

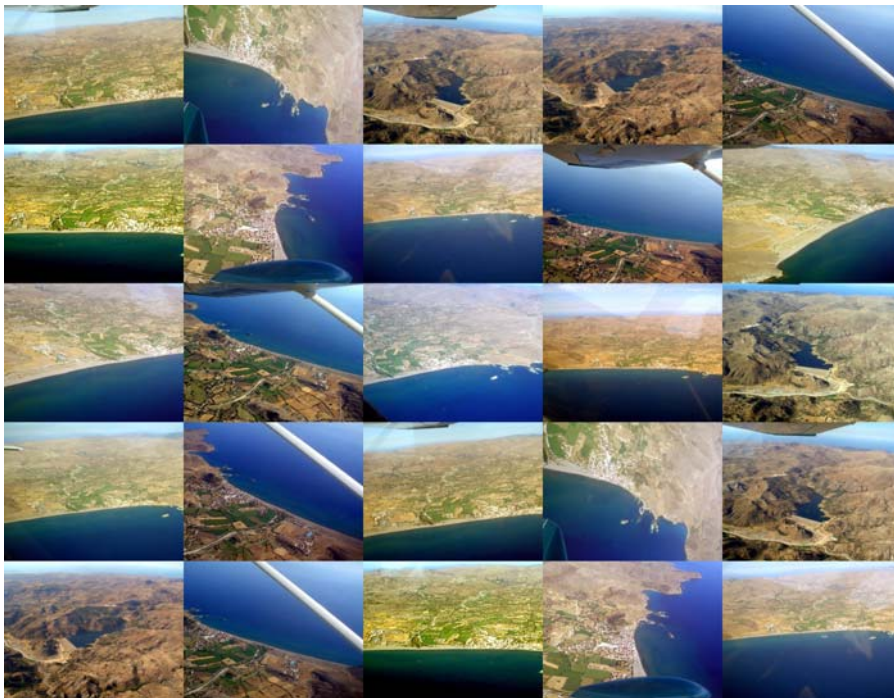
**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ**



Διπλωματική Εργασία

Πασακαλίδου Εύα

**ΙΖΗΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΜΟΡΦΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΝΗΣΙΩΤΙΚΩΝ
ΠΑΡΑΛΙΩΝ ΣΤΑ ΚΑΤΑΝΤΗ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ: ΠΑΡΑΛΙΑ ΕΡΕΣΣΟΥ,
Ν.ΛΕΣΒΟΣ.”**



Επιβλέπων: Α.Φ.Βελεγράκης

Απρίλιος 2007

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	5
2.1 Ακτές και κυματικές ζώνες	5
2.2 Παραλιακό προφίλ	6
2.2.1 Εισαγωγή	6
2.2.2 Προφίλ ισορροπίας	7
2.2.3 Αλλαγές στο προφίλ εξαιτίας θυελλών (χειμερινό - θερινό προφίλ)	8
2.2.4 Αλλαγές στο προφίλ εξαιτίας της κατά μήκος ιζηματομεταφοράς	11
2.2.5 Αλλαγές στο προφίλ εξαιτίας παλλοιριών	11
2.2.6 Αλλαγές στο προφίλ εξαιτίας ανέμων	12
2.3 Κλιματικές αλλαγές και παραλίες	12
2.3.1 Ο υδρολογικός κύκλος	12
2.3.2 Αλλαγή του παγκόσμιου κλίματος και επιδράσεις στον υδρολογικό κύκλο	13
2.3.3 Άνοδος της θαλάσσιας στάθμης και κλιματικές αλλαγές	14
2.3.4 Οι τάσεις της θαλάσσιας στάθμης της Μεσογείου	17
2.3.5 Οι μελλοντικές προβλέψεις	18
2.4 Εδαφική διάβρωση και παραγόμενο ίζημα	20
2.4.1 Εδαφική διάβρωση	20
2.4.2 Ιζηματολογικό δυναμικό και στερεοπαροχή	21
2.4.3 Η επίδραση της φυσιογεωγραφίας της λέκάνης απορροής	22
2.5. Διάβρωση παράκτιας ζώνης και οι αιτίες της	24
2.5.1 Παράγοντες	24
2.5.2 Φράγματα	25
2.5.3 Επιπτώσεις των φραγμάτων	27

2.5.4	Ιζηματομεταφορά και φράγματα	27
3.	ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	31
3.1	Χαρακτηριστικά της ευρύτερης περιοχής της Ερεσσού	31
3.1.1	Γεωγραφική τοποθέτηση	31
3.1.2	Κλιματολογικές συνθήκες	32
3.1.3	Γεωμορφολογία και Λιθολογία	34
3.1.4	Μορφολογία ακτής	36
3.1.5	Λεκάνη απορροής και ιστορικό φράγματος	37
4.	ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	42
4.1	Συλλογή Δεδομένων	42
4.1.1	Συλλογή τοπογραφικών δεδομένων	42
4.1.2	Συλλογή ιζηματολογικών δεδομένων	43
4.2	Ανάλυση δεδομένων	44
4.2.1	Ανάλυση τοπογραφικών δεδομένων	44
4.2.2	Ανάλυση ιζημάτων	44
4.3	2-D Υδροδυναμικό μοντέλο	46
4.3.1.	Ψηφιοποίηση	48
4.3.2.	Ανεμολογικά-Κυματικά δεδομένα	48
5.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	50
5.1	Μορφολογία της παραλίας	50
5.2	Μορφολογία της παραλίας	51
5.2.1	Εποχική αλλαγή της παραλιακής διατομής	51
5.2.2	Ημισεληνοειδείς σχηματισμοί (beach cusps)	56
5.3	Ανάλυση τάσεων κοκκομετρικών παραμέτρων	57
5.3.1	Μεταβολές τάσεων κοκκομετρικών παραμέτρων κάθετα στην ακτογραμμή	57
5.3.2	Μεταβολές τάσεων παραμέτρων παράλληλα στην ακτογραμμή	62
5.4	2-D Υδροδυναμικό μοντέλο	64
5.5	Σύνθεση αποτελεσμάτων	68

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ	70
Βιβλιογραφία	75
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	
Παράρτημα 1.	
Παράρτημα 2.	

Τις τελευταίες δεκαετίες οι ολοένα αυξανόμενες απαιτήσεις του ανθρώπου για ηλεκτρική ενέργεια, για νερό για οικιακή και βιομηχανική χρήση και άρδευση γεωργικών καλλιεργειών, έχουν οδηγήσει στην κατασκευή πολλών φραγμάτων κατά μήκος του υδρογραφικού δικτύου των ποταμών τόσο της Ελλάδας, όσο και παγκόσμια. Σύμφωνα με τη Διεθνή Επιτροπή Μεγάλων Φραγμάτων (ICOLD), σήμερα στον κόσμο υπάρχουν περισσότερα από 35.000 φράγματα, ενώ ο ρυθμός κατασκευής τους το διάστημα 1951-1982 ήταν 900 φράγματα το χρόνο, από τα οποία το 1/3 αφορούν την Κίνα. Στην Ελλάδα από το 1931, οπότε κατασκευάστηκε το φράγμα του Μαραθώνα για την υδροδότηση της πόλης των Αθηνών, μέχρι σήμερα έχουν κατασκευαστεί περί τα 20 μεγάλα φράγματα, τα περισσότερα για την παραγωγή ενέργειας (Poulos et al., 1996). Ο αριθμός αυτός (2 φράγματα ανά 1 εκατομμύριο κατοίκους) δεν θεωρείται υψηλός για τα διεθνή δεδομένα, όταν στην Ευρώπη αντιστοιχούν 10 φράγματα σε κάθε εκατομμύριο κατοίκων και στη Β. Αμερική 22.5 φράγματα σε κάθε εκατομμύριο κατοίκων.

Η παρουσία των φραγμάτων εκτός από τις θετικές τους συνέπειες, έχει όμως και μια σειρά από περιβαλλοντικές επιπτώσεις, που είναι ιδιαίτερα σημαντικές και πολλές φορές καθοριστικές για τη φυσική εξέλιξη της κατάντη παράκτιας ζώνης. Η ποιοτική/ποσοτική αλλαγή στην παροχή νερού και ιζημάτων μπορεί να επιφέρει γενικότερες περιβαλλοντικές αλλαγές, τόσο στο χερσαίο (π.χ. δελταϊκό πεδίο), όσο και στο θαλάσσιο τμήμα (π.χ. παράκτια νερά και ιζήματα, βένθος) της παράκτιας ζώνης, που συχνά σχετίζονται και με σοβαρές κοινωνικο-οικονομικές συνέπειες.\

Η κατασκευή/λειτουργία των φραγμάτων έχει επίπτωση και στην τροφοδοσία της παράκτιας ζώνης με φερτά υλικά, καθώς τα φράγματα δεσμεύουν το μεγαλύτερο μέρος της στερεοπαροχής των ποταμών. Έτσι, σήμερα ο Νείλος και ο Κολοράδο δεν προσφέρουν σχεδόν καθόλου ίζημα στην παράκτια ζώνη τους, ο Ινδός μόνο το 1/5 από τους 250×10^6 τόνους ετησίως που παρείχε ενώ και ο Ροδανός μόλις το 5% των ιζημάτων που μετέφερε πριν φραχθεί (Milliman & Syvitski, 1992). Η έλλειψη αυτή των φερτών υλικών στην παράκτια ζώνη έχει ως επακόλουθο τη μη αναπλήρωση της με φερτά υλικά. Τα ιζήματα των δελταϊκών πεδίων/ποτάμιων εκβολών μειώνονται λόγω της φυσικής καθίζησης (λόγω συμπύκνωσης ιζημάτων/μείωσης του πορώδους) καθώς και της

απομάκρυνσής τους προς τα ανοικτά από τις θαλάσσιες υδροδυναμικές διεργασίες με αποτέλεσμα την παράκτια διάβρωση.

Η πλειοψηφία των ελληνικών νησιών χαρακτηρίζεται από υψηλό ανάγλυφο, μικρής έκτασης υδρολογικά δίκτυα και υψηλές βραχώδεις ακτές. Οι ελληνικές νησιωτικές παραλίες είναι μικρού μεγέθους κόλποι (παραλίες τσέπης- pocket beaches) και γι' αυτόν τον λόγο είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες στη διατάραξη του ιζηματικού τους ισοζυγίου (Velegrakis et al., 2005). Η αρνητική διατάραξη του ισοζυγίου αυτού προκαλεί διάβρωση των παραλιών και σχετίζεται με φυσικούς αλλά και ανθρωπογενείς παράγοντες. Οι μεταβολές της θαλάσσιας στάθμης και των κλιματικών συνθηκών αποτελούν φυσικές και ανθρωπογενείς αιτίες διάβρωσης (η άνοδος της θαλάσσιας στάθμης σχετίζεται και με ανθρωπογενείς επιδράσεις), ενώ τα λιμενικά και άλλα παράκτια έργα, η κατασκευή λιμνοδεξαμενών και φραγμάτων, οι επιχωματώσεις χειμάρρων κ.α. αποτελούν χαρακτηριστικά παραδείγματα παραγόντων που επιδρούν στη μείωση της στερεοπαροχής από τη χέρσο και οφείλονται στον άνθρωπο.

Αν και η ανάγκη των ελληνικών νησιωτικών περιοχών για υδατικούς πόρους (για άρδευση και οικιακή κατανάλωση) είναι αναμφισβήτητη, θα πρέπει να γίνει κατανοητό ότι η ανεξέλεγκτη κατασκευή φραγμάτων και λιμνοδεξαμενών εγκυμονεί τεράστιους κινδύνους για τις νησιωτικές παραλίες, αφού περιορίζουν ή διακόπτουν εντελώς την παροχή ιζημάτων από την ενδοχώρα στις παράκτιες περιοχές, με αποτέλεσμα την δημιουργία αρνητικού ιζηματικού ισοζυγίου και έντονες συστηματικές διαβρώσεις.

Το μήκος των ελληνικών ακτογραμμών ξεπερνά τα 18.000 Km, όταν η συνολική επιφάνεια της χώρας είναι 131.951 km², αντιπροσωπεύοντας περίπου το 8% του συνολικού μήκους των Ευρωπαϊκών ακτογραμμών (GEO-3, 2002). Η σπουδαιότητα της παράκτιας ζώνης για την Ελλάδα φαίνεται και από την πληθυσμιακή κατανομή, καθώς το 33% του πληθυσμού της Ελλάδας κατοικεί σε μια παράλια ζώνη εύρους 1-2 Km, ενώ στα 50 Km εσωτερικά προς τη χέρσο κατοικεί το 85% του πληθυσμού. Ακόμη, το μεγαλύτερο μέρος των γεωργικών, εμπορικών, αλιευτικών και βιομηχανικών δραστηριοτήτων έχουν αναπτυχθεί κυρίως στην παράκτια ζώνη (Πούλος, 1999). Έτσι, σήμερα το 80% της βιομηχανικής δραστηριότητας και σημαντικό τμήμα παραγωγής ενέργειας βρίσκονται κοντά στην ακτογραμμή. Επίσης, η συντριπτική πλειοψηφία της τουριστικής δραστηριότητας αναπτύσσεται στην παραλιακή ζώνη με δυνατότητα

περαιτέρω ανάπτυξης, καθώς η σημερινή τουριστική πυκνότητα των 13 τουριστών ανά km² είναι μεταξύ των χαμηλότερων όταν ο αντίστοιχος μέσος όρος στις υπόλοιπες Μεσογειακές χώρες είναι 15.6 (Πούλος, 1999).

Η παράκτια ζώνη από τους ιστορικούς χρόνους αποτελεί για τον άνθρωπο πόλο έλξης και χώρο υψηλής πολιτισμικής και οικονομικής δραστηριότητας. Άλλωστε δεν είναι τυχαίο ότι και οι αρχαιότεροι πολιτισμοί αναπτύχθηκαν και ευδοκίμησαν περισσότερο κοντά στη θάλασσα, εκμεταλλευόμενοι τις ποικίλες πλουτοπαραγωγικές της δυνατότητες και την ευχέρεια της επικοινωνίας. Σήμερα έχει υπολογιστεί ότι περίπου το 67% του πληθυσμού της Γης (3.6 δισεκατομμύρια άνθρωποι) είναι εγκατεστημένο σε μια ζώνη που οριοθετείται από την ακτογραμμή και εκτείνεται σε βάθος 60 Km εσωτερικά στη χέρσο. Η πληθυσμιακή αυτή αναλογία αναμένεται να αυξηθεί έως το 2020 σε ποσοστό άνω του 75% (UNEP, 1992). Ασφαλώς ανάλογη αναμένεται να είναι και η αύξηση των ενεργειακών αναγκών και του ρυθμού εκμετάλλευσης των διαφόρων πλουτοπαραγωγικών πηγών της παράκτιας ζώνης.

