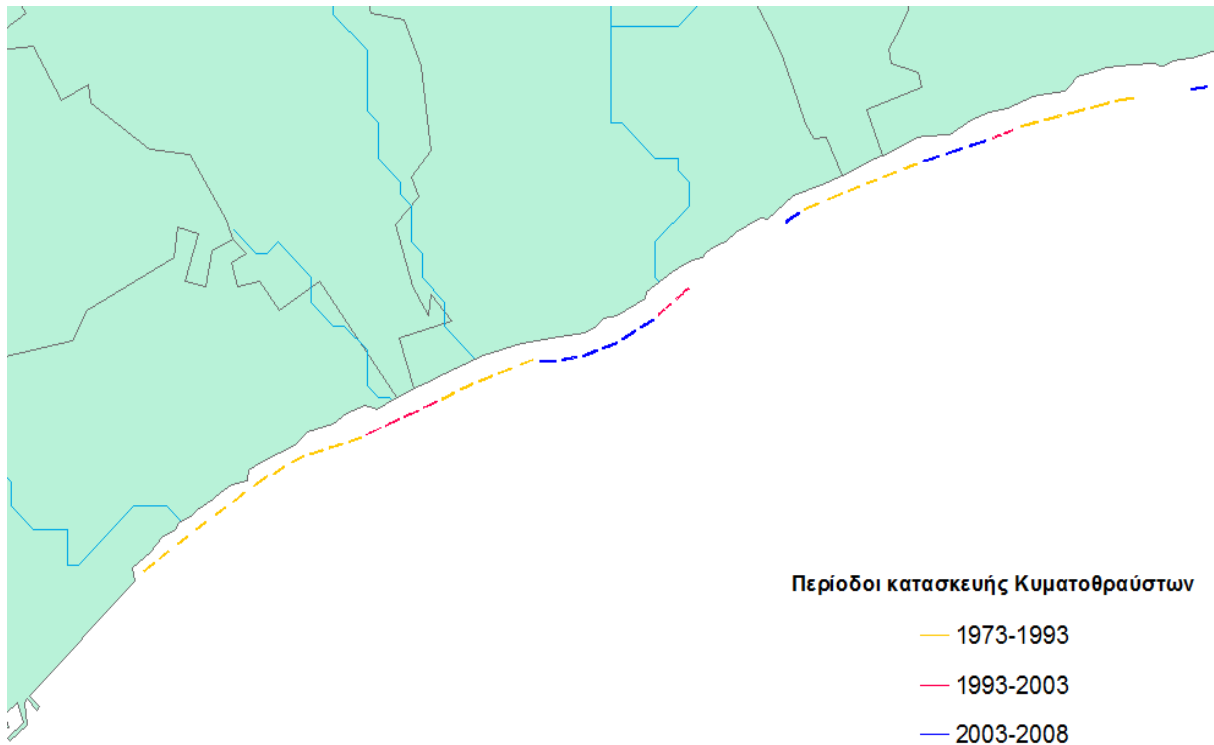
Εκτός από τις αυθαίρετες επεμβάσεις και την έντονη αμμοληψία στη περιοχή, μία άλλη παράμετρος που επηρεάζει τη μοντελοποίηση της γραμμικής μεταβολής της περιοχής Λεμεσού μέσα από τα ιστορικά δεδομένα 1963-2008, είναι και οι μεταβαλλόμενες δυναμικές στερεομεταφοράς της περιοχής, αποτέλεσμα της κατασκευής μεγάλων αρδευτικών έργων. Ο ταμιευτήρας Πολεμιδιών, ο ταμιευτήρας Γερμασόγειας και το φράγμα του Κούρη που τέθηκαν σε λειτουργία το 1965, 1968 και 1988 αντίστοιχα, συνετέλεσαν στη μείωση της φερτής ύλης από τους ποταμούς με επακόλουθο την επιτάχυνση της διάβρωσης στη περιοχή. Σημειώνεται ότι ο θεσμός των περιβαλλοντικών μελετών εισάχθηκε το 1991, και έτσι τα περισσότερα φράγματα δεν μελετήθηκαν όσο αφορά τις περιβαλλοντικές τους επιπτώσεις.



Εικόνα 27: Δυναμικό Στερεομεταφοράς περιοχής Λεμεσού (υπόβαθρο ArcGIS Earth)

#### 4.4 Έργα προστασίας από τη διάβρωση (περίοδος 1963-2008)

Για την αντιμετώπιση της διάβρωσης, έγινε κατασκευή παράλληλων κυματοθραυστών, είκοσι-οχτώ (28) στον αριθμό κατά την περίοδο 1973-1993, επτά (7) κατά την περίοδο 1993-2003, και έντεκα (11) για τη περίοδο 2003-2008. Η σταδιακή κατασκευή των έργων αυτών συνετέλεσε περαιτέρω στη μεταβολή δυναμικότητας της στερεομεταφοράς και γενικότερα στη διαμόρφωση των ακτογραμμών, όπως αυτή απεικονίζεται στα ιστορικά δεδομένα.



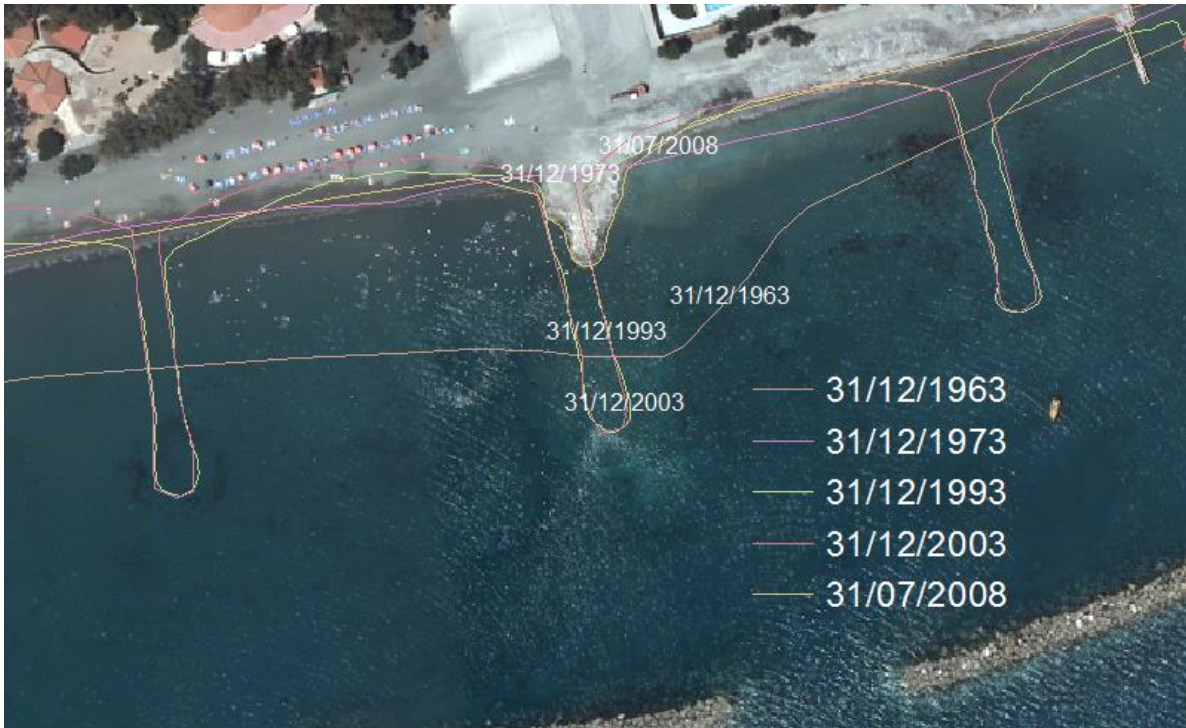
Εικόνα 28: Περίοδοι κατασκευής κυματοθραυστών