Η παράκτια ζώνη είναι το πλέον πολύπλοκο γήινο οικοσύστημα στο οποίο συναντώνται/αλληλεπιδρούν 3 φυσικά περιβάλλοντα: η στεριά, η θάλασσα και η ατμόσφαιρα. Ο τρόπος που τα τρία αυτά συστήματα σχετίζονται/αλληλεπιδρούν είναι ζωτικής σημασίας για τη σταθερότητα και τη φυσική εξέλιξη του πλέον ευμετάβλητου αυτού οικοσυστήματος (Carter, 1988). Εδικότερα, η θέση της ακτογραμμής μεταβάλλεται συνεχώς κυρίως ως αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης μεταξύ των διεργασιών της χέρσου (προσφορά ιζήματος) και της θαλάσσιας δράσης (κύματα, παράκτια ρεύματα κ.α.). Η οριοθέτηση της παράκτιας ζώνης δεν είναι σαφώς ορισμένη και εξαρτάται από το σκοπό που εξυπηρετεί κατά περίπτωση. Σύμφωνα με το διεθνές επιστημονικό σχέδιο δράσης LOICZ (Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone) και την πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Cadee *et al.*, 1994), η παράκτια ζώνη περιλαμβάνει ολόκληρη την ηπειρωτική υφαλοκρηπίδα και την ηπειρωτική κατωφέρεια.

Η παρέμβαση του ανθρώπου στην ενδοχώρα, δηλ. αλλαγές της φυσικής ροής των ποταμών και η κατασκευή φραγμάτων μπορεί να έχει μεγάλες επιπτώσεις στις κατάντη παράκτιες περιοχές, ιδιαίτερα στις περιορισμένες νησιωτικές παραλίες. Έτσι ο σκοπός της εργασίας αυτής είναι να μελετήσει την εξέλιξη μιας νησιωτικής παραλίας (Ερεσσός, Λέσβος), της οποίας η λεκάνη απορροής έχει φραχθεί από την κατασκευή ενός

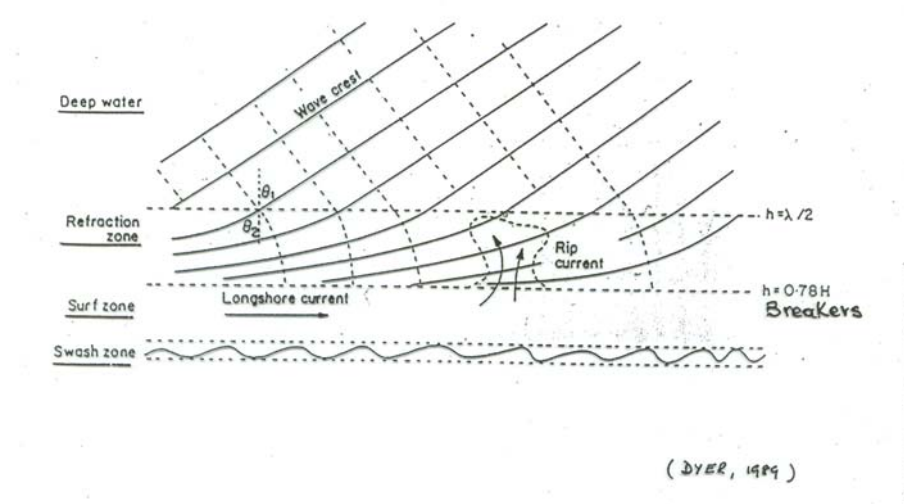
φράγματος. Η εργασία αποτελεί συνέχεια της δουλειάς των Αδαμάκη Γ. και Ανδρεάδη Ο. (2005) με σκοπό την αναγνώριση/ανάλυση των διεργασιών που ελέγχουν, επηρεάζουν και μεταβάλλουν τη μορφολογία και ιζηματολογία της παραλίας της Ερεσσού στην Λέσβο και η διεξαγωγή πληρέστερων συμπερασμάτων από τα υπάρχοντα δεδομένα στην περιοχή μελέτης.

Η δομή της εργασίας είναι η ακόλουθη: Στο κεφάλαιο 2 δίνεται συνοπτικά το θεωρητικό υπόβαθρο των μηχανισμών που διέπουν τις παραλίες, των αλλαγών στη θαλάσσια στάθμη και των επιπτώσεων των φραγμάτων στην παράκτια ζώνη. Στο κεφάλαιο 3 γίνεται περιγραφή της περιοχής μελέτης (παραλία Ερεσσού, Ν.Λέσβος), στο κεφάλαιο 4 περιγράφονται οι μέθοδοι συλλογής και ανάλυσης των δεδομένων, στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μελέτης και, τέλος, στο κεφάλαιο 6 συζητούνται τα αποτελέσματα και συνοψίζονται τα κύρια συμπεράσματα της μελέτης.

2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

2.1 Ακτές και κυματικές ζώνες

Διαφορετικές και πολύπλοκες διεργασίες ελέγχουν την δυναμική των περιβαλλοντικών παραμέτρων των ακτών σε χωρο-χρονικές κλίμακες (π.χ. Sunamura, 1983) που ποικίλουν από μικροσκοπικές (μεταφορά κόκκων ιζήματος σε μία κυματική περίοδο) σε παγκόσμιες (π.χ. μεγάλες οπισθοχωρήσεις ακτών λόγω της παγκόσμιας αλλαγής της θαλάσσιας στάθμης). Γεωμορφολογικά, οι παράκτιες περιοχές (ιδιαίτερα οι παραλίες) και τα ιζήματα τους είναι πολύ δυναμικά συστήματα, με τους κυματισμούς, τα κυματογενή ρεύματα και τις άλλες παράκτιες ροές να διαβρώνουν/μεταφέρουν/αποθέτουν τα ιζήματα κατά μήκος και πλάτος της ακτής, ελέγχοντας έτσι την παράκτια μορφοδυναμική (Komar, 1998). Έτσι, η παλίρροια μεταβάλλει συνεχώς την ζώνη επιρροής των κυματισμών ενώ οι ακραίες κυματικές συνθήκες μπορούν να προκαλέσουν παραλιακές σημαντικές διαβρώσεις και μεταφορά των διαβρωμένων ιζημάτων προς τα ανοικτά (Duke et al., 1991), πέρα από το βάθος κλεισίματος (closure depth, Komar (1998)), με πιθανό αποτέλεσμα μόνιμες διαβρώσεις. Οι παράκτιες περιοχές δεν είναι ομογενείς και μπορούν να χωρισθούν (κάθιστα προς την ακτή) με βάση υδρο- και ιζηματοδυναμικά κριτήρια στις ακόλουθες ζώνες (Σχήμα 2.1):



Σχήμα 2.1: Διαχωρισμός της παράκτιας περιοχής σε ζώνες με βάση το υδροδυναμικό καθεστώς (Dyer, 1986).

- i. Η *Ζώνη ανοιχτής θάλασσας* είναι το τμήμα της παράκτιας ζώνης στην οποία τα κύματα δεν νιώθουν τον πυθμένα γιατί το βάθος είναι μεγάλο σε σύγκριση με το μήκος κύματος ($h > \lambda/2$). Οι κυματικές κορυφές είναι ίσες, η ταχύτητα φάσης του κύματος και η γωνία πρόσπτωσης είναι σταθερές (Komar, 1998).
- ii. Η *Ζώνη διάθλασης* είναι το τμήμα της παράκτιας ζώνης στο οποίο οι κυματισμοί αρχίζουν να νιώθουν το πυθμένα, καθίστανται ασταθείς και εν τέλει θραύονται (στο σημείο που το βάθος h γίνει ίσο με περίπου το 0.78 του κυματικού ύψους H). Το κύμα θραύεται όταν γίνεται εξαιρετικά απότομο και ιδιαίτερα κοντά στην κορυφή, διότι οι ταχύτητες των σωματιδίων του νερού στην κορυφή του κύματος υπερβαίνουν την ταχύτητα φάσης έτσι ώστε η κορυφή «τινάσσεται» μπροστά (Komar 1998). Σε ορισμένες περιπτώσεις που οι κυματισμοί είναι ομοιόμορφοι η ζώνη θραύσης μετατρέπεται σε γραμμή θραύσης. Το μήκος κύματος και η ταχύτητα φάσης μεταβάλλονται, ενώ η περίοδος παραμένει σταθερή.
- iii. Η *Ζώνη απόσβεσης* είναι το τμήμα της παράκτιας περιοχής μεταξύ της ζώνης θραύσης και της ακτογραμμής όπου αποσβένεται το μεγαλύτερο ποσοστό της ενέργειας των κυμάτων μετά την θραύση (τύρβη, θερμότητα). Στην ζώνη αυτή αναπτύσσονται κυματογενή ρεύματα τα οποία είναι υπεύθυνα για την παράλληλη (και κάθετη) προς την ακτή μεταφορά ιζήματος (Μουντζούρης, 2005).
- iv. Η *Ζώνη διαβροχής/αναρρίχησης* είναι το τμήμα της ακτής που εκτίθεται διαδοχικά στην κυματική αναρρίχηση και επαναφορά καθώς τα νερά των αναρριχηθέντων κυματισμών αποτραβιούνται προς την θάλασσα (Σουκισιάν, 2002).

2.3 Παραλιακό προφίλ

2.2.1 Εισαγωγή

Ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά μιας παραλίας (beach, δηλ. χαμηλής ακτής κτισμένης από χαλαρά ιζήματα) είναι η δυναμική της: τα χαλαρά ιζήματα και η μορφολογία συνεχώς αποκρίνονται στη παράκτια υδροδυναμική. Αν και προφίλς

ισορροπίας (Dean, 1991) έχουν επιτευχθεί σε εργαστηριακές συνθήκες, όπου εισάγονται κύματα με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, στην φύση οι μεταβαλλόμενες κυματικές συνθήκες προκαλούν μια ποικιλία προφίλ. Το παραλιακό προφίλ είναι σημαντικό χαρακτηριστικό μιας παραλίας, δεδομένου ότι μπορεί να θεωρηθεί σαν ένας αποτελεσματικός φυσικός μηχανισμός για την θραύση/απόσβεση των κυματισμών. Δηλαδή, η παραλία χρησιμεύει σαν ένα buffer, προσφέροντας προστασία στις παράκτιες περιοχές από την κυματική δράση. Συνεπώς, στην περίπτωση μακροπρόθεσμης απώλειας παραλιακών ιζημάτων (άρα και παραλιακή διάβρωση), η παραλία θα είναι όλο και λιγότερο σε θέση να προστατεύσει την ακτή (Bird, 2000) .

2.3.2 Προφίλ ισορροπίας

Τα προφίλ ισορροπίας των παραλιών είναι το αποτέλεσμα αλληλεπιδράσεων μεταξύ διαφόρων διεργασιών κατά τη διάρκεια μιας (σχετικά) μεγάλης χρονικής περιόδου. Αν και εμφανίζονται σπάνια στην φύση, εν τούτοις παραμένουν σημαντικά εργαλεία για την κατανόηση των παράκτιων διεργασιών και μορφοδυναμικής. Το κλασσικό προφίλ ισορροπίας δίνεται από (Dean, 2002):

$$y = h/m + h^{3/2}/A^{3/2} \quad [2.1]$$

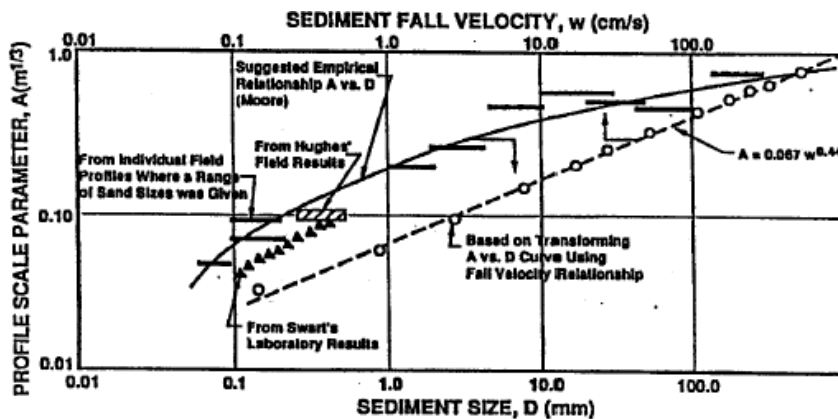
όπου h είναι το βάθος του νερού σε μια απόσταση y από την ακτογραμμή, m είναι η εμπρόσθια κλίση της ακτής του παραλιακού προφίλ, η οποία έχει υπολογιστεί χρησιμοποιώντας μετρήσιμα δεδομένα προφίλ και A είναι μια παράμετρος αποκαλούμενη 'κλίμακα προφίλ' ('profile scale parameter') με διαστάσεις μήκους (βλ. εξίσωση 2.2).

Τα περισσότερα παραλιακά προφίλ παρουσιάζουν κάποιες ομοιότητες (Komar, 1998): (i) είναι γενικά ανοδικά κοίλα (concave upwards), (ii) οι παραλίες που αποτελούνται από χονδρόκοκκα ιζήματα τείνουν να είναι πιο απότομες από εκείνες με λεπτόκοκκα, και (iii) τα κύματα θύελλας τείνουν να μεταφέρουν την άμμο προς τη θάλασσα, προκαλώντας την υποχώρηση της παραλίας και επομένως τη μείωση της κλίσης του προφίλ. Έχει υπάρξει μακροχρόνιο ενδιαφέρον για τα προφίλ ισορροπίας των

παραλιών (Keulegan & Krumbin, 1949). Ο Bruun (1954) εξέτασε παραλιακά προφίλς από την Δανία και το Monterey (California) και πρότεινε την ακόλουθη σχέση (Dean, 2002):

$$h(y) = Ay^{2/3} \quad [2.2]$$

όπου h είναι το βάθος του νερού σε μια απόσταση y από την ακτογραμμή, το A είναι μια παράμετρος αποκαλούμενη 'κλίμακα προφίλ' ('profile scale parameter') με διαστάσεις μήκους, όπου $A = f(D) = f(gw_f / T)$ (D είναι το μέσο μέγεθος κόκκων, w_f η ταχύτητα καταβύθισης του ιζήματος (grain fall velocity, βλ. Σχήμα 2.2) και T η περίοδος των κυμάτων).



Variation of beach profile scale parameter, A , with sediment size, D , and fall velocity, W . From Dean (1987), published with permission of the *American Society of Civil Engineers*.

Σχήμα 2.2: Η ποικιλομορφία της παραμέτρου A σε συνδιασμό με το μέσο μέγεθος κόκκων D και την ταχύτητα καταβύθισης (Dean, 1987).

Πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι η παραμετροποίηση των παραλιακών προφίλ είναι ακόμα ένα ανοικτό θέμα (Dean, 1991; Bodge, 1992; Komar, 1998).