#### 4.5 Διαδικασίες υπολογισμού στατιστικών μεγεθών

Στη συνέχεια γίνεται αναφορά για τις διαδικασίες για τον υπολογισμό των στατιστικών μεγεθών μεταβολής της ακτογραμμής, και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

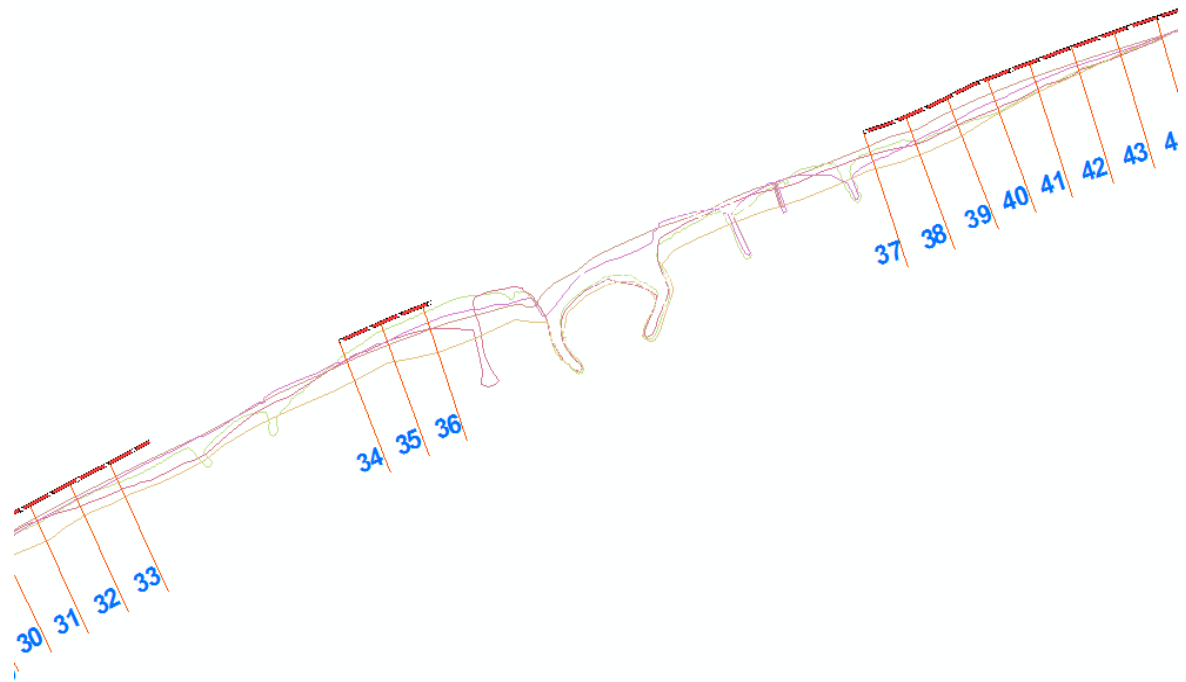
##### 4.5.1 Ορισμός Γραμμής βάσης και δημιουργία διατομών

Για ευνόητους λόγους, η περιοχή μελέτης για το παραλιακό μέτωπο της Λεμεσού, κρίθηκε αναγκαίο να διαχωριστεί σε τμήματα, απορρίπτοντας περιοχές με εμφανή στοιχεία επεμβάσεων καθώς τα αποτελέσματα από τις περιοχές αυτές θα εμπειρείχαν σωρεία σφαλμάτων και δεν θα ήταν καθόλου αντιπροσωπευτικά.



**Εικόνα 29:** Περιοχές με έντονα στοιχεία επεμβάσεων (υπόβαθρο από αεροφωτογραφία 2008)

Συνολικά δημιουργήθηκαν για τα τμήματα μελέτης 97 διατομές , με βήμα 50 μέτρων, αφού εξαιρέθηκαν οι περιοχές με έντονες εξάρσεις στις θέσεις των ιστορικών ακτογραμμών, από κατασκευές όπως αλιευτικά καταφύγια και βραχίονες.



**Σχήμα 4:** Ορισμός γραμμής βάσης και δημιουργία διατομών - Παραλιακό μέτωπο Λεμεσού

#### 4.5.2 Αποτελέσματα από δεδομένα ιστορικών ακτογραμμών 1963, 1973, 1993, 2003, 2008

Trans ID	Χιλ. θέση	EPR	ECI	SCE	NSM	LMS	WLR	WR2	WSE	WCI95	LRR	LR2	LSE	LCI95
1	0	0.09	0.06	5.08	3.83	0.09	-0.02	0.05	1.61	0.15	0.03	0.09	2.17	0.18
2	50	0.19	0.06	11.42	8.58	0.19	0.03	0.01	6.45	0.61	0.09	0.13	5.48	0.45
3	100	0.27	0.06	21.84	12.14	0.63	0.48	0.70	6.07	0.58	0.29	0.52	6.27	0.52
4	150	0.38	0.06	16.98	16.98	0.25	0.35	0.84	2.93	0.28	0.33	0.92	2.12	0.18
5	200	0.27	0.06	12.20	12.20	0.27	0.24	0.75	2.66	0.25	0.24	0.88	1.93	0.16
6	337	0.24	0.06	11.09	10.58	-0.02	0.10	0.08	6.56	0.62	0.10	0.16	4.97	0.41
9	400	0.19	0.06	8.62	8.62	0.02	0.03	0.01	5.34	0.51	0.07	0.11	4.10	0.34
10	450	-0.03	0.06	6.55	-1.25	-0.05	-0.11	0.37	2.79	0.27	-0.09	0.50	1.96	0.16
11	500	0.21	0.06	9.48	9.25	0.26	0.19	0.40	4.44	0.42	0.18	0.51	3.83	0.32
12	550	0.11	0.06	8.90	4.98	0.00	0.19	0.54	3.35	0.32	0.09	0.31	3.16	0.26
13	600	-0.18	0.06	14.35	-8.24	-0.18	-0.18	0.35	4.78	0.45	-0.23	0.71	3.26	0.27
14	650	-0.15	0.06	9.40	-6.58	-0.16	-0.10	0.41	2.43	0.23	-0.15	0.71	2.12	0.18
15	700	-0.18	0.06	12.96	-7.91	-0.18	-0.24	0.55	4.17	0.40	-0.24	0.81	2.57	0.21
16	750	-0.32	0.06	23.35	-14.06	-0.58	-0.49	0.61	7.59	0.72	-0.47	0.81	5.12	0.42
17	800	-0.36	0.06	17.89	-15.83	-0.36	-0.39	0.89	2.62	0.25	-0.39	0.96	1.68	0.14
18	850	-0.27	0.06	15.31	-11.85	-0.28	-0.32	0.78	3.37	0.32	-0.32	0.92	2.11	0.17
19	900	-0.21	0.06	17.66	-9.50	-0.43	-0.35	0.53	6.38	0.60	-0.35	0.74	4.62	0.38
20	950	-0.20	0.06	14.97	-8.76	-0.20	-0.21	0.40	4.90	0.46	-0.25	0.75	3.19	0.26
21	1000	-0.05	0.06	11.60	-2.23	-0.05	-0.14	0.14	6.82	0.65	-0.15	0.38	4.30	0.36
22	1050	0.05	0.06	6.35	2.43	-0.17	-0.09	0.44	2.09	0.20	0.00	0.00	3.16	0.26
23	1143	0.18	0.06	14.26	8.20	-0.32	-0.16	0.23	5.56	0.53	0.04	0.01	7.09	0.59
24	1193	0.10	0.06	14.00	4.40	-0.36	-0.18	0.32	5.23	0.50	0.00	0.00	7.36	0.61
25	1243	0.12	0.06	11.90	5.30	-0.34	-0.18	0.28	5.55	0.53	-0.01	0.00	6.40	0.53
26	1293	0.14	0.06	17.52	6.26	0.05	-0.17	0.08	10.86	1.03	-0.09	0.06	7.54	0.62
27	1343	0.26	0.06	22.42	11.47	-0.28	-0.02	0.00	15.42	1.46	-0.03	0.01	9.92	0.82

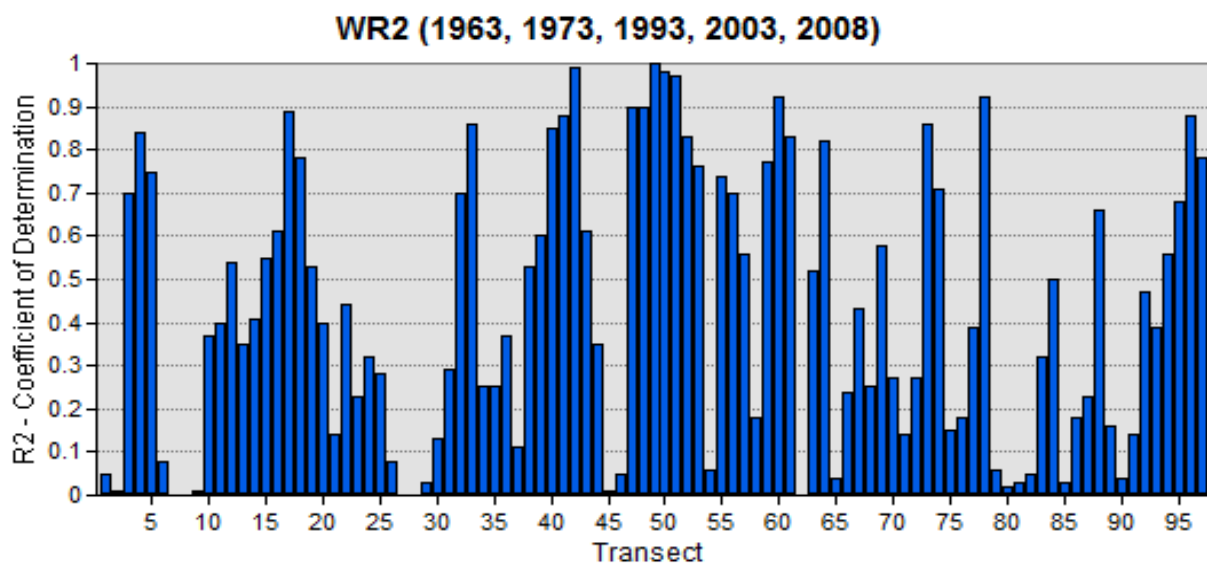
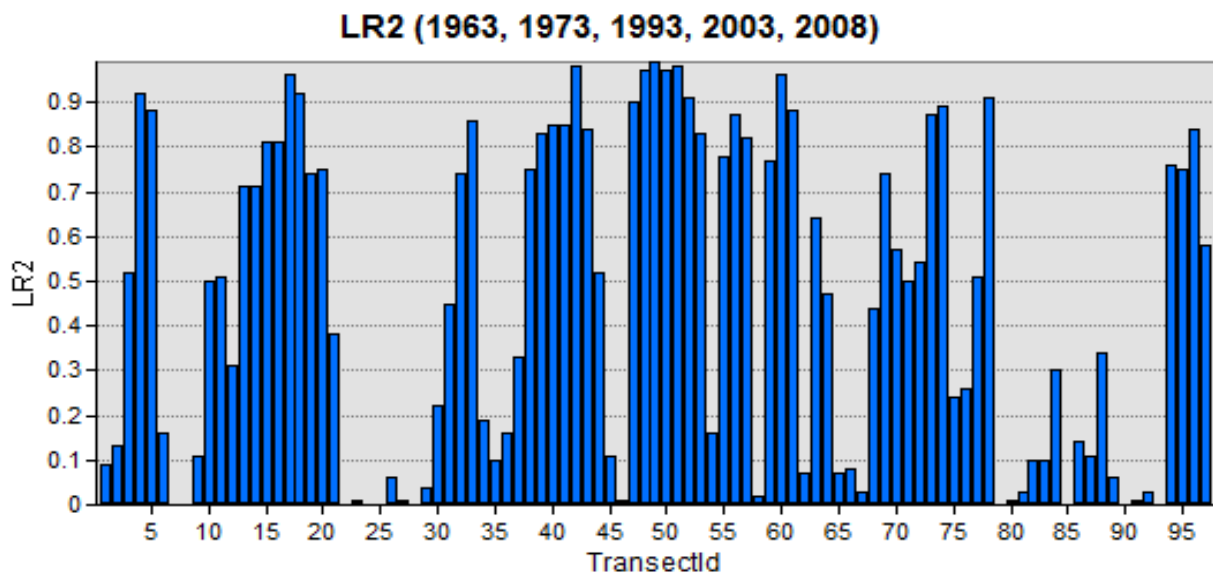
Trans ID	Χιλ. θέση	EPR	ECI	SCE	NSM	LMS	WLR	WR2	WSE	WCI95	LRR	LR2	LSE	LCI95
28	1393	0.29	0.06	24.16	12.71	-0.29	0.03	0.00	16.41	1.55	-0.01	0.00	10.51	0.87
29	1443	0.37	0.06	23.07	16.42	-0.17	0.14	0.03	15.36	1.46	0.09	0.04	10.02	0.83
30	1493	0.48	0.06	22.71	21.54	-0.03	0.28	0.13	14.62	1.39	0.23	0.22	9.41	0.78
31	1543	0.60	0.06	26.87	26.87	0.09	0.47	0.29	14.40	1.36	0.38	0.45	9.16	0.76
32	1593	0.51	0.06	22.70	22.70	0.29	0.48	0.70	6.19	0.59	0.41	0.74	5.32	0.44
33	1643	0.52	0.06	23.03	23.03	0.39	0.52	0.86	3.99	0.38	0.45	0.86	4.07	0.34
34	1930	0.49	0.06	29.68	21.87	-0.07	0.47	0.25	15.57	1.48	0.26	0.19	12.02	0.99
35	1980	0.44	0.06	35.55	19.59	-0.09	0.46	0.25	15.35	1.45	0.21	0.10	14.13	1.17
36	2030	0.57	0.06	44.51	25.48	-0.02	0.68	0.37	17.15	1.63	0.34	0.16	17.23	1.42
37	2560	0.56	0.06	24.93	24.93	0.56	0.20	0.11	10.81	1.02	0.28	0.33	9.02	0.75
38	2610	0.60	0.06	26.88	26.88	0.37	0.40	0.53	7.26	0.69	0.43	0.75	5.50	0.45
39	2660	0.62	0.06	27.82	27.82	0.53	0.44	0.60	6.96	0.66	0.48	0.83	4.74	0.39
40	2710	0.49	0.06	21.75	21.75	0.43	0.36	0.85	2.94	0.28	0.44	0.85	4.14	0.34
41	2760	0.37	0.06	16.98	16.43	0.34	0.28	0.88	2.02	0.19	0.35	0.85	3.30	0.27
42	2810	0.25	0.06	11.31	11.31	0.23	0.23	0.99	0.54	0.05	0.24	0.98	0.79	0.07
43	2860	0.14	0.06	7.99	6.19	0.19	0.11	0.61	1.65	0.16	0.15	0.84	1.46	0.12
44	2910	0.03	0.06	2.95	1.56	0.04	0.02	0.35	0.62	0.06	0.04	0.52	0.88	0.07
45	2960	-0.08	0.06	4.12	-3.64	-0.07	0.01	0.01	1.74	0.17	-0.03	0.11	1.84	0.15
46	3010	-0.05	0.06	5.75	-2.35	0.00	0.03	0.05	2.27	0.22	0.01	0.01	2.61	0.22
47	3060	-0.24	0.06	10.82	-10.82	-0.23	-0.17	0.90	1.05	0.10	-0.21	0.90	1.49	0.12
48	3110	-0.38	0.06	18.71	-16.82	-0.45	-0.38	0.90	2.47	0.23	-0.41	0.97	1.64	0.14
49	3160	-0.58	0.06	25.92	-25.92	-0.60	-0.59	1.00	0.69	0.07	-0.60	0.99	0.96	0.08
50	3210	-0.67	0.06	29.92	-29.92	-0.67	-0.63	0.98	1.55	0.15	-0.68	0.97	2.53	0.21
51	3260	-0.69	0.06	30.65	-30.65	-0.78	-0.65	0.97	2.25	0.21	-0.71	0.98	2.37	0.20
52	3310	-0.69	0.06	35.58	-30.97	-0.90	-0.62	0.83	5.51	0.52	-0.75	0.91	5.33	0.44
53	3360	-0.75	0.06	38.96	-33.23	-0.75	-0.61	0.76	6.62	0.63	-0.80	0.83	7.99	0.66
54	5375	-0.07	0.06	6.37	-3.17	0.07	0.03	0.06	2.36	0.22	-0.05	0.16	2.73	0.23