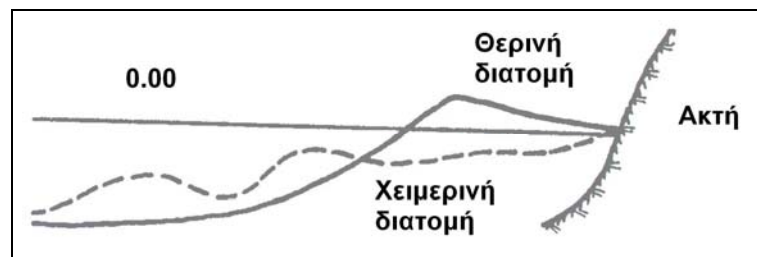
2.3.3 Αλλαγές στο προφίλ εξαιτίας θυελλών (χειμερινό - θερινό προφίλ)

Μια παραλία χαρακτηρίζεται από μορφολογικά χαρακτηριστικά που σχετίζονται με την ένταση/κατανομή της παράκτιας υδροδυναμικής. Οι ύφαλοι αναβαθμοί (bars),

που είναι χαρακτηριστικά μορφολογικά στοιχεία του χειμερινού προφίλ σχηματίζονται από την απόθεση ιζημάτων στη ζώνη θραύσης των κυμάτων. Τα ιζήματα αυτά προέρχονται από τη διάβρωση του μετώπου της ακτής από θραυόμενα κύματα κυρίως μεγάλης καμπυλότητας, αλλά και από τη διάβρωση του πυθμένα στις ζώνες διάθλασης και απόσβεσης (Komar, 1998).

Η απόθεση των ιζημάτων γίνεται παράλληλα με την ακτογραμμή όταν η πρόσπτωση γίνεται σχεδόν κάθετα. Η θέση και η διατομή των υφάλων καθορίζονται από τη ζώνη θραύσης. Οι αναβαθμοί μπορούν να φτάσουν μεγάλες διαστάσεις (μήκους), αλλά συνήθως διακόπτονται από την ύπαρξη ρευμάτων διαφυγής (rip currents) (Bird, 2000). Είναι δυνατός ο σχηματισμός περισσότερων του ενός υφάλων αναβαθμών, με τον αριθμό τους να αυξάνει με την μείωση της κλίση του πυθμένα (Komar, 1998). Η διατομή του ύφαλου αναβαθμού είναι ασύμμετρη, με το μέτωπο προς τα ανοιχτά να χαρακτηρίζεται από μικρότερη κλίση από αυτό προς την ακτή. Αν δεν μεταβληθεί δραστικά η παράκτια κυκλοφορία και ιζηματολογία μιας παραλίας, οι ύφαλοι αναβαθμοί της παραμένουν μακροπρόθεσμα σταθεροί. Σε ετήσιες χρονικές κλίμακες όμως, παρατηρείται κινητικότητα. Την χειμερινή περίοδο, που επικρατούν ακραίες κυματικές συνθήκες και με κύματα μεγάλης καμπυλότητας, το μέτωπο της ακτής διαβρώνεται και μέρος των απομακρυνόμενων ιζημάτων σχηματίζει τον ύφαλο αναβαθμό (χειμερινό προφίλ). Αντίστροφα, κατά τη θερινή περίοδο που επικρατούν κύματα μικρής καμπυλότητας, μέρος των ιζημάτων του ύφαλου αναβαθμού μετατοπίζεται προς την χερσαία παραλία όπου και σχηματίζεται ένας έξαλος αναβαθμός (berm) (θερινό προφίλ) (Σχήμα 2.3). Ο έξαλος αναβαθμός σχηματίζεται από συσσώρευση ιζημάτων κοντά στην ακτογραμμή και παρουσιάζει ένα κεκλιμένο μέτωπο προς την θάλασσα και ένα σχεδόν οριζόντιο τμήμα. Τα ιζήματα του αναβαθμού προέρχονται κυρίως από τον ύφαλο αναβαθμό και μεταφέρονται στην χερσαία παραλία κατά τη φάση της αναρριχήσεως τους. Η απόθεση οφείλεται στη μείωση (και μηδενισμό) της κινητικής ενέργειας πριν αρχίσει η επαναφορά (Μουντζούρης, 2005). Η μείωση της κινητικής ενέργειας εντείνεται με την διήθηση του νερού στο στρώμα των ιζημάτων (Horn, 2006) και έτσι ο σχηματισμός του αναβαθμού είναι εντονότερος σε ακτές με αυξημένο ιζηματικό πορώδες.

Το μέτωπο της ακτής διαμορφώνεται από τα ιζήματα που αποτίθενται στον έξαλο αναβαθμό. Η κλίση είναι το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό του μετώπου και εξαρτάται κατά κύριο λόγο από το κυματικό καθεστώς, την κοκκομετρία των ιζημάτων που το αποτελούν και το βαθμό προστασίας της παράκτιας ζώνης από τα προσπίπτοντα κύματα (Komar, 1998). Ο όγκος της άμμου που περιλαμβάνεται παραμένει σχετικά σταθερός, με τους ιζηματικούς όγκους της χειμερινής και θερινής διατομής να είναι ισορροπημένοι (στην περίπτωση φυσικά που δεν υπάρχουν απώλειες προς τα ανοικτά). Η γενική κλίση του προφίλ είναι μικρότερη στο χειμερινό απ' ό,τι στο καλοκαιρινό προφίλ (Σχήμα 2.3).



Σχήμα 2.3 : Χειμερινή και θερινή διατομή παράλιας ζώνης (Μουντζούρης, 2005).

Αυτή η προς και από την ακτή μετατόπιση της άμμου που συνδέεται με τις αλλαγές στο προφίλ εξαιτίας θυελλών συσχετίζεται γενικά με την καμπυλότητα των κυμάτων H/L , το λόγο του μήκους κύματος L στα βαθιά νερά, ο οποίος σχετίζεται με την περίοδο T των κυμάτων ως εξής: $L=(g/2\pi)T^2$. Τα κύματα θύελλας έχουν υψηλές τιμές καμπυλότητας (steepness), η οποία ελέγχεται από κυματικό ύψος και την κυματική περίοδο.

Η επίδραση των θυελλών και η διαφοροποίησή τους από την επίδραση των κυματισμών swell προφίλ δεικνύεται από την διαφορετική ιζηματοδυναμική τους. Στα κύματα θύελλας, τα ιζήματα από την χερσαία παραλία και την ζώνη απόσβεσης κινούνται προς τα ανοικτά, υποβοηθούμενα και από τις προς τα ανοικτά δημιουργούμενες ροές με αποτέλεσμα πολλά από τα ιζήματα να χάνονται στα ανοικτά (Duke et al., 1991)). Στους κυματισμούς swell, τα ιζήματα στην εσωτερική ζώνη διάθλασης κινούνται προς την ακτή, ενώ τα ιζήματα της ζώνης απόσβεσης προς τα ανοικτά. Αυτή η σύγκλιση των κατευθύνσεων ιζηματομεταφοράς οδηγεί σε συσσώρευση

των ιζημάτων στη θέση θραύσης, διαμορφώνοντας ένα φραγμό (Carter, 1988). Ο τύπος του προφίλ των παραλιών είναι σημαντικός για τη παραλιακή διάβρωση. Με swell προφίλ οι παραλίες προστατεύονται από τη δράση των κυμάτων με τους αναβαθμούς, ενώ κατά τη διάρκεια θυελλών το ίζημα μετατοπίζεται προς τα ανοιχτά και ο ύψαλος αναβαθμός καταστρέφεται και μεγαλύτερη ενέργεια φθάνει και διαβρώνει την παραλία. Εάν υπάρχει γρήγορη διαδοχή θυελλών, μια σημαντική ποσότητα ιζήματος μετατοπίζεται προς την ανοιχτή θάλασσα και η διάβρωση της παραλίας είναι ιδιαίτερα εμφανής (Bird, 2000).

2.3.4 Αλλαγές στο προφίλ εξαιτίας της ιζηματομεταφοράς κατά μήκος της ακτής

Εκτός από τις προς και από την ακτή μετατοπίσεις του ιζήματος, μπορεί επίσης να επιδρούν στη διαμόρφωση του προφίλ και οι μετακινήσεις ιζήματος κατά μήκος της ακτής. Στις παραλίες τσέπης (rocket beaches) μια μετατόπιση σύμφωνα με την κατεύθυνση των κυμάτων θα επαναδιατάξει την ακτογραμμή προκαλώντας την υποχώρηση των ιζημάτων από την μία πλευρά της παραλίας και την πρόσχωση στην άλλη πλευρά της. Όταν παρουσιάζεται ρυθμική παραλιακή μορφολογία (π.χ. ημισεληνοειδείς αναβαθμοί (crescentic bars)), το προφίλ της παραλίας εξαρτάται κατά ένα μεγάλο βαθμό από τη θέση του (Komar, 1998).

2.3.5 Αλλαγές στο προφίλ εξαιτίας παλλοιριών

Εκτός από την απόκριση των προφίλ των παραλιών στις κυματικές συνθήκες, τα παραλιακά προφίλ ελέγχονται και από την παλίρροια. Ο Duncan (1964) ερεύνησε τις επιδράσεις της στάθμης του νερού στην αναπροσαρμογή του προφίλ για έναν καθημερινό παλιρροιακό κύκλο. Βρήκε ότι κατά τη διάρκεια της πλημμυρίδας (flood), η αύξηση της θαλάσσιας στάθμης δημιουργεί και κλίσεις της επιφάνειας προς την ακτή, ενώ κατά τη διάρκεια της άμπωτης (ebb) η επιφάνεια του νερού κλίνει

προς τη θάλασσα. Έτσι, οι κινήσεις στην ζώνη διαβροχής (wave swash) ενισχύονται ή μειώνονται αντίστοιχα.

2.3.6 Αλλαγές στο προφίλ εξαιτίας ανέμων

Οι άνεμοι που πνέουν προς την ακτή προκαλούν μια προς την ακτή μετακίνηση των επιφανειακών υδάτων που πρέπει να αντισταθμιστούν με ρεύματα προς την ανοιχτή θάλασσα. Ακριβώς η αντιστροφή διαδικασία ισχύει με τους ανέμους που πνέουν από τη χέρσο προς τη θάλασσα, με τα βενθικά ρεύματα να κατευθύνονται προς την ακτή. Αυτά τα ρεύματα είναι ένας σημαντικός παράγοντας στην από και προς την ακτή μεταφορά των ιζημάτων και επομένως σχετίζονται άμεσα με τη διαμόρφωση των προφίλ των παραλιών (Komar, 1998).

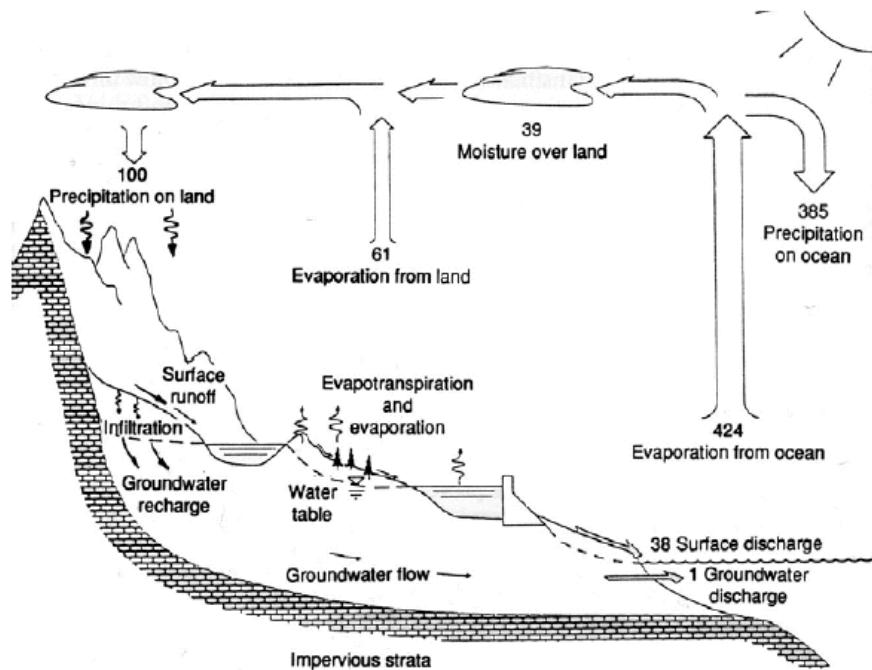
Στις φυσικές παραλίες, είναι ιδιαίτερα δύσκολος ο διαχωρισμός της σημαντικότητας των επίδρασεων των ρευμάτων που προκαλούνται από τη δράση των ανέμων και των επιδράσεων που προκαλούν οι άνεμοι στα κύματα και έμμεσα στα προφίλ των παραλιών. Με ισχυρούς προς την ακτή ανέμους, τα παραγόμενα τοπικά απότομα κύματα μπορούν να έχουν καταστρεπτική επίδραση στο παραλιακό προφίλ αν προστεθεί και η αντίδραση της παραλίας στα προκληθέντα από τον άνεμο ρεύματα που επίσης τείνουν να ελαττώσουν την παραλία (Carter, 1988). Με τους προς τη θάλασσα ανέμους, τα προσπίπτοντα στην παραλία κύματα τείνουν να μειωθούν σε ύψος από τους επικεφαλής ανέμους, έτσι ώστε τα κύματα που φθάνουν στην ακτή να είναι μικρότερης καμπυλότητας· οποιαδήποτε αποτελέσματα έχουν τα βενθικά ρεύματα καλύπτονται από τη μειωμένη καμπυλότητα των κυμάτων. Όλα αυτά σημαίνουν ότι η ένταση/διεύθυνση των ανέμων που πνέουν στην παράκτια ζώνη είναι ιδιαίτερα σημαντικοί παράγοντες για τη διαμόρφωση των προφίλ των παραλιών (Bird, 2000).

2.4 Κλιματικές αλλαγές και παραλίες

2.3.1 Ο υδρολογικός κύκλος

Με τον όρο υδρολογικός κύκλος εννοείται η κυκλοφορία (και ο μετασχηματισμός) του νερού μεταξύ της γης και της ατμόσφαιρας μέσω διαφορετικών

ατραπών (Σχήμα 2.4). Νερό από τη γήινη επιφάνεια (ιδιαίτερα από τους ωκεανούς που δίνουν το ~90% της εξατμίσης), είτε εξατμίζεται και εισάγεται στην ατμόσφαιρα ως υδρατμοί που συγκεντρώνονται σε σύννεφα είτε παραμένει στην ατμόσφαιρα σαν αερολύματα (Maidment, 1993).



Σχήμα 2.4: Ο υδρολογικός κύκλος (Maidment, 1993).

Η ατμοσφαιρική υγρασία επιστρέφει τελικά στη γήινη επιφάνεια με μορφή βροχής, χιονιού ή χαλαζιού. Περίπου 100.000 km^3 (περίπου 20% της συνολικής παγκόσμιας ετήσιας κατακρήμνισης) πέφτουν επάνω στην επιφάνεια των ηπείρων. Εκτός από το μέρος εκείνο που επανεξατμίζεται (άμεσα ή μέσω εξατμικο-διαπνοής), το μεγαλύτερο μέρος του υπόλοιπου νερού που φθάνει στην επιφάνεια της ξηράς θα βρει τελικά τον τρόπο να επιστρέψει στους ωκεανούς μέσω (ρευμάτων, ποταμών διαφόρων υδροτόπων και υπόγειων ροών. Περίπου 42.000 km^3 των κατακρημνίσεων ρέουν κάθε χρόνο στους ωκεανούς μέσω των παγκόσμιων ποταμών (European Commission, 2005: A report to the European water directors).