Trans ID	Χιλ. θέση	EPR	ECI	SCE	NSM	LMS	WLR	WR2	WSE	WCI95	LRR	LR2	LSE	LCI95
55	5425	-0.26	0.06	15.45	-11.49	-0.27	-0.25	0.74	2.88	0.27	-0.31	0.78	3.59	0.30
56	5475	-0.33	0.06	19.74	-14.80	-0.51	-0.36	0.70	4.62	0.44	-0.41	0.87	3.51	0.29
57	5525	-0.22	0.06	13.35	-9.94	-0.33	-0.17	0.56	3.00	0.28	-0.24	0.82	2.52	0.21
58	5575	-0.25	0.06	36.50	-11.29	-0.23	-0.23	0.18	9.48	0.90	-0.11	0.02	16.99	1.40
59	5625	-0.33	0.06	16.45	-14.68	-0.33	-0.28	0.77	2.92	0.28	-0.31	0.77	3.75	0.31
60	5675	-0.33	0.06	15.74	-14.53	-0.33	-0.37	0.92	2.07	0.20	-0.36	0.96	1.66	0.14
61	5725	-0.12	0.06	5.43	-5.43	-0.09	-0.13	0.83	1.15	0.11	-0.11	0.88	0.88	0.07
62	5775	-0.11	0.06	5.07	-4.98	-0.05	-0.01	0.00	3.54	0.34	-0.03	0.07	2.54	0.21
63	5825	-0.15	0.06	7.33	-6.63	-0.16	-0.16	0.52	2.96	0.28	-0.13	0.64	2.12	0.18
64	5875	-0.05	0.06	7.35	-2.43	-0.05	-0.18	0.82	1.60	0.15	-0.11	0.47	2.59	0.21
65	5925	0.05	0.06	3.92	2.40	0.07	-0.01	0.04	1.28	0.12	0.02	0.07	2.01	0.17
66	5975	0.03	0.06	6.41	1.41	0.03	-0.06	0.24	2.15	0.20	-0.03	0.08	2.65	0.22
67	6025	0.05	0.06	5.19	2.22	-0.09	-0.06	0.43	1.25	0.12	0.02	0.03	2.19	0.18
68	6075	0.15	0.06	14.36	6.67	0.16	0.09	0.25	3.11	0.30	0.18	0.44	4.59	0.38
69	6125	0.23	0.06	14.93	10.05	0.40	0.27	0.58	4.38	0.42	0.31	0.74	4.05	0.34
70	6175	0.21	0.06	19.28	9.54	0.46	0.22	0.27	6.91	0.66	0.32	0.57	6.26	0.52
71	6225	0.19	0.06	17.04	8.41	0.39	0.12	0.14	5.63	0.53	0.25	0.50	5.59	0.46
72	6275	0.15	0.06	14.30	6.64	0.32	0.15	0.27	4.95	0.47	0.23	0.54	4.72	0.39
73	6325	0.24	0.06	12.02	10.55	0.25	0.22	0.86	1.72	0.16	0.26	0.87	2.28	0.19
74	6375	0.23	0.06	10.24	10.24	0.19	0.18	0.71	2.23	0.21	0.19	0.89	1.46	0.12
75	6425	0.25	0.06	11.51	11.10	-0.02	0.13	0.15	6.03	0.57	0.12	0.24	4.74	0.39
76	6475	0.43	0.06	19.77	19.31	-0.02	0.28	0.18	11.46	1.09	0.22	0.26	8.19	0.68
77	6525	0.56	0.06	24.79	24.79	0.09	0.45	0.39	10.87	1.03	0.36	0.51	7.94	0.66
78	6575	0.58	0.06	25.76	25.76	0.58	0.55	0.92	3.07	0.29	0.52	0.91	3.53	0.29
79	6929	0.16	0.06	11.83	7.34	0.16	-0.07	0.06	5.59	0.53	0.00	0.00	5.89	0.49
80	6979	0.16	0.06	15.81	7.29	-0.28	-0.05	0.02	8.31	0.79	-0.04	0.01	7.85	0.65
81	7029	0.30	0.06	20.46	13.39	-0.23	0.10	0.03	10.58	1.00	0.07	0.03	9.05	0.75