2.3.3 Αλλαγή του παγκόσμιου κλίματος και επιδράσεις στον υδρολογικό κύκλο

Υπάρχουν πλέον αναμφισβήτητα στοιχεία ότι το κλίμα της Γης γίνεται θερμότερο εξαιτίας της αύξησης των αερίων του θερμοκηπίου (Wright, 2005), με μεγάλες συνέπειες και στον υδρολογικό κύκλο. Θερμότερο κλίμα σημαίνει περισσότερη εξάτμιση από τις χερσαίες επιφάνειες, τα φυτά και τα υδάτινα σώματα, γιατί η εξάτμιση αυξάνει εκθετικά με τη θερμοκρασία. Υγρότερη ατμόσφαιρα έχει σαν αποτέλεσμα περισσότερες, συχνότερες και με μεγαλύτερη ένταση κατακρημνίσεις και περισσότερες πλημμύρες. Επιπλέον, η γήινη θέρμανση θα μπορούσε να έχει προκαλέσει την τήξη του παγετώδους καλύμματος της ξηράς και την ελευθέρωση νερού αρκετό να ανυψώσει τη στάθμη της θάλασσας κατά 75 m (Wright, 2005). Το 1998 το Περιβαλλοντικό Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών (United Nations Environment Program-UNEP) σε συνεργασία με την Παγκόσμια Μετεωρολογική Κοινότητα (World Meteorological Society) ίδρυσαν το Ενδοκυβερνητικό Οργανισμό για την Αλλαγή Κλίματος (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)) προκειμένου να εξασφαλίσουν ακριβείς πληροφορίες και προβλέψεις για την κατανόηση των φυσικών και ανθρωπογενών επιδράσεων στην αλλαγή του κλίματος (IPCC, <http://www.ipcc.ch/>).

Μια από τις σημαντικότερες επιδράσεις της αλλαγής κλίματος είναι η υποχώρηση των παγετώνων. Η World Glacier Monitoring Service έχει παρακολουθήσει την τήξη και την αργή υποχώρηση των παγετώνων σε όλον τον κόσμο. Αν και βρέθηκε ότι ο χρόνος απόκρισης των παγετώνων στις κλιματολογικές τάσεις είναι αργός - 10 έως 50 έτη, τα στοιχεία δείχνουν ευρείας κλίμακας υποχώρηση των παγετώνων (π.χ. The Greenland Ice Sheet) κατά τη διάρκεια των τελευταίων 100 ετών, που συμφωνούν με μια αύξηση στα αέρια του θερμοκηπίου (Wright, 2005). Ένας άλλος αντίκτυπος θεωρείται η υποχώρηση των πολικών (ωκεάνιων) πάγων· τελευταία έχουν σημειωθεί μεγάλες μειώσεις στο πάχος και την έκταση του θαλάσσιου πάγου στην Αρκτική (Wright, 2005). Οι περαιτέρω επιδράσεις που αναφέρονται από το IPCC περιλαμβάνουν μια σημαντική αύξηση στις κατακρημνίσεις σε κάποιες περιοχές, μείωση της συχνότητας των πολύ χαμηλών θερμοκρασιών, μεγαλύτερη συχνότητα των γεγονότων EL Niño, συχνότερες και πιο έντονες ξηρασίες σε περιοχές της Ασίας και της Αφρικής και αύξηση της συχνότητας ακραίων καιρικών φαινομένων

2.3.3 Άνοδος της θαλάσσιας στάθμης και κλιματικές αλλαγές

Η πιο δυσοίωνη των επιδράσεων των κλιματικών αλλαγών είναι η άνοδος στη θαλάσσια στάθμη. Με την παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου, η στάθμη της θάλασσας έχει αυξηθεί εξ' αιτίας δύο παραγόντων: (α) της θερμική διαστολής των ωκεανών (thermal expansion) και (β) της τήξης των ηπειρωτικών πάγων (European Commission, 2005. A report to the European water directors).

Έτσι, η θαλάσσια στάθμη έχει αυξηθεί μεταξύ 0.1 και 0.2 m κατά τη διάρκεια του 20ού αιώνα (Woodworth et al., 1999) και συνεχίζει να αυξάνεται με μέσο ρυθμό 2 mm το χρόνο. Η θαλάσσια στάθμη έχει αυξηθεί περισσότερο από 120 m από την αιχμή της τελευταίας παγετώδους περιόδου πριν περίπου 18.000 και έφθασε στο σημερινό επίπεδο πριν περίπου 6000 χρόνια. Ενώ τα τελευταία 3000 περίπου έτη (πριν την έναρξη του 20ου αιώνα) η στάθμη ήταν σχεδόν σταθερή (αυξομειώσεις της τάξης του 0.1-0.2 mm/y), από το 1900 η στάθμη αυξάνεται κατά 1-3 mm/y (Church et al., 2001). Από το 1992 δορυφορική αλτιμετρία του TOPEX/ Poseidon δείχνουν ρυθμούς που φθάνουν περίπου τα 3 mm/y (Fenoglio-Marc L., 2001). Προβλέπεται (Church et al., 2001), ότι παγκόσμια η στάθμη της θάλασσας τον επόμενο αιώνα θα αλλάξει από 9 έως 88 cm, πιο συγκεκριμένα μεταξύ 0.09 mm/yr και 0.88 mm/yr.

Τέλος πρέπει να σημειωθεί ότι οι μεταβολές της θαλάσσιας στάθμης δεν κατανέμονται ομοιόμορφα. Η έκθεση του IPCC (2001) δίνει επίσης εκτιμήσεις της συμβολής καθενός από τους παράγοντες που θεωρούνται σημαντικοί (Πίνακας 2.1). Είναι σαφές ότι οι θεωρητικές εκτιμήσεις και οι παρατηρηθείσες τιμές είναι σε συμφωνία μόνο επειδή η σειρά των αβεβαιοτήτων είναι μεγάλη.

	Trend (mm/yr)	Range (mm/yr)
Thermal Expansion	0.5	0.3-0.7
Glaciers and Ice-Caps	0.3	0.2-0.4
Greenland 20th Century	0.05	0.0-0.1
Antarctica 20th Century	-0.1	-0.2-0.0
Ice Sheets since LGM	0.25	0.0-0.5
Permafrost	0.025	0.0-0.05
Sediment Deposition	0.025	0.0-0.05
Terrestrial Storage	-0.25	-1.1-0.4
Total estimated	0.7	-0.8- 2.2
Observed	1.5	1.0-2.0

Πίνακας 2.1: Η συνεισφορά ποικίλων δυναμικών παραγόντων στις τάσεις της παγκόσμιας στάθμης της θάλασσας (IPCC, 2001, Third assessment report).

Οι παγκόσμιοι ρυθμοί όμως δεν είναι πολύ χρήσιμοι στους παράκτιους διαχειριστές, δεδομένου ότι είναι το *τοπικό ποσοστό σχετικής αλλαγής* στάθμης της θάλασσας που τους ενδιαφέρει. Επιπλέον τα πρότυπα που χρησιμοποιούνται για τις εκτιμήσεις του IPCC δεν συμφωνούν με τη χωρική μεταβλητότητα του σήματος των σταθμών της θάλασσας και έτσι είναι ασαφές ποια από αυτά θα μπορούσαν να είναι χρήσιμα για τοπικές/περιφερειακές μελέτες. Είναι σαφές ότι μερικοί από τους παράγοντες στον Πίνακα 2.1 θα είχαν μεγάλη χωρική μεταβλητότητα. Όμως, η γενική ασυμφωνία μεταξύ των συνολικών εκτιμώμενων και παρατηρούμενων ρυθμών δείχνει ότι δεν γίνονται καλά κατανοητοί όλοι οι μηχανισμοί (Tsimplis, 2002). Η επίδραση της αναμενόμενης ανόδου της θαλάσσιας στάθμης στις παράκτιες περιοχές θα εξαρτάται επίσης από τις κατακόρυφες κινήσεις της ξηράς (Mitrovica et al., 1995).

Η εκτίμηση των αποτελεσμάτων της αλλαγής κλίματος στη στάθμη της θάλασσας σε τοπικό επίπεδο απαιτεί επίσης γνώση και της συχνότητας/έντασης των ακραίων τιμών της θαλάσσιας στάθμης (Eurosion, 2003, 2004a, 2004b). Προκειμένου να αξιολογηθούν τα αποτελέσματα της κλιματικής αλλαγής στη κατανομή και μέγεθος των ακραίων γεγονότων πρέπει να ληφθούν υπόψη, εκτός από τη σχετική αλλαγή στάθμης της θάλασσας, αλλαγές στο παλιρροιακό σήμα (tidal signal) καθώς και περιοδικές αλλαγές στα θυελλώδη κύματα/φουσκοθαλασσιές λόγω δι-ετήσιων (inter-annual) και δια-δεκαετήσιων (inter-decadal) αλλαγών στην τοπική/περιφερειακή μετεωρολογία (Bacon & Carter 1991; Cotton & Challenor 1999; Tsimplis, 2002).

Τόσο ο ακριβής ρυθμός όσο και οι αιτίες της παγκόσμιας ανόδου της στάθμης της θάλασσας του εικοστού αιώνα (GSLR) είναι ακόμα υπό συζήτηση. Εκτιμήσεις από παλιρροιογράφους ποικίλουν από λιγότερο από 1 mm/yr σε περισσότερο από 2 mm/yr. Την ίδια στιγμή, ρυθμοί που υπολογίζονται με βάση θεωρητικά μοντέλα (όγκοι από την τήξη ηπειρωτικών πάγων και από θερμική διαστολή) είναι γενικά κάτω από αυτές τις τιμές. Όσον αφορά την θερμική διαστολή, υδρογραφικά δεδομένα και υπολογισμοί δείχνουν ότι η θερμική διαστολή μόνη της εξηγεί μικρό μόνο ποσοστό της παρατηρούμενης αλλαγής σε σχέση με αυτή που υπολογίζεται από την τήξη των πάγων.

Όσον αφορά την Μεσόγειο Θάλασσα που περιορίζεται από ξηρά, και έχει περιορισμένες ανταλλαγές νερού με τον Ατλαντικό Ωκεανό, αυτή θεωρείται συχνά σαν ένα μικρό πρότυπο των παγκόσμιων ωκεανών, όπου οι περιβαλλοντικές αλλαγές που εμφανίζονται σε μεγάλη κλίμακα μπορούν να μετρηθούν αποτελεσματικά και να ελεγχθούν. Από άποψη αύξησης της θερμοκρασίας η Μεσόγειος θάλασσα είναι πιθανώς μια από τις πρώτες περιοχές όπου μια τέτοια επίδραση έχει μετρηθεί.

Σημαντικές περιβαλλοντικές αλλαγές έχουν παρατηρηθεί στην κυκλοφορία της θάλασσας της Μεσογείου κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών. Οι τάσεις θέρμανσης έχουν παρατηρηθεί και στα μεγάλα και στα ενδιάμεσα βάθη. Η στάθμη της θάλασσας αυξανόταν 1.8 mm/year μέχρι τη δεκαετία του 1960, αλλά μετά μειώθηκε 2-3 cm μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του '90 (Tsimplis & Baker, 2000). Από το 1993 περίπου, η θαλάσσια στάθμη της Μεσογείου αυξάνεται με ρυθμούς 10 φορές μεγαλύτερους από αυτούς του παγκόσμιου ωκεανού γρηγορότερα απ'ό, τι σε παγκόσμια κλίμακα. Οι ιδιαιτερότητες αυτές μάλλον οφείλονται στο περιφερειακό κλίμα της περιοχής, το οποίο και δημιούργησε το Eastern Mediterranean Transient (Roether et al., 1996; Theoharis et al., 1999; Tsimplis et al., 1999)

2.3.4 Οι τάσεις της θαλάσσιας στάθμης της Μεσογείου

Η στάθμη της θάλασσας στη Μεσόγειο εξαρτάται από τις βαθμωτές μεταβολές της πίεσης και από τις επικρατούσες υδραυλικές συνθήκες στο στενό του Γιβραλτάρ (Ross et al., 2000; Brandt et al., 2004) όπως επίσης και τις χωρικές μεταβολές και τις ανταλλαγές στο ισοζύγιο νερού που οδηγούνται από τις τοπικές ατμοσφαιρικές δυνάμεις

(Tsimplis & Josey, 2001). Οι τάσεις της στάθμης της θάλασσας για τις 3 μακρύτερες χρονοσειρές της περιοχής, δηλ. από την Μασσαλία, Γένοβα και Τεργέστη είναι της τάξης του 1.1-1.3 mm/yr, δηλαδή μικρότερες από τον εκτιμώμενο συνολικό ρυθμό ανόδου της θαλάσσιας στάθμης (Tsimplis & Baker, 2000).

Δύο περίοδοι μεταβλητότητας της στάθμης της θάλασσας της Μεσογείου πρέπει να συζητηθούν περαιτέρω. Κατά τη διάρκεια της πρώτης, μεταξύ του 1960 και των αρχών της δεκαετίας του '90 η στάθμη της θάλασσας στη Μεσόγειο είτε δεν άλλαζε είτε μειωνόταν (Tsimplis & Baker, 2000) κυρίως λόγω αλλαγών στην ατμοσφαιρική πίεση κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου (Tsimplis & Josey, 2001; Woolf et al., 2001) καθώς και λόγω μείωσης της θερμοκρασίας και αλλαγών στην αλατότητα, που συνδέονται με την Βορειοατλαντική Παλινδρόμηση (NAO) (Tsimplis & Rixen, 2002). Η δεύτερη περίοδος μελετάται κυρίως με τα δεδομένα του TOPEX/POSEIDON μεταξύ 1993 και 2002 που αποκαλύπτουν μια εικόνα αρκετά περίπλοκη. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, γρήγορη άνοδος της θαλάσσιας στάθμης παρατηρήθηκε στην ανατολική Μεσόγειο το 1993-1999 (Cazenave et al., 1999; Fenoglio-Marc, 2002) και συνδέθηκε με τις αλλαγές στην παρατηρηθείσα επιφανειακή θερμοκρασία της θάλασσας (Cazenave et al., 1999). Μετά το 1999 όμως, παρατηρήθηκε πτώση της θαλάσσιας στάθμης στην ίδια περιοχή (Fenoglio-Marc, 2002).

Η Βορειοατλαντική Παλινδρόμηση (NAO δηλ. η μεταβολή της διαφορικής πίεσης μεταξύ των μεγάλων ατμοσφαιρικών συστημάτων του Ατλαντικού δηλ. του υψηλού των Αζορών και του Χαμηλού της Ισλανδίας) έχει σημαντικότερες κλιματικές επιδράσεις στην περιοχή του Βορείου Ατλαντικού, την Ευρώπη και την Β. Αμερική (Wanner et al., 2001). Υπάρχουν στοιχεία ότι μια τάση στην Παλινδρόμηση στο διάστημα '60- αρχές '90 άσκησε σημαντική επίδραση στην τάση της θαλάσσιας στάθμης της Μεσογείου (Tsimplis & Baker, 2000; Tsimplis & Josey, 2001). Φαίνεται, ότι θαλάσσια στάθμη της Μεσογείου παρουσιάζει ευαισθησία στο NAO, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών.