Trans ID	Χιλ. θέση	EPR	ECI	SCE	NSM	LMS	WLR	WR2	WSE	WCI95	LRR	LR2	LSE	LCI95
82	7079	0.30	0.06	15.87	13.59	-0.09	0.11	0.05	8.86	0.84	0.11	0.10	7.12	0.59
83	7153	0.04	0.06	8.78	1.68	0.04	-0.10	0.32	2.83	0.27	-0.05	0.10	3.58	0.30
84	7203	-0.03	0.06	10.53	-1.22	-0.09	-0.14	0.50	2.77	0.26	-0.11	0.30	3.75	0.31
85	7253	0.06	0.06	5.83	2.83	0.02	-0.02	0.03	1.94	0.18	0.00	0.00	2.66	0.22
86	7303	0.08	0.06	4.87	3.44	-0.02	0.05	0.18	2.13	0.20	0.03	0.14	1.91	0.16
87	7353	0.03	0.06	10.95	1.28	-0.05	-0.09	0.23	3.36	0.32	-0.07	0.11	4.38	0.36
88	7403	0.23	0.06	14.37	10.38	0.21	0.22	0.66	3.15	0.30	0.18	0.34	5.61	0.46
89	7473	0.04	0.06	5.47	1.88	0.04	0.03	0.16	1.48	0.14	0.03	0.06	2.43	0.20
90	7523	0.05	0.06	7.31	2.09	0.02	0.02	0.04	2.19	0.21	0.00	0.00	3.28	0.27
91	7573	0.05	0.06	7.94	2.25	0.03	-0.04	0.14	2.13	0.20	-0.01	0.01	3.38	0.28
92	7623	0.04	0.06	8.40	1.90	0.05	-0.11	0.47	2.26	0.21	-0.03	0.03	3.70	0.31
93	7673	0.10	0.06	10.38	4.41	0.09	-0.12	0.39	2.91	0.28	0.00	0.00	4.54	0.38
94	7723	0.37	0.06	16.65	16.65	0.23	0.26	0.56	4.35	0.41	0.27	0.76	3.38	0.28
95	7773	0.48	0.06	21.25	21.25	0.35	0.33	0.68	4.37	0.41	0.36	0.75	4.56	0.38
96	7823	0.44	0.06	19.53	19.53	0.39	0.39	0.88	2.81	0.27	0.37	0.84	3.58	0.30
97	7873	0.48	0.06	21.54	21.54	0.42	0.42	0.78	4.44	0.42	0.39	0.58	7.27	0.60

Πίνακας 6: Αποτελέσματα στατιστικών μεγεθών από δεδομένα ιστορικών ακτογραμμών 1963, 1973, 1993, 2003, 2008, για τη περιοχή Λεμεσού.



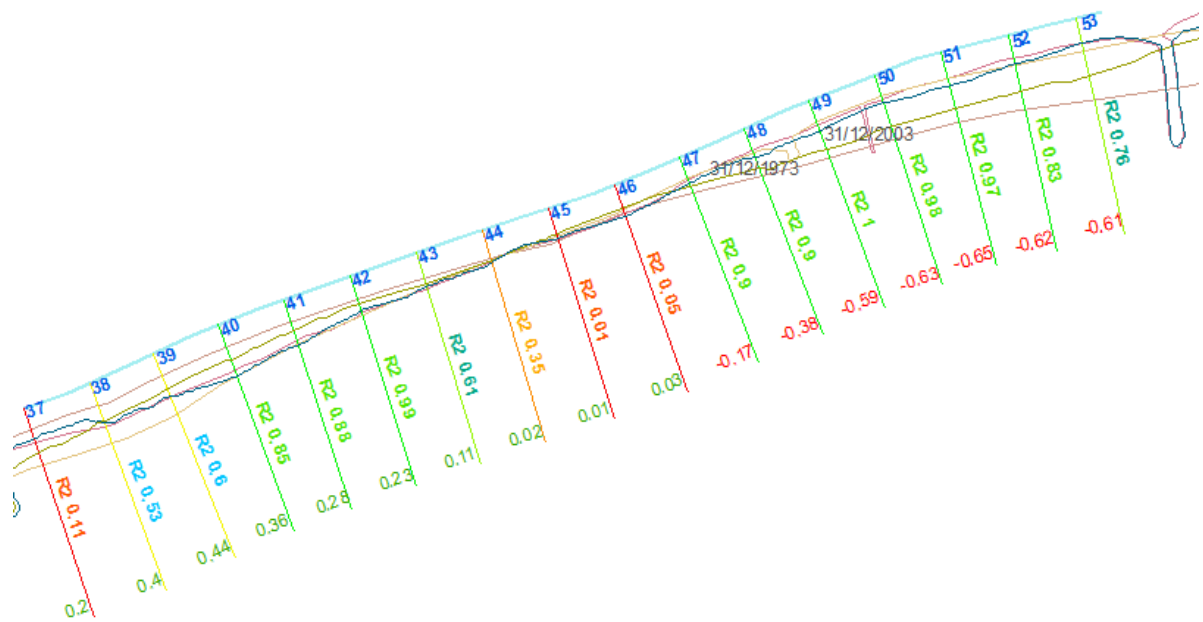
Γράφημα 4: LR2 vs WR2 (Περιοχή Μελέτης Λεμεσός)

#### 4.5.3 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων από τα δεδομένα ιστορικών ακτογραμμών 1963, 1973, 1993, 2003, 2008

Από τα πιο πάνω αποτελέσματα, παρατηρούμε αρχικά, πώς οι συντελεστές προσδιορισμού WR2 (που υπολογίστηκαν λαμβάνοντας υπόψη και την αβεβαιότητα θέσης των δεδομένων), δεν είναι ικανοποιητικοί για μεγάλο αριθμό διατομών. Ικανοποιητικές τιμές λαμβάνονται για τις διατομές μεταξύ 40-42, και 47-52, που αντιπροσωπεύουν μεγάλο μέρος της περιοχής Δασούδι, δίνοντας μας μία μέση τιμή ρυθμών πρόσχωσης 0,29 m/year με σφάλμα  $\pm 0,23$  και



ρυθμών διάβρωσης 0,51 m/year με σφάλμα  $\pm 0,20m$ , αντίστοιχα (βαθμός εμπιστοσύνης που τέθηκε- 95%).



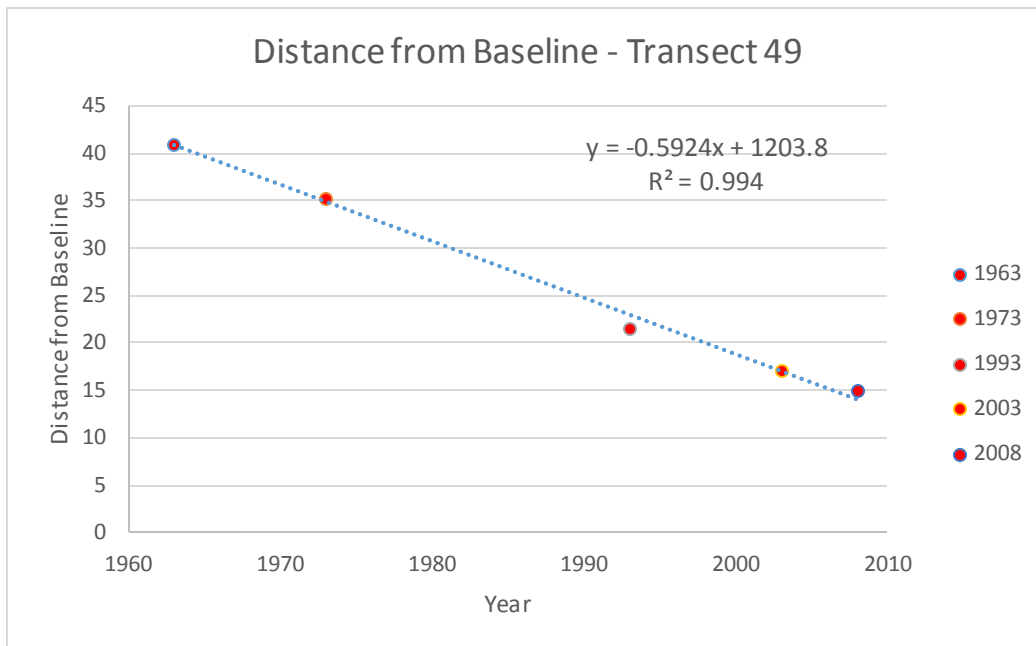
Σχήμα 5: Διατομές και αποτελέσματα για τη περιοχή Λασούδι -Λεμεσός

Transect ID	Χιλιομετρική θέση	WLR	WR2	LCI95
40	2+710	0.36	0.85	0.34
41	2+760	0.28	0.88	0.27
42	2+810	0.23	0.99	0.07
48	3+110	-0.38	0.90	0.14
49	3+160	-0.59	1.00	0.08
50	3+210	-0.63	0.98	0.21
51	3+260	-0.65	0.97	0.20
52	3+310	-0.62	0.83	0.44

Πίνακας 7: Ικανοποιητικά αποτελέσματα διατομών 40-42, 48-52 (περιοχή Λασούδι-Λεμεσός)

- Ανάλυση αποτελεσμάτων σε διατομή με ικανοποιητικό συντελεστή προσδιορισμού-  $R^2$

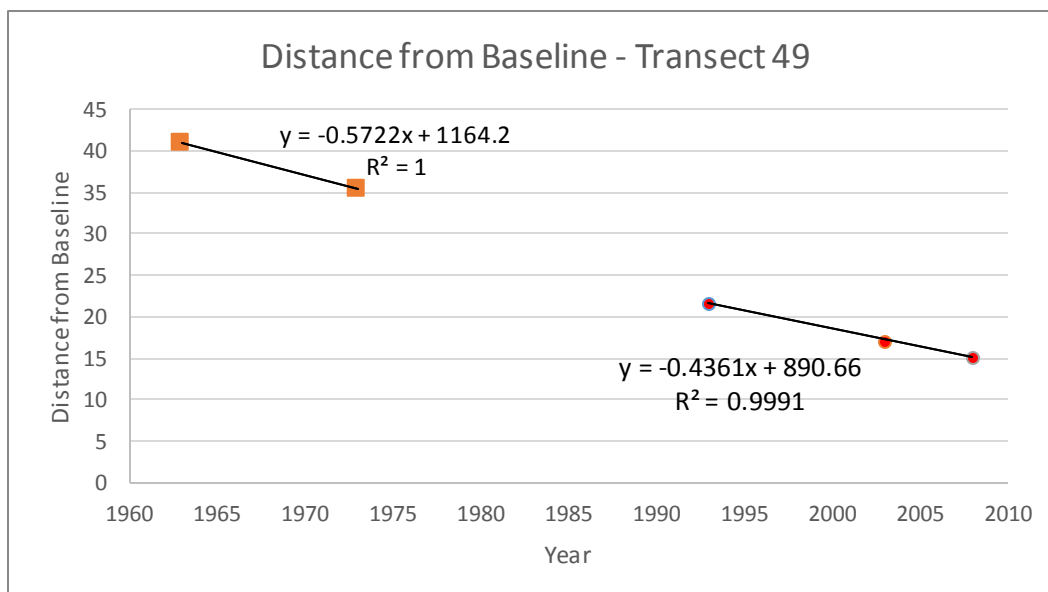
Από τα στοιχεία της διατομής 49, έχοντας τα δεδομένα για κάθε σημείο τομής της γραμμής βάσης με τις ιστορικές ακτογραμμές μπορούμε να παρουσιάσουμε το γράφημα πιο κάτω.



**Γράφημα 5:** Αποστάσεις από τη γραμμή βάσης -Διατομή 49 (περιοχή Δασούδι -Λεμεσού).

Παρατηρείται, πώς η χρονική αλλαγή των ακτογραμμών στο σημείο της διατομής 49, είναι γραμμική, και ότι τα αποτελέσματα που πήραμε είναι αρκετά αντιπροσωπευτικά.

Μελετώντας το γράφημα και ελέγχοντας ταυτόχρονα την περίοδο κατασκευής των παράλληλων κυματοθραυστών για το κομμάτι στη περιοχή Δασούδι (εικ.28), παρατηρούμε πώς οι παράλληλοι κυματοθραύστες κατασκευάστηκαν πριν το 1993,. Παρόλα αυτά η διάβρωση συνεχίζει αλλά με ελάχιστα μειωμένο ρυθμό από αυτό που είχε πριν την κατασκευή τους.



**Γράφημα 6:** Μείωση ρυθμού διάβρωσης από το 1993 -Διατομή 49 (περιοχή Δασούδι -Λεμεσού).

Από το πιο πάνω γράφημα παρατηρείται πώς για τη περίοδο 1963-1973 υπήρχε διάβρωση με ρυθμό 0,57 m/year, και μετά το 1993 ο ρυθμός μειώθηκε σε 0,44 m/year.

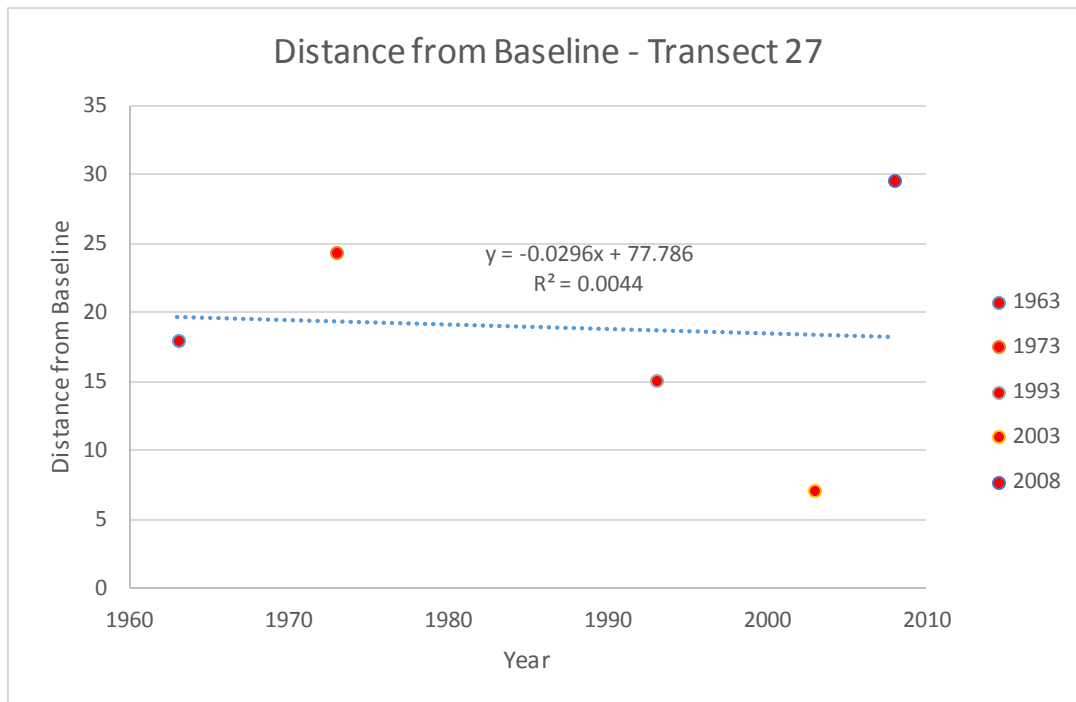
- **Ανάλυση αποτελεσμάτων σε διατομή με ΜΗ ικανοποιητικό συντελεστή προσδιορισμού-  $R^2$**