Η χωρική μεταβλητότητα της στάθμης της θάλασσας στη Μεσόγειο υπολογίζεται από την κλιματολογία Medar. Οι μεταβολές της θερμοκρασίας προκαλούν το μεγαλύτερο μέρος της συνολικής χωρικής αλλαγής της θαλάσσιας στάθμης στα ανώτερα 400 m (Tsimplis, 2002). Μεταξύ του 1960 και της δεκαετίας του '90 η ψύξη των ανώτερων

υδάτων της ανατολικής Μεσογείου προκάλεσαν μείωση των χωρικών υψών ενώ, μετά από το 1993, η αύξηση της θερμοκρασίας προκάλεσε ανύψωση της στάθμης της θάλασσας. Οι χωρικές αλλαγές της στάθμης της θάλασσας στα ανώτερα ύδατα της Αδριατικής και του Αιγαίου συσχετίζονται με το ΝΑΟ. Η σύγκριση μεταξύ της χωρικής στάθμης της θάλασσας και των παράκτιων μετρητών παλοίρριας δεν είναι όμως ικανοποιητική. Αυτή η απόκλιση δείχνει και τα προβλήματα της πρακτικής του υπολογισμού των ρυθμών αλλαγής της θαλάσσιας στάθμης στις λεκάνες με σημειακές μετρήσεις, καθώς και την μεταβλητότητα σε επίπεδο υπο-λεκάνης (Tsimplis, 2002).

2.3.5 Οι μελλοντικές προβλέψεις

Η μακροπρόθεσμη ανάλυση της αλλαγής της θαλάσσιας στάθμης απαιτεί μακρές χρονοσειρές στάθμης (τουλάχιστον 50 ετών) (Douglas et al., 2001). Οι προβλεπόμενες αλλαγές στη θαλάσσια στάθμη κατά τη διάρκεια του 21ου αιώνα έχουν υπολογιστεί χρησιμοποιώντας το πλήρες σύνολο σεναρίων εκπομπής SRES και των επτά AOGCMs ((Church et al., 2001). Για κάθε ένα από τα σεναρία, υπολογίστηκε η μέση τιμή του προτύπου και έδωσε εκτιμήσεις ρυθμών ανόδου μεταξύ 0.09 έως 0.88 m για την περίοδο 1990- 2100. Η μέση τιμή αυτής της ανόδου αντιστοιχεί σε ένα ρυθμό μεταξύ 2 και 4 φορές μεγαλύτερου του ρυθμού του 20ού αιώνα. Η αυξανόμενη θαλάσσια στάθμη συνδέεται επίσης με συχνότερες ακραίες τιμές, λόγω της αναμενόμενης αύξησης στη συχνότητα/ένταση των θυελλών.

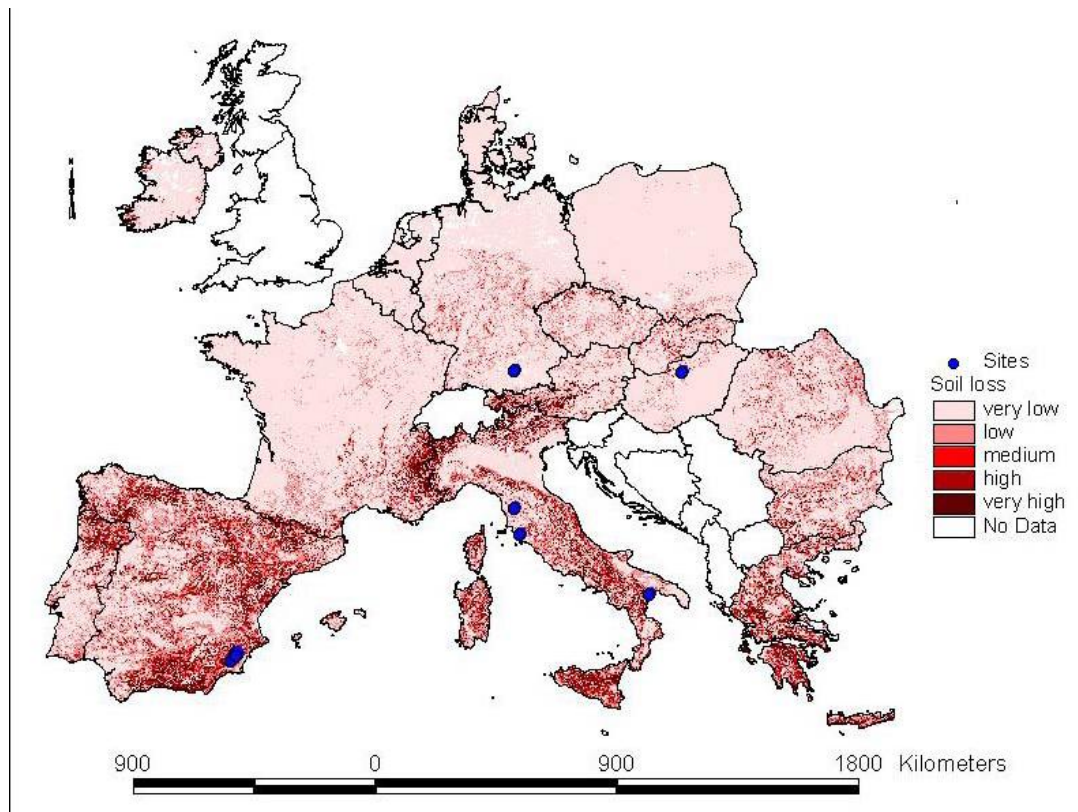
Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας που προβλέπεται στα σεναρία που εξετάζονται για την ευρωπαϊκή τοπική αλλαγή κλίματος είναι μεταξύ 13 και 68 cm το 2050, κυρίως λόγω της θερμικής διαστολής των ωκεανών. Αυτή η εκτίμηση δεν περιλαμβάνει κάθετες γήινες κινήσεις (ισοστασία), ούτε κινήσεις λόγω αλλαγών στην ωκεάνεια κυκλοφορία, που θα προκαλέσει κάποιες διαφορές στην θαλάσσια στάθμη σε διαφορετικές περιοχές της Ευρώπης. Οι τοπικοί ρυθμοί μεταβολής βρέθηκαν να είναι στις ευρωπαϊκές ακτές 50% υψηλότερες ή χαμηλότερες από την μέση τιμή (UKCIP02, 2003). Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας από 0.5 ως 2 m αναμένεται όταν το σύστημα φθάσει σε ισορροπία (με μια συγκέντρωση του CO₂ της τάξεως των 560 ppm (2 φορές η προβιομηχανική συγκέντρωση), αλλά αυτό αναμένεται να συμβεί σε κάποιες

εκατοντάδες χρόνια. Οι επιδράσεις της ανόδου της θαλάσσιας στάθμης είναι ιδιαίτερα σημαντικές στις παράκτιες ευρωπαϊκές περιοχές (Eurosion, 2003). Πέρα από την αναμενόμενη σημαντικότερη παράκτια διάβρωση, αναμένεται καταστροφή του μεγαλύτερου μέρους των παράκτιων υγροτόπων και οικοσυστημάτων (Eurosion, 2004a; 2004b).

2.4 Εδαφική διάβρωση και παραγόμενο ιζημα

2.4.1 Εδαφική διάβρωση

Περίπου το 45% των θαλασσιών ιζημάτων είναι κλαστικά, δηλ. προέρχονται από την κλάση (κατακερματισμό) των ηπειρωτικών πετρωμάτων. Τα ιζήματα αυτά (εμπλουτισμένα και σε οργανική ύλη από το εδαφικό κάλυμμα) φθάνουν στην θάλασσα μέσω κυρίως του υδρογραφικού δικτύου που παρέχει περίπου 18×10^9 t/yr (Βελεγράκης, 2005α). Η εδαφική διάβρωση οφείλεται στην αποκόλληση σωματιδίων από το εδαφικό κάλυμμα και τα επιφανειακά πετρώματα από την δράση των μετεωρολογικών φαινομένων και πραγματοποιείται κατά την κατακρήμνιση, την κατείσδυση και την επιφανειακή απορροή. Η διεργασία ολοκληρώνεται με την μεταφορά και απόθεση του παραγόμενου ιζήματος.



Σχήμα 2.5: Η εδαφική διάβρωση στην Ευρώπη-Εκτίμηση με USLE (Universal Soil Loss Equation) (Van der Knijff, 2000).

Παράγοντες ελέγχου της εδαφικής διάβρωσης είναι το κλίμα (βροχόπτωση, θερμοκρασία, υγρασία), οι ιδιότητες του εδάφους, η βλάστηση, η τοπογραφία (κλίσεις εδάφους και μήκος συρροής), καθώς και οι ανθρώπινες δραστηριότητες (χρήσεις γης, κατασκευές) (Ανδρεάδης Ο., 2005). Η διάβρωση σε μία λεκάνη απορροής είναι μεγαλύτερη στα υψηλά ανάγλυφα (uplands) από τα χαμηλά (lowlands/coastal plains) (Milliman & Syvitski, 1992).

Η διάβρωση του εδάφους έχει σαν αποτέλεσμα την ερημοποίηση της γης και την απογύμνωσή της από γόνιμα εδάφη. Επίσης, αποτελεί φορέα ρύπανσης για τους υδάτινους όγκους στους οποίους καταλήγει, ενώ ταυτόχρονα εμπλουτίζει τους υδάτινους φορείς/αποδέκτες με φυσικά άλατα αναγκαία για την βιολογική τους συντήρηση και εξέλιξη. Τέλος, η εδαφική διάβρωση είναι ο μηχανισμός μέσω του οποίου οι παράκτιες περιοχές τροφοδοτούνται με ιζημα, το οποίο είναι απαραίτητο για τη διατήρηση του ιζηματικού ισοζυγίου των παραλιών (Komar, 1998). Οι Ευρωπαϊκές παράκτιες λεκάνες απορροής βρίσκονται κάτω από σημαντικότερη διάβρωση, ιδιαίτερα αυτές της Μεσογείου (Σχήμα 2.5).

2.4.2 Ιζηματολογικό δυναμικό και στερεοπαροχή

Η ποτάμια παροχή σε ιζήματα παίζει έναν ουσιαστικό ρόλο στη δημιουργία και εξέλιξη της παράκτιας ζώνης και ειδικότερα των δελταϊκών ακτών και των παραλιών (Βελεγράκης, 2005β). Παρατηρήσεις που έχουν γίνει σε διάφορους ελληνικούς ποταμούς έχουν δείξει ότι ο μέσος ετήσιος ρυθμός παροχής (ιζηματολογικό δυναμικό λεκάνης (yield)) σε ιζημα (υπό αιώρηση) κυμαίνεται μεταξύ 65 t/Km² και 3950 t/Km² (Poulos & Chronis, 1997), όταν μερικοί από τους μεγαλύτερους ποταμούς του κόσμου όπως ο Νείλος, ο Αμαζόνιος και ο Μισισσιπής έχουν αντίστοιχες τιμές που κυμαίνονται από 31 t/Km²/yr μέχρι και 1080 t/Km²/yr (Milliman & Syvitski, 1992). Αυτή η αυξημένη στερεοπαροχή ευνοείται από τους υψηλούς ρυθμούς αποσάθρωσης/διάβρωσης των λεκανών απορροής που οφείλονται στις επικρατούσες κλιματολογικές συνθήκες σε συνδυασμό με τη με σχετικά μεγάλο δυναμικό διάβρωσης λιθολογία, το απότομο ανάγλυφο και την αραιή φυτοκάλυψη (Poulos et al., 1996). Τα ελληνικά ποτάμια, όπως και τα υπόλοιπα ποτάμια που αποστραγγίζουν την ορεινή Αλπική ζώνη, έχουν τη δυνατότητα να προσφέρουν μεγαλύτερα ποσά ιζημάτων στην παράκτια ζώνη τους, λόγω

της γειτονίας των λεκανών απορροής τους σε σχέση με την ακτογραμμή και την ορμητικότητα των παροχών τους εξ' αιτίας των μεγάλων κλίσεων των πρανών του υδρογραφικού τους δικτύου (Milliman & Syvitski, 1992).

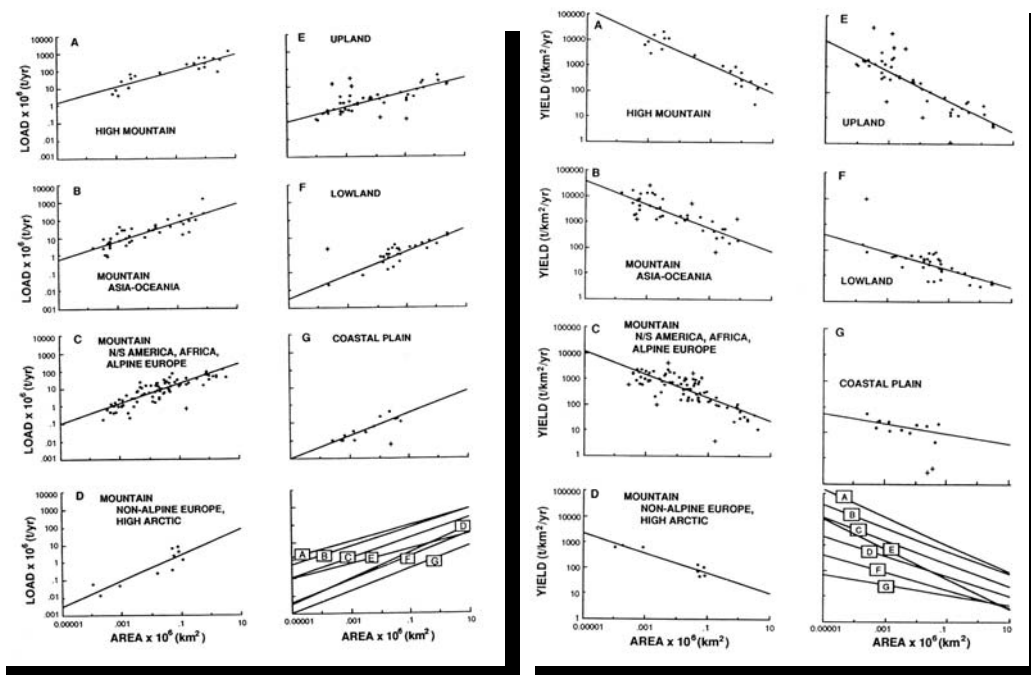
Ο μέσος όρος του ετήσιου ιζηματολογικού δυναμικού και της ιζηματικής παροχής (load) των 17 κυριότερων ελληνικών ποταμών ξεπερνά τους 1100 t/Km^2 και $110 \times 10^6 \text{ t/yr}$ αντίστοιχα, από τα οποία περίπου τα $2/3$ μεταφέρονται σε αιώρηση (suspended load), ενώ το υπόλοιπο $1/3$ μεταφέρεται υπό διάλυση και σαν φορτίο πυθμένα (bedload). Συγκριτικά αναφέρεται ότι οι Milliman & Syvitski (1992), υπολόγισαν ότι τα διάφορα ποτάμια που αποστραγγίζουν την νότια Αλπική Ευρώπη, μεταφέρουν σε αιώρηση περί τους 350×10^6 τόνους ιζήματος ετησίως, χωρίς να συνοπολογίζουν τη στερεοπαροχή των ελληνικών ποταμών. Στην ελληνική στερεοπαροχή πρέπει να προστεθεί και αυτή από τους μικρότερους ποταμούς καθώς και των αναρίθμητων μικρών και μεγάλων χειμάρρων που εκβάλουν κατά μήκος της ακτογραμμής της ηπειρωτικής και νησιωτικής Ελλάδας. Έτσι λοιπόν, οι ελληνικοί ποταμοί/χειμάρροι μεταφέρουν προς την παράκτια ζώνη έναν τεράστιο όγκο ιζημάτων τα οποία παίζουν καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση της ελληνικής ακτογραμμής. Όμως, αξίζει να σημειωθεί ότι ο ρόλος τους δεν περιορίζεται μόνο στην εγγύς της ακτής παράκτιας ζώνης, αλλά εκτείνεται και στον ευρύτερο χώρο του ηπειρωτικού περιθωρίου, συμβάλλοντας στη σύγχρονη ιζηματογένεση είτε της υφαλοκρηπίδας, όπως στην περίπτωση του Θερμιακού κόλπου, είτε σχηματίζοντας εκτεταμένους υποθαλάσσιους κώνους (fan aprons), όπως στην περίπτωση του απότομου νοτίου περιθωρίου του Κορινθιακού Κόλπου (Lykousis & Chronis, 1989).

2.4.3 Η επίδραση της φυσιογεωγραφίας της λεκάνης απορροής

Η υδρολογική συμπεριφορά της λεκάνης απορροής μιας περιοχής επηρεάζεται έντονα από τη μορφολογία της. Επίσης, ο ρυθμός με τον οποίο λαμβάνει χώρα η απορροή μεταβάλλεται σύμφωνα με τους επιφανειακούς εδαφικούς σχηματισμούς. Οι φερτές ύλες που μεταφέρονται συμβάλουν και στη διαδικασία διάβρωσης της κοίτης. Με την πάροδο του χρόνου τα αρχικά αδρόκοκκα ιζήματα κατακερματίζονται σε μικρότερα σωματίδια άμμου και ιλύος. Όταν όμως η κλίση ροής του είναι αυξημένη, η ορμή αυξάνεται και ενώ η διάβρωση κοίτης αυξάνεται αδρόκοκκα ιζήματα φθάνουν στις

κατάντη ακτές λόγω (α) των αυξημένων διατμητικών τάσεων και της φέρουσας ικανότητας της ροής και (β) του σχετικά μικρού χρόνου μεταφοράς (Βελεγράκης, 2005β).

Όταν η εδαφική διάβρωση λαμβάνει χώρα σε ομαλές κλίσεις, τα σωματίδια μεταφέρονται σχετικά ομοιόμορφα προς διάφορες κατευθύνσεις. Σε άλλη περίπτωση, η μεταφορά της πλειοψηφίας των ιζημάτων ακολουθεί την κατεύθυνση της κλίσης του εδάφους. Γενικά, όσο αυξάνεται η κλίση του εδάφους τόσο αυξάνονται και τα ποσοστά διάβρωσης. Επίσης, με την αύξηση της κλίσης αυξάνουν και οι ταχύτητες επιφανειακής ροής των υδάτινων μαζών. Σημαντικό είναι και το μήκος για το οποίο παραμένει ίδια μια κλίση (slope length). Όσο μικρότερο είναι το μήκος τόσο πιο σύντομα το υλικό που διαβρώνεται συναντά το υδατόρρευμα. Ταυτόχρονα, όσο πιο μεγάλο είναι το μήκος μιας κλίσης, τόσο μεγαλύτερες παροχές και ταχύτητες επιφανειακής ροής δημιουργούνται (Ανδρεάδης, 2005).



Σχήμα 2.6: Διακύμανση φορτίου (load) και στερεοπαροχής (yield) σε διάφορες γεωλογικές ζώνες (Milliman & Syvitski, 1992).

Η διάβρωση του εδαφικού καλύμματος και του υπεδάφους από τη δράση του νερού λαμβάνει χώρα στο μεγαλύτερο μέρος της στα υψηλά ανάγλυφα και σταδιακά

μεταφέρεται στις παράκτιες περιοχές. Ειδικά στις μεσογειακές παράκτιες περιοχές, οι οποίες είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες στη διάβρωση λόγω του απότομου αναγλύφου και ευαίσθητων γεωλογικών σχηματισμών/συνθηκών αλλά και του ευμετάβλητου κλίματος (Poulos & Collins, 2002), οι δραστηριότητες και πρακτικές εκμετάλλευσης και διαχείρισης εδάφους (π.χ. γεωργικές πρακτικές, κατασκευή λιμνοδεξαμενών/φραγμάτων) είναι υπεύθυνες για το 75% της κατακράτησης ιζήματος (Syvitski, 2003). Η χρονική περίοδος μεταφοράς και ο τρόπος που τα ιζήματα μεταφέρονται στις παραλίες αποτελούν σήμερα αντικείμενα βασικής μελέτης (Poulos & Collins, 2002). Παρατηρήσεις που συλλέχθηκαν παγκοσμίως δείχνουν ότι η ιζηματική παροχή και το ιζηματολογικό δυναμικό είναι πολύ υψηλότερες στα ανάντη (υψηλά ανάγλυφα-uplands) και στις μικρότερες λεκάνες απορροής (Σχήμα 2.6).

2.5. Διάβρωση παράκτιας ζώνης και οι αιτίες της

2.5.1 Παράγοντες

Η παράκτια υποχώρηση έχει σημαντικές κοινωνικο-οικονομικές επιπτώσεις αφού το ~40% του πληθυσμού (το ~60% του πληθυσμού της Δυτικής Ευρώπης) και πολλές οικονομικές δραστηριότητες συγκεντρώνονται σε μία παράκτια ζώνη πλάτους 100 km (GEO-3, 2002). Η παράκτια διάβρωση είναι συνήθως το αποτέλεσμα ενός συνδυασμού παραγόντων - φυσικών και ανθρωπογενών - που λαμβάνει χώρο σε διαφορετικές κλίμακες (Eurosion, 2004). Η παράκτια υποχώρηση επηρεάζεται άμεσα από τη μείωση της ποτάμιας ιζηματοπαροχής.

Οι σημαντικότεροι φυσικοί παράγοντες είναι: άνεμοι και θύελλες, ρεύματα κοντά στις ακτές, σχετική άνοδος στάθμης θάλασσας (συνδυασμός κάθετης κίνησης χέρσου και μεταβολής της θαλάσσιας στάθμης) και διεργασίες κλίσης (slope processes) (Βελεγράκης et al., 2005). Οι κυριότεροι ανθρωπογενείς παράγοντες που ελέγχουν την παράκτια διάβρωση περιλαμβάνουν: κακοσχεδιασμένα παράκτια έργα και αξιώσεις εδάφους (land reclaim), εργασίες διαχείρισης ποταμών (όπως η κατασκευή των φραγμάτων/λιμνοδεξαμενών, εκβάθυνση/διευθέτηση κοίτης),

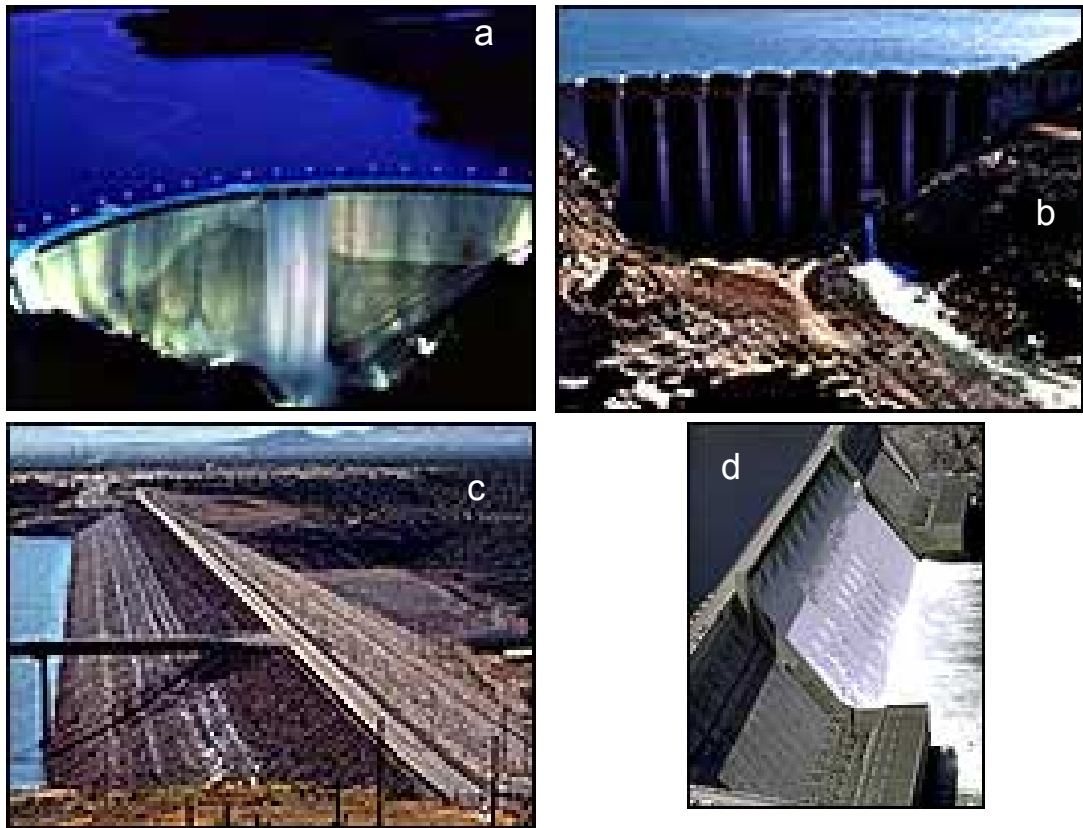
καθάρισμα βλάστησης και εξαγωγή αερίων και ύδατος από το υπέδαφος..

2.5.3 Φράγματα

Τα φράγματα είναι κατασκευές που παρεμποδίζουν την ροή ποταμών και υδατορευμάτων. Μερικά φράγματα εκτρέπουν τη ροή ύδατος ενός ποταμού σε κανάλια, άλλα βελτιώνουν την ποιότητα των πλωτών οδών, ενώ χρησιμοποιούνται και για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας. Τα φράγματα κρατούν επίσης το νερό για την αστική κατανάλωση και γεωργικές/βιομηχανικές χρήσεις καθώς και για τον έλεγχο των πλημμυρών (World Commission of Dams, 2000).

Υπάρχουν διάφοροι τύποι φραγμάτων. Τα φράγματα ελέγχου πλημμυρών, είναι φράγματα κατασκευασμένα είτε από αναχώματα αργίλου, άμμου, αμμοχάλικων και βράχων (γήινα φράγματα) είτε από οπλισμένο σκυρόδεμα. Τα φράγματα παρεκτροπής εκτρέπουν το νερό των ποταμών για την άρδευση. Τα φράγματα αψίδων (arch dams) είναι κατάλληλα για περιορισμένες και βραχώδεις τοποθεσίες. Είναι κυρτά, και η φυσική μορφή της αψίδας συγκρατεί το νερό στη δεξαμενή. Τα φράγματα αυτά (Σχήμα 2.7a) όπως το φράγμα El Atazar στην Ισπανία, είναι λεπτά και απαιτούν λιγότερα υλικά για την κατασκευή τους από οποιοδήποτε άλλο τύπο φράγματος.

Τα φράγματα στηριξης (buttress dams- Σχήμα 2.7b) μπορεί να είναι επίπεδα ή κυρτά, αλλά το σίγουρο είναι ότι μια σειρά υποστηριγμάτων στηρίζει και ενισχύει το φράγμα στην κατάντη πλευρά του. Τα περισσότερα από αυτά τα φράγματα (όπως π.χ. το φράγμα Bartlett στην Αριζόνα), είναι κατασκευασμένα από οπλισμένο σκυρόδεμα.



Σχήμα 2. 7: Φράγματα (a) El Atazar, Spain, (b) Bartlett Dam, Arizona, (c) New Waddell Dam (d) Grand Coulee Dam, Washington.

Τα φράγματα αναχωμάτων (embankment dams) είναι οι πιο συνηθισμένες κατασκευές Σχήμα 2.7c). Είναι ογκώδη φράγματα φτιαγμένα από ιζήματα και βράχους (earth and rock). Όπως τα φράγματα βαρύτητας (βλ. κατωτέρω), τα φράγματα αναχωμάτων στηρίζονται στο βάρος τους για να αντισταθμίζουν τις πλευρικές δυνάμεις του αποθηκευμένου νερού. Αλλά τα φράγματα αναχωμάτων οπλίζονται επίσης με έναν πυκνό, στεγανό πυρήνα που αποτρέπει τη διαπερατότητα νερού μέσω της δομής (για την επιμήκυνση των γραμμών ροής και την αποφυγή δημιουργίας δυνάμεων ανύψωσης (lift forcing)).

Τέλος, τα ‘φράγματα βαρύτητας’ (gravity dams) είναι ογκώδη φράγματα που αντιστέκονται στις πλευρικές δυνάμεις του νερού εξ’ ολοκλήρου με το βάρος τους. Τα περισσότερα φράγματα βαρύτητας, όπως το μεγάλο φράγμα Coulee στην Ουάσιγκτον (Σχήμα 2.7d), είναι ακριβά στην κατασκευή τους επειδή απαιτούν πολύ σκυρόδεμα.

2.5.3 Επιπτώσεις των φραγμάτων

Τα φράγματα έχουν επιπτώσεις στις κατάντη (downstream) γεωμορφολογικές διαδικασίες. Οι περισσότερες αλλαγές προκαλούνται από την βασική λειτουργία του φράγματος (δηλ. την αποθήκευση των χειμερινών υψηλών ροών και τις θερινές παροχές νερού). Το αποτέλεσμα περιλαμβάνει αλλαγές σε ετήσια, μηνιαία και καθημερινή βάση στην κατανομή της ροής, στην μέγιστη ροή και σε άλλες γεωμορφολογικές παραμέτρους. Η δεξαμενή (reservoir) συλλαμβάνει επίσης μέχρι 97% της ιλύος, άμμου και αμμοχάλικων που μεταφέρονται από τον υδροκρίτη μέσω του ποταμού (Poulos & Collins, 2002). Οι αλλαγές στην μεταφορά νερού και ιζημάτων αλλάζουν τις φυσικές ιδιότητες/διεργασίες της κατάντη λεκάνης απορροής, όπως της μορφής και σταθερότητας των καναλιών, της στρατολόγησης, μεταφοράς και απόθεσης ιζημάτων στις κοίτες κ.α. Η χωρητικότητα των καναλιών μπορεί επίσης να αλλάξει, επηρεάζοντας έτσι τη συχνότητα των πλημμυρών. Οι αλλαγές στις διεργασίες των ποταμών μπορεί επίσης να έχει επιπτώσεις στους κατάντη βιολογικούς πόρους, χρήσεις γης, στην αναψυχή και αισθητική (World Commission of Dams, 2002). Οι αλλαγές στον κατάντη ανεφοδιασμό ιζημάτων, θρεπτικών αλάτων και άνθρακα μπορούν να επηρεάσουν.