Στη περιοχή της ακτής Ολυμπίων, για ένα μέτωπο μισού χιλιομέτρου παρατηρήθηκαν μη ικανοποιητικά αποτελέσματα στους συντελεστές προσδιορισμού  $R^2$  -διατομές 19-31. Παρουσιάζοντας τα δεδομένα της διατομής 27 σε ένα γράφημα (Γράφ.4), παρατηρούμε πώς, για τη περίοδο 1963-1973 υπήρχε ένας ρυθμός πρόσχωσης, ενώ την περίοδο μεταξύ 1973-1993 παρατηρείται υποχώρηση της ακτογραμμής η οποία συνεχίζει γραμμικά μέχρι το 2003 (Γράφ.5). Η απότομη αλλαγή της ακτογραμμής το 2008 υποδουλώνει επεμβάσεις εμπλουτισμού της ακτής. Το συμπέρασμα αυτό τεκμηριώνεται απόλυτα με τη δημοσίευση του 2011 από τους Τουμαζή Α. και Μπέρου Λ., όπου γίνεται η αναφορά για εμπλουτισμό της ακτής Ολυμπίων και θωράκισης πρανών, έργα τα οποία ολοκληρώθηκαν το 2009. Η πρώτη φάση περιλάμβανε εμπλουτισμό της ακτής με το δάνεια ιζήματα, υλικό από την εκβάθυνση του λιμανιού της Λεμεσού.



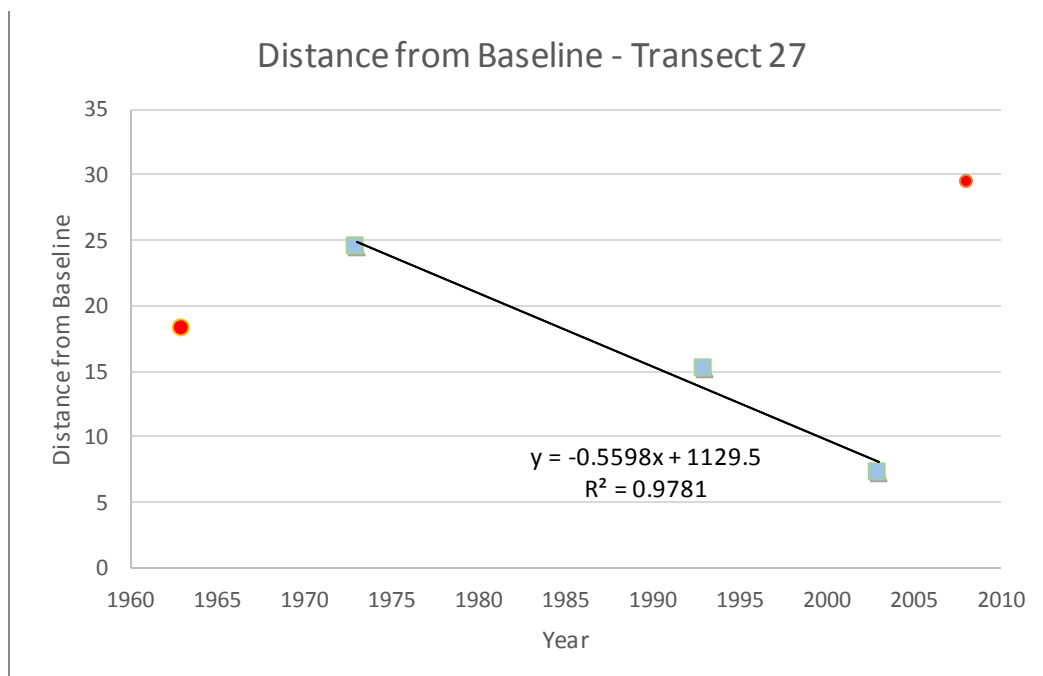
**Εικόνα 30: Εμπλουτισμός ακτής Ολυμπίων**

**Πηγή: (Τουμαζής Α. και Μπέρου Λ., 2011)**



Γράφημα 7: Αποστάσεις από τη γραμμή βάσης -Διατομή 27 (περιοχή ακτής Ολυμπίων Λεμεσού).

Απομονώνοντας τα στοιχεία για τις ιστορικές ακτογραμμές 1973, 1993, 2003, παρατηρούμε πως κατά τη περίοδο αυτή υπήρξε ρυθμός διάβρωσης 0,56 m/year.



Γράφημα 8: Αποστάσεις από τη γραμμή βάσης -Διατομή 27 (ρυθμός διάβρωσης περίοδος 1973-2003, περιοχή ακτής Ολυμπίων Λεμεσού).

## 5. Συμπεράσματα

Η σωστή διαχείριση των παράκτιων ζωνών είναι κύριο ζήτημα στους παράγοντες ανάπτυξης μίας χώρας, αφού από την εκμετάλλευση των ζωνών αυτών εξαρτάται και η ευημερία των πολιτών της. Οι παράκτιες ζώνες όμως χαρακτηρίζονται συνάμα ως ευαίσθητες και εύθραυστες περιοχές οικοσυστημάτων όπου η άτακτη αστικοποίηση και αλόγιστη ανάπτυξη μπορούν να οδηγήσουν σε ανησυχητική υποβάθμιση των παράκτιων βιότοπων και πόρων.

Σοβαρές, άμεσες και έμμεσες επιδράσεις στο παράκτιο περιβάλλον δεν είναι αποτέλεσμα μονάχα των ανθρωπίνων επεμβάσεων αλλά και αποτέλεσμα των κλιματικών αλλαγών. Σίγουρα, η έντονη αυτή αλλαγή των κλιματικών φαινομένων, είναι επακόλουθο της αμερόληπτης μάλιστα και υπεράντλησης των φυσικών πόρων του πλανήτη, με συνδυασμό με την ανθρώπινη απεισκευσία για το περιβάλλον που μας ευλογεί με τα ωφέληματά του. Δικαίως λοιπόν, έπειτα από συλλογική απόφαση και ανάγκη, υιοθετήθηκε στις διαδικασίες μελέτης και κατασκευής έργων ο θεσμός περιβαλλοντικών επιπτώσεων έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η περιβαλλοντική συμβατότητα και η εναρμόνιση με τη φύση.

Στο οπισθόφυλλο ενός βιβλίου μηχανικής των Lin T.Y. και Burns N.H. αναφέρεται το εξής απόφθεγμα, «*To engineers who, rather blindly following the codes of practise, seek to apply the laws of nature*», σε ελεύθερη μετάφραση, οι πιο πάνω μηχανικοί, απευθυνόμενοι στους νυν και μελλοντικούς μηχανικούς, επισημαίνουν την αναγκαιότητα εναρμόνισης των νόμων της φύσης με τις εφαρμοσμένες πρακτικές στο τομέα της μηχανικής, παρά την τυφλή υιοθέτηση των κανόνων. Η τεχνολογία σήμερα, παρέχει δυνατότητες στους μηχανικούς και μελετητές γενικότερα, ανάκτησης ποιοτικών πληροφοριών που είναι η βάση για τον αειφόρο σχεδιασμό και ανάπτυξη.

Στη παρούσα εργασία δίνεται ένα μικρό παράδειγμα των δυνατοτήτων χρήσης της Γεωπληροφορικής στις μελέτες μεταβολής των ακτογραμμών, και πώς η χρήση των εργαλείων και λογισμικών μπορεί να οδηγήσει στη εξαγωγή ποιοτικών αποτελεσμάτων με ελάχιστη αβεβαιότητα.