Πολλά μεγάλα συστήματα ποταμών, στα οποία περιλαμβάνεται ευρεία ποικιλία οικοσυστημάτων, έχουν επηρεασθεί από τα φράγματα. Οι Nilsson & Berggren (2000) παρουσίασαν μια επισκόπηση για το πώς τα φράγματα έχουν τεμαχίσει τα συστήματα των μεγαλύτερων, σε παγκόσμιο επίπεδο, ποταμών. Η μελέτη αυτή έδειξε ότι κατά 172 από τα 292 μεγάλα συστήματα, έχουν επηρεασθεί σημαντικά από φράγματα, και εκτροπές που τεμαχίζουν τα οικοσυστήματα και μειώνουν τη ροή.

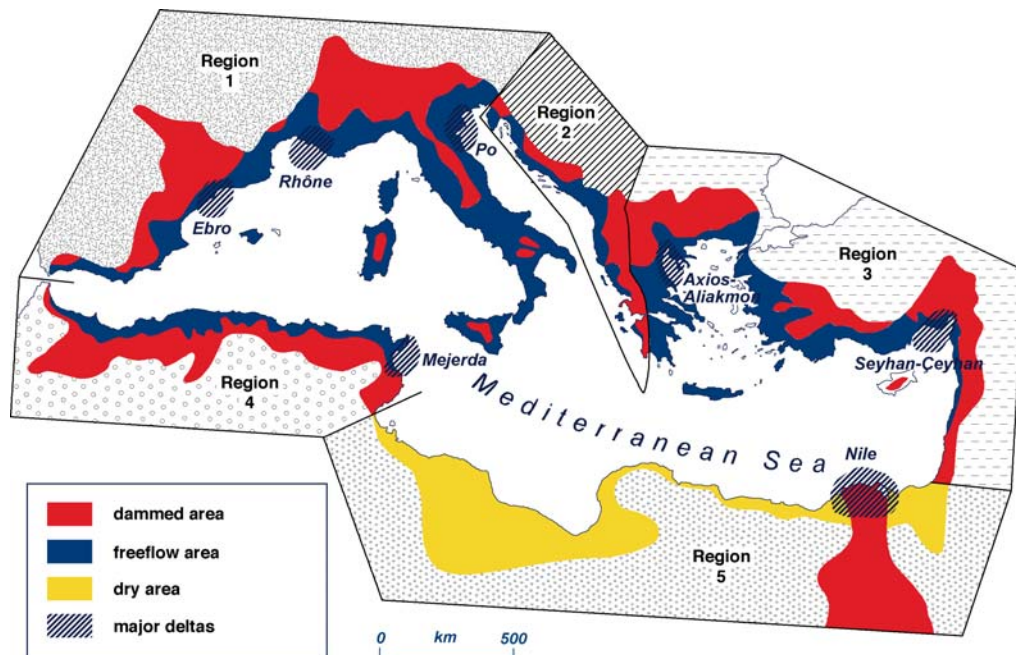
2.5.4 Ιζηματομεταφορά και φράγματα

Οι Syvitski et al. (2003) περιγράφουν τις επιδράσεις της ανθρωπογενούς δραστηριότητας (όπως η οικοδόμηση φραγμάτων), στην μεταφορά ιζημάτων στις ακτές. Παρουσίασαν συγκρίσεις μεταξύ παροχών ιζημάτων του παρελθόντος -όταν η ανθρώπινη επίδραση ήταν αμελητέα- και του παρόντος. Ποσοτικά, η έρευνα αποκάλυψε ότι, για την πλειοψηφία των ποταμών, οι ανθρώπινες δραστηριότητες (όπως η άρδευση/γεωργία) έχουν αυξήσει την ιζηματική διάβρωση (fluvial sediment erosion),

αλλά μειώσει την παράδοση ιζημάτων στις ακτές λόγω της παγίδευσης στις τεχνητές δεξαμενές που σχηματίζονται στα ανάντη των φραγμάτων. Οι άνθρωποι έχουν αυξήσει τη διάβρωση στις λεκάνες απορροής (κατά $2.3 \pm 0.6 \times 10^9$ t/yr) ενώ έχουν μειώσει την παροχή του ιζήματος στις ακτές (κατά $1.4 \pm 0.3 \times 10^9$ t/yr) λόγω της κατακράτησης του από τις δεξαμενές (reservoirs). Πάνω από 100×10^9 t ιζήματος και $1-3 \times 10^9$ t άνθρακα περιέχονται τώρα στις δεξαμενές που, κατά ένα μεγάλο ποσοστό, έχουν κατασκευαστεί μέσα στα προηγούμενα 50 έτη.

Η μεταφορά του ιζήματος από τους ποταμούς στις ακτές και τους ωκεανούς αντιπροσωπεύει μια σημαντική διαδρομή στον βιογεωχημικό κύκλο. Με την αύξηση του ενδιαφέροντος για τις παγκόσμιες περιβαλλοντικές αλλαγές, είναι σημαντικό να εξεταστεί ο βαθμός στον οποίο αυτός ο σημαντικός δείκτης της λειτουργίας του γήινου συστήματος αλλάζει. Τα στοιχεία από τα πιο μακροπρόθεσμα αρχεία φορτίων ιζημάτων δείχνουν ότι οι ροές ιζημάτων ποταμών είναι ευαίσθητες εκτός από τις κλιματικές συνθήκες, σε πολλές επιρροές (όπως π.χ. η κατασκευή δεξαμενών, η εκκαθάριση του εδάφους, οι αλλαγές στις χρήσεις γης, η μεταλλευτική δραστηριότητα, τα μέτρα συντήρησης εδάφους/ύδατος και τα προγράμματα ελέγχου ιζημάτων (Syvitski et al., 2003). Μερικές από αυτές τις επιρροές αναγκάζουν τα φορτία ιζημάτων να αυξηθούν, ενώ άλλες, όπως, προγράμματα συντήρησης εδάφους και ύδατος και ελέγχου ιζημάτων, και κατασκευής δεξαμενών έχουν ως αποτέλεσμα μειωμένες ροές ιζήματος. Σε πολλές περιπτώσεις, είναι δύσκολο να διαλευκανθεί η επιρροή της αλλαγής κλίματος από αυτήν των άλλων αλλαγών στον όρο συλλογής. Αν και υπάρχουν σαφείς ενδείξεις ότι τα φορτία ιζημάτων μερικών ποταμών αλλάζουν, άλλοι δεν παρουσιάζουν ενδείξεις σημαντικών μεταβολών.

Για την προκαταρκτική αξιολόγηση των σύγχρονων τάσεων στα φορτία ιζημάτων των ποταμών, μελετήθηκαν τα 145 πιο μακροπρόθεσμα αρχεία των ετήσιων φορτίων/ απορροής ιζημάτων σημαντικών ποταμών (Walling et al., 2003). Τα στοιχεία δείχνουν ότι η κατασκευή δεξαμενών είναι πιθανώς η σημαντικότερη επιρροή στις ανταλλαγές ιζημάτων μεταξύ χέρσου-ωκεανών.



Σχήμα 2.8: Τα περισσότερα από 3500 μέτρια και μεγάλα φράγματα της Μεσογείου (το 84% των οποίων έχει κατασκευασθεί τα τελευταία 50 έτη) έχουν στερήσει το περίπου 65% των ποτάμιων παροχών ιζημάτων από τις ακτές (από 1012×10^6 σε 355×10^6 t/yr). Επίσης έχουν αλλάξει την παράκτια κυκλοφορία (Poulos et al., 2002).

Φαίνεται ότι τα φράγματα έχουν σφραγίσει αποτελεσματικά πολλές λεκάνες απορροής, 'κλειδώνοντας' δισεκατομμύρια m^3 ιζημάτων ετησίως. Οι παροχές στις Μεσογειακές ακτές έχουν ιδιαίτερα πληγεί από την κατευσή φραγμάτων (Σχήμα 2.8). Για μερικούς νότιους ευρωπαϊκούς ποταμούς (π.χ. Έβρος, Douro, Ugueme, Ροδανός), ο ετήσιος όγκος παροχής ιζημάτων αντιπροσωπεύει λιγότερο από το 10% των παροχών του 1950· για τον Έβρο το ποσοστό είναι λιγότερο από το 5%. Αυτό οδηγεί σε ένα σημαντικότατο έλλειμμα ιζημάτων στις εκβολές των ποταμών και παράκτια διάβρωση στο Δέλτα του Έβρου, στην Playa Gross, στην Petit Camargue (Δέλτα Ροδανού) και στην Vagueira (Eurosion, 2004). Εκτός από τη φράξη των ποταμών, και άλλες δραστηριότητες που οδηγούν σε μείωση της ροής του νερού ή στην αποτροπή πλημμύρων (οι πλημμύρες είναι σημαντικές γεννήτριες ιζημάτων) μειώνουν την παροχή ιζημάτων στην ακτή.

Οι πρώτες έρευνες παγκοσμίως σχετικά με την επίδραση των φραγμάτων αναλήφθηκαν στη δυτική και κεντρική Αφρική. Οι μελέτες αφορούσαν κυρίως τη μείωση του ανεφοδιασμού ιζημάτων στην ακτή, την μείωση της ιζηματομεταφοράς

κατά μήκος της ακτής και την εκτενή παράκτια διάβρωση και υπολογίστηκε μια μείωση της τάξης του 70% των παροχών με μεγάλα εύρη κυμαινόμενων επιπτώσεων στον παράκτιο ανεφοδιασμό ύδατος και ιζημάτων (CWR, 2003). Πρόσφατες μελέτες στην Μεσόγειο δείχνουν ότι η κατασκευή περισσότερων από 3500 μικρών και μεγάλων φραγμάτων μέσα στα τελευταία 50 έτη μείωσε σημαντικότερα τις παροχές στις παράκτιες περιοχές (Σχήμα 2.8). Άλλες έρευνες στη λεκάνη απορροής της Μαύρης Θάλασσας έχουν παρουσιάσει μειώσεις 9,1% και 53,4% των ροών ύδατος και ιζημάτων αντίστοιχα, μετά από τη φράξη των ποταμών (Tsimplis et al., 2004) με σοβαρές επίσης επιπτώσεις (Tsimplis & Rixen, 2002) στην ανοιχτή θάλασσα της Ανατ. Μεσογείου. Ωκεανογραφικά, η Μεσόγειος χαρακτηρίζεται από αντι-εκβολικό (anti-estuarine) πρότυπο κυκλοφορίας στο στενό του Γιβραλτάρ. Ανάλυση ιστορικών δεδομένων δείχνουν σημαντικές θερμο-αλατικές αλλαγές στα υπο-επιφανειακά νερά που έχουν αποδοθεί στην κατασκευή φραγμάτων (Rohling & Bryden, 1992).

3. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

3.1 Χαρακτηριστικά της ευρύτερης περιοχής της Ερεσσού

3.1.1 Γεωγραφική τοποθέτηση

Ο κόλπος της Ερεσσού βρίσκεται στο ΝΑ τμήμα της νήσου Λέσβου, στο ΒΑ Αιγαίο(Σχήμα 3.1). Στα ανατολικά οριοθετείται από το ύψωμα Μεροβίλι και δυτικά από το ύψωμα Κοφινάς (Σχήμα 3.2). Ο οικισμός της Σκάλας Ερεσσού έχει μόνιμους κατοίκους περίπου 300 άτομα (απογραφή 1991), ενώ κατά τους θερινούς μήνες ο πλήθυσμός ξεπερνά τα 4000 άτομα (Ατσικπάση, 2000).



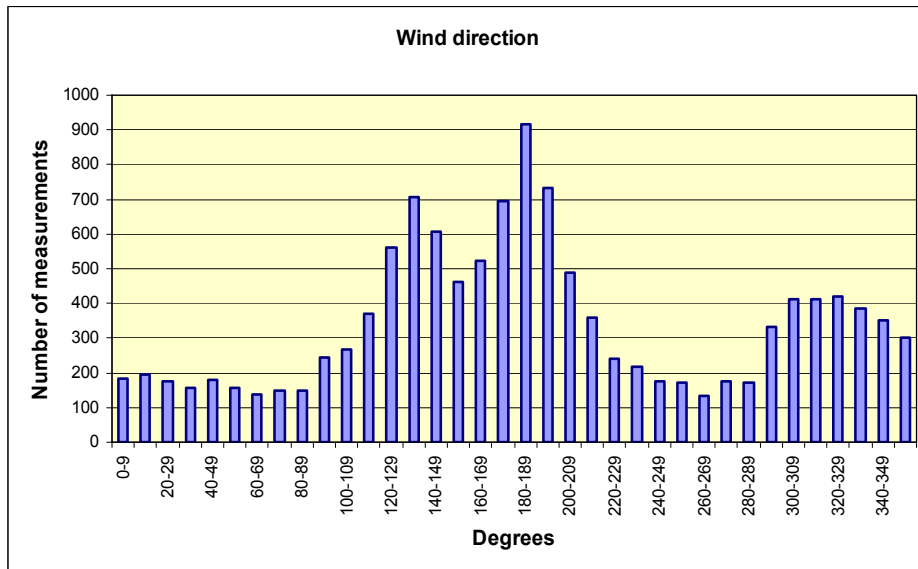
Σχήμα 3.1: Περιοχή μελέτης



Σχήμα 3.2: Ο Κόλπος Ερεσσού.

3.1.3 Κλιματολογικές συνθήκες

Το κλίμα της περιοχής είναι Μεσογειακού τύπου, με ετήσιο εύρος θερμοκρασίας $< 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, βροχοπτώσεις κατά τη διάρκεια του χειμώνα και ξηρά καλοκαίρια. Η θερμοκρασία παρουσιάζει ακραίες τιμές τους μήνες Ιανουάριο και Αύγουστο, ενώ το μέσο θερμομετρικό εύρος είναι $17\text{ }^{\circ}\text{C}$ και η μέση ετήσια θερμοκρασία $17.6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Το ύψος βροχής μεγιστοποιείται το Δεκέμβριο και ελαχιστοποιείται τον Ιούλιο. Στην περιοχή μελέτης πνέουν καθ'όλη τη διάρκεια του έτους ισχυροί ΒΑ άνεμοι ($\leq 20\text{m/s}$), ενώ συχνά πνέουν και οι λιγότερο ισχυροί ΝΑ άνεμοι ($\leq 10\text{m/s}$). Η παραλία της Ερεσσού χαρακτηρίζεται, όπως όλες οι ανοικτές ακτές του ΒΑ Αιγαίου μικρο-παλιρροιακή, με παλιρροιακά εύρη μικρότερα από 20 cm (Tsimplis, 1994) και βρίσκεται εκτεθειμένη σε ΝΑ, Ν, ΝΔ, ΔΝΔ και Δ ανέμους και κατ'επέκταση κυματισμούς (Σχήμα 3.3).