Στη παράκτια περιοχή της περιοχής της Πόλεως Χρυσοχούς, τα έντονα φαινόμενα διάβρωσης υποβαθμίζουν τις προσπάθειες εκμετάλλευσης του τουρισμού και ανάπτυξης της οικονομίας στη περιοχή. Τα φαινόμενα αυτά, αποτέλεσμα διαταραχής των φυσικών διεργασιών στερεομεταφοράς, επήλθαν το 1986 με τη κατασκευή του φράγματος της Ευρέτου αποκόπτοντας τον ποταμό της Χρυσοχούς. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων ρυθμών

μεταβολής της ακτογραμμής στην εν λόγω περιοχή τεκμηριώνουν το συμπέρασμα αυτό, προβλέποντας περαιτέρω υποβάθμιση της ακτής. Στη περιοχή παρατηρήθηκαν για δεδομένα της περιόδου 1963-2008, έντονοι ρυθμοί διάβρωσης μέσης τάξεως 0,80 μέτρα το χρόνο, για όλο το μήκος του παραλιακού μετώπου της περιοχής μελέτης Τα έργα που έχουν ήδη κατασκευαστεί καθώς και τα υπόλοιπα που έχουν προγραμματιστεί δύναται να ωφελήσουν στο έλεγχο της διάβρωσης, και περιορισμό της υφιστάμενης κατάστασης και πρέπει να ολοκληρωθούν άμεσα.

Το παραλιακό μέτωπο της Λεμεσού αποτελεί ένα ιδιαίτερο παράδειγμα μελέτης ρυθμών μεταβολής της ακτογραμμής, που εμπεριέχει παραμέτρους οι οποίοι είναι δύσκολο να προσαρμοστούν στο σχεδιασμό μοντέλου ρυθμών μεταβολής. Οι επεμβάσεις στη παράκτια ζώνη, παράνομες ή νόμιμες, που έγιναν μετά από μελέτη ή χωρίς, κατά το χρονικό περιθώριο 1963-2008, περίοδος μελέτης της παρούσας πτυχιακής, εξάγουν αρκετά αμφισβητούμενα αποτελέσματα.

Απτά αποτελέσματα, παρατηρήθηκαν σε μέρος της περιοχής Δασούδι, μήκους περίπου 500μ. μεταξύ διατομών 48-52 όπου ανέδειξαν ρυθμούς διάβρωσης 0,55 μετρά το χρόνο. Η περιοχή χρήζει παρακολούθησης, και περαιτέρω μελέτης με πιο πρόσφατα δεδομένα που θα καθορίσει αν το φαινόμενο διάβρωσης συνεχίζεται, έτσι ώστε να παρθούν οι ανάλογες αποφάσεις αντιμετώπισης.

Οι δυνατότητες του εργαλείου DSAS, και γενικότερα η χρήση Γ.Σ.Π. στις μελέτες μεταβολής των ακτογραμμών παρέχουν ευελιξία στο μελετητή, στην αξιολόγηση των τελικών αποτελεσμάτων για τα οποία υπάρχει η αμφισβήτηση, δίνοντας δυνατότητες για περεταίρω ανάλυση των παραμέτρων που πιθανόν να επηρεάζουν το μοντέλο εξάγοντας έτσι τεκμηριωμένα συμπεράσματα. Παράδειγμα που καθρεπτίζει τις πιο πάνω δυνατότητες, αποτελεί η ανάλυση των αποτελεσμάτων για τη περιοχή της ακτής Ολυμπίων, όπου η μελέτη ανέδειξε επεμβάσεις εμπλουτισμού της ακτής μεταξύ της περιόδου 2003-2008, θεωρία που τεκμηριώθηκε με τη μελέτη της δημοσίευσης των Τουμαζή Α. και Μπέρου Λ. όπου γίνεται η αναφορά για τις επεμβάσεις που έγιναν για ενίσχυση της ακτής και εμπλουτισμό της παραλίας με δάνεια ιζήματα.

Το παράδειγμα της Λεμεσού, και η μελέτη μεταβολών της ακτογραμμής γενικότερα, για περιοχές όπου είναι γνωστό ότι προηγήθηκαν επεμβάσεις, απαιτεί περαιτέρω μελέτη με εξειδικευμένες μεθοδολογίες και λογισμικά, που έχουν τη δυνατότητα να λαμβάνουν υπόψη

τις αλλαγές σε κυματικό δυναμικό, και αλλαγές στη φυσική διεργασία της στερεομεταφοράς, φυσικοί μηχανισμοί που διαταράσσονται από τις διάφορες εργασίες επεμβάσεων στη παράκτια ζώνη.

Τελικό συμπέρασμα ολοκλήρωσης της μελέτης αυτής, είναι πώς οι διαδικασίες μελέτης μεταβολής της ακτογραμμής μπορούν να πραγματοποιηθούν εύκολα και γρήγορα, μέσα τις δυνατότητες και τα εργαλεία των Γ.Σ.Π. δίνοντας στο μελετητή έγκυρα και τεκμηριωμένα αποτελέσματα.

## 6. Βιβλιογραφία-Αναφορές

- Astronomy & Astrophysics Dept, PennState, *Penn State University*, Ανάκτηση από The Earth/ Moon System: [www.astro.psu.edu](http://www.astro.psu.edu)
- Duxbury, A.B and Duxbury A.C., (1996), *Fundamentals Of Oceanography*, Wm. C. Brown Publishers.
- Himmelson E.A., (2009), *Installation Instructions and User Manual*, USGS.
- National Institute For Coastal and Marine Management of the Netherlands et al, (2004), *Living with coastal erosion in Europe: Sediment and Space for Sustainability*, European Commission.
- Nelson A.S., (2013), *Coastal Zones*, Ανάκτηση από [http://www.tulane.edu/~sanelson/Natural\\_Disasters/coastalzones.htm](http://www.tulane.edu/~sanelson/Natural_Disasters/coastalzones.htm)
- Research, D. o., (2012), *Initial Assesment of the Marine Environment of Cyprus*, Nicosia: Republic of Cyprus.
- Δουκάκης Ε., (2007), *Μεθόδοι προσδιορισμού του ρυθμού μεταβολής των ακτογραμμών*, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Μουτζούρης Κ., (1985), *Εισαγωγή Στη Ακτομηχανική*.
- Νικολάου Ε, (2014), *Αριθμητική Διερεύνηση Απόδοσης Συστήματος Κυματοθραυστών*. Αθήνα.
- Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων, (1987), *Αρδευτικό Έργο Χρυσοχούς*, Λευκωσία: Υπουργείο Γεωργίας και Φυσικών Πόρων, Κυπριακή Δημοκρατία.
- Τουμαζής Α. και Μπέρου Λ., (2011), *Εμπλουτισμός Παραλίας και Θωράκιση πρανούς ακτής Ολυπίων, Λεμεσός, Κύπρος*.
- Υπουργείο Γεωργίας, Αγροτικής Ανάπτυξης και Περιβάλλοντος, (2011), *Τμήμα Περιβάλλοντος*, Ανάκτηση από Πρωτόκολλο Ολοκληρωμένης Διαχείρισης Παράκτιων Ζωνών: <http://www.moa.gov.cy/moa/environment/environment.nsf/All/020B6ABFAE4E63B8C2257912004DD292?OpenDocument>