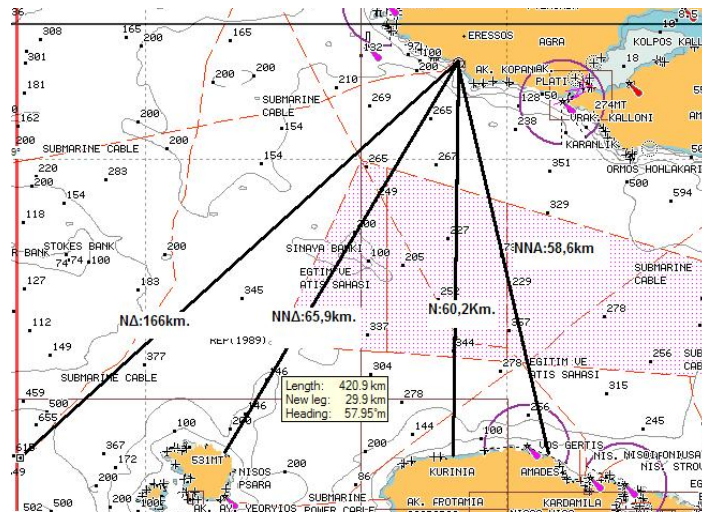


Σχήμα 3.3: Κατανομή ανέμων την περίοδο 1999-2003 (Αδαμάκης, 2005).

Στον Πίνακα 3.1 δίνεται το ανάπτυγμα των κυριοτέρων κυματισμών από τους επικρατούντες ανέμους για την παραλία της Ερεσσού, ενώ στο Σχήμα 3.4 απεικονίζεται γραφικά το ανάπτυγμα για τους ίδιους ανέμους.

Διεύθυνση ανέμων	Ανάπτυγμα
ΝΑ	58.6 Km.
Ν	60.2 Km.
ΝΝΔ	65.9 Km.
ΝΔ	166 Km.

Πίνακας 3.1: Ανάπτυγμα κυματισμών από τους επικρατούντες ανέμους



Σχήμα 3.4: Απεικόνιση του αναπτύγματος στην περιοχή της Ερεσσού ανά διεύθυνση ανέμων (Αδαμάκης, 2005).

3.1.3 Γεωμορφολογία και Λιθολογία

Η περιοχή χαρακτηρίζεται γενικά από ημιορεινό τοπίο με ήπιο λοφικό ανάγλυφο και σχετικά ήπιες μέσες κλίσεις πρανών στο κεντρικό τμήμα, ενώ τοπικά βόρεια του οικισμού της Ερεσσού οι κλίσεις είναι μεγαλύτερες. Στα χαμηλότερα τμήματα πλησίον της παραλίας (νότιο τμήμα), οι κλίσεις είναι πολύ μικρότερες και το ανάγλυφο χαρακτηρίζεται πεδινό.



Σχήμα 3.5: Κλίσεις της υδρολογικής λεκάνης Ερεσσού (Ανδρεάδης, 2005).

Η ευρύτερη υδρολογική λεκάνη της Ερεσσού έχει εμβαδόν $\sim 58 \text{ Km}^2$ και χαρακτηρίζεται από έντονες κλίσεις στα υψηλά ανάγλυφα (έως 600 m) και πεδινή καλλιεργούμενη έκταση (5 Km^2) στην παράκτια ζώνη που διασχίζεται από ένα κύριο εφήμερο υδατόρευμα (Χαλάνδρας) (Σχήμα 3.5). Στα βόρεια οριοθετείται από τον οικισμό Αντίσσης, προς το νότο από τη θάλασσα και προς τις υπόλοιπες κατευθύνσεις από διάφορες λοφοσειρές και υψώματα (Αποστολίδης, 2000).

Η περιοχή μελέτης αλλά και η ευρύτερη περιοχή της Δ. και Β. Λέσβου δομείται κυρίως από ηφαιστειακά πετρώματα διαφόρων τύπων, ενώ αντίθετα στην περιοχή της ΝΑ Λέσβου επικρατούν τα μεταμορφωμένα αλπικά πετρώματα (Κατσικάτσος, 1982). Η περιοχή μελέτης δομείται από σχηματισμούς, οι οποίοι περιγράφονται παρακάτω, από τους νεώτερους προς τους παλαιότερους (Αδαμάκης, 2005):

- **Αλλουβιακές αποθέσεις:** Αποτελούνται από ασύνδετα αργιλοαμμώδη υλικά με διάσπαρτες κροκάλες και λατύπες. Εντοπίζονται κυρίως στην περιοχή της Σκάλας Ερεσσού και εντός των κατώτερων τμημάτων των χειμάρρων της περιοχής.
- **Παράκτια ιζήματα:** Ιζήματα σχετιζόμενα με τις παράκτιες περιοχές.

- **Ηφαιστειακά υλικά–Πυροκλαστικά υλικά:** Κυρίως εστρωμένα ηφαιστειακά υλικά όπως τόφφοι (συνήθως καολινιωμένοι), τέφρα, πυροκλαστικά υλικά, συνεκτικά λατυποπαγή από λάβες και βολίδες ποικίλου μεγέθους. Καλύπτει το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής και το πάχος του σχηματισμού αυτού είναι μεγαλύτερο από 300 m.
- **Ιγκνιμπριτικά στρώματα:** Ηφαιστειακές λάβες ρυολιθικής/ρυοδακτιτικής σύστασης με μέγιστο πάχος 60 m. Τα ανώτερα τμήματα της σειράς είναι βραχώδη, με αυξημένη αντοχή και σημαντική αντίσταση στη διάβρωση. Τα κατώτερα τμήματα χαρακτηρίζονται από τοφφικό χαρακτήρα, ατελή στρώση και σκωριώδη εγκλείσματα.
- **Ηφαιστειακές λάβες ανδεσιτικής/δακτιτικής σύστασης:** Καταλαμβάνουν σημαντικό τμήμα της περιοχής μελέτης και αποτελούν την κατώτερη ενότητα λαβών. Έρχονται σε άμεση επαφή με τους ασβεστόλιθους και έχουν πάχος που υπολογίζεται σε 200-300 m.
- **Σχιστόλιθοι, κροκαλοπαγή, ασβεστόλιθοι και μετα-αργιλικόι σχιστόλιθοι Παλαιοζωικού–Τριαδικού:** Πρόκειται για σειρά από μεταμορφωμένους ψαμμιτικούς σχιστόλιθους, σχιστώδη κροκαλοπαγή και σε μικρότερο ποσοστό από φυλλίτες πλούσιους σε πορφυροβλάστες μαγνητίτη, ενώ στα ανώτερα κυρίως μέλη απαντούνται κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι. Στην περιοχή μελέτης οι ασβεστόλιθοι είναι μεμονωμένοι και έχουν μικρή επιφανειακή ανάπτυξη. Απαντούνται κυρίως στην κοιλάδα του χειμάρρου Χαλάντρα.

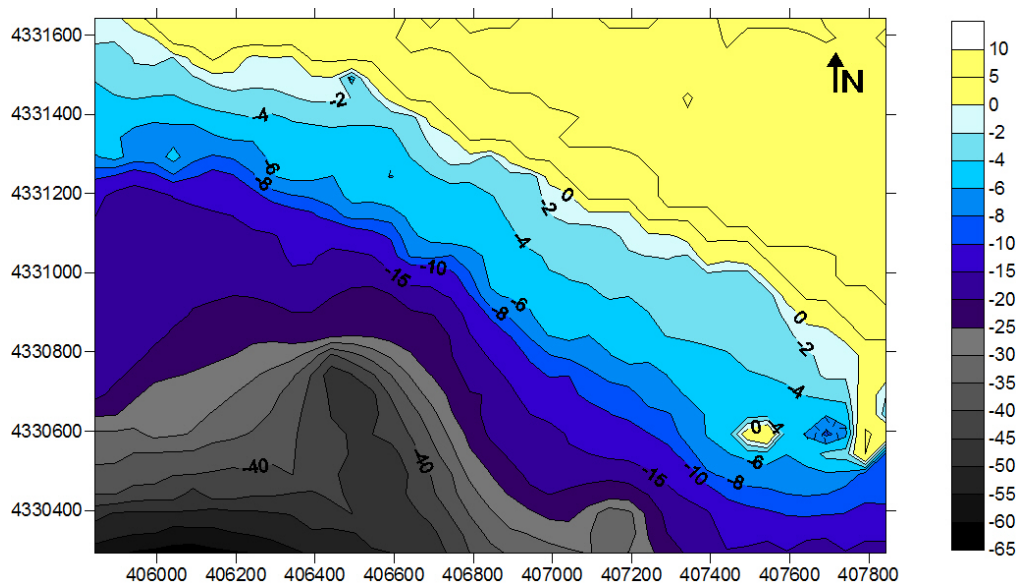
3.1.5 Μορφολογία ακτής

Η παραλία έχει κυρτό σχήμα και τα κύρια μορφολογικά χαρακτηριστικά που παρατηρούνται είναι τα εξής:

- Ύφαλοι αναβαθμοί (longshore bars). Ο ύφαλοι αυτοί βρίσκονται περίπου στο σημείο θραύσης των κυμάτων (όταν $h \approx H$). Στην παραλία της Ερεσσού σε πολλές περιπτώσεις εμφανίζονται παραπάνω από ένας ύφαλοι.
- Έξαλοι αναβαθμοί (berms). Αυτοί βρίσκονται στο χερσαίο τμήμα της παραλίας και θεωρητικά αυξάνονται κατά τους θερινούς μήνες, όταν ίζημα από τους ύφαλους αναβαθμούς μετακινείται προς τη ξηρά.

- Ημισελινοειδείς σχηματισμοί (beach cusps). Δημιουργούνται στο μέτωπο της παραλίας και εμφανίζονται πολύ συχνά στην παραλία της Ερεσσού. Ο ακριβής μηχανισμός δημιουργίας τους δεν είναι γνωστός (Komar, 1998).
- Εσωτερική παραλία (backshore). Η συμπεριφορά της εσωτερικής παραλίας, ελέγχεται κυρίως από την παράκτια αεροδυναμική και από την παρουσία ή μη θινών(dunes). Σύμφωνα με τις μαρτυρίες κατοίκων της περιοχής τα τελευταία χρόνια εκτάσεις θινών έχουν αποφιλωθεί, ενώ έχουν πραγματοποιηθεί και αμμοληψίες από την εσωτερική παραλία.

Η υποθαλάσσια παράκτια περιοχή της Ερεσσού (Σχήμα 3.6) χαρακτηρίζεται από ομαλό ανάγλυφο, με μικρές κλίσεις κοντά στην ακτή και μεγάλες κλίσεις στα ανοικτά. Η ιδιαιτερότητα της περιοχής έγκειται στην ύπαρξη μιας βραχονησίδας στα ανατολικά του κόλπου. Το βάθος παραμένει κάτω από τα 5 m σε αποστάσεις 300 – 350 m από την ακτή, ενώ αμέσως μετά το βάθος αυξάνεται απότομα, φθάνοντας τα 100 m σε λιγότερο από 1.4 km από την ακτή (Αδαμάκης, 2005).

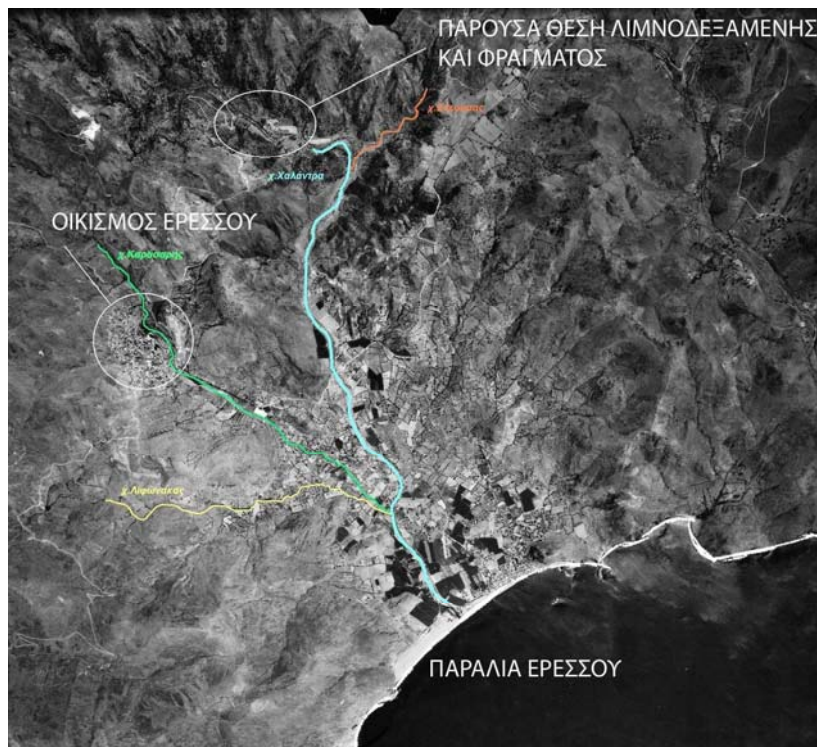


Σχήμα 3.6: Απεικόνιση της βαθυμετρίας του κόλπου της Ερεσσού (Αδαμάκης, 2005).

3.1.5 Λεκάνη απορροής και ιστορικό φράγματος

Η περιοχή διασχίζεται από δίκτυο υδατορευμάτων με τους κύριους κλάδους να έχουν γενική διεύθυνση ΒΒΑ – ΝΝΔ. Η μορφή του υδρογραφικού δικτύου θα μπορούσε

να χαρακτηριστεί ως δενδριτική (Ανδρεάδης, 2005), με το δίκτυο να καταλαμβάνει όλη την λεκάνη απορροής. Το κύριο υδατόρεμμα της λεκάνης είναι ο χείμαρρος Χαλάντρας με μήκος ~ 14 Km (με γενική B-N κατεύθυνση) , το οποίο εκβάλλει στο κεντρικό τμήμα του Κ. Ερεσσού έχοντας διασχίσει την πεδιάδα της Ερεσσού. Ο χείμαρρος Χαλάντρας αποστραγγίζει περίπου το 45% της ευρύτερης λεκάνης. Βασικοί δευτερεύοντες κλάδοι του χειμάρρου είναι ο χείμαρρος Μεθάλεια με λεκάνη απορροής 12 Km², ο χείμαρρος Καρασάρης με λεκάνη απορροής 7.4 Km², ο χείμαρρος Ελεούσας με λεκάνη απορροής 5 Km² και ο χείμαρρος Λιφωνάκας με λεκάνη απορροής 4.6 Km². Οι χείμαρροι αυτοί καταλήγουν ως επί το πλείστον στον χείμαρρο Χαλάνδρα, στα κατάντη όμως του φράγματος (Σχήμα 3.7).



Σχήμα 3.7: Αεροφωτογραφία της ευρύτερης περιοχής της λεκάνης απορροής της Ερεσσού, όπου σημειώνονται οι κύριοι χείμαρροι, το φράγμα, η λιμνοδεξαμενή, καθώς και οι οικισμοί.

Ο ταμιευτήρας της λεκάνης (Σχήμα 3.8) έχει κατασκευαστεί επί του χειμάρρου Χαλάντρα, στα ανάντη της συμβολής του με τον χείμαρρο Ελεούσας, ~2.5 Km δυτικά της Ερεσσού και περίπου 5 Km από την παραλία. Η λεκάνη απορροής του εν λόγω

ταμιευτήρα έχει έκταση $\sim 27 \text{ Km}^2$ (δηλ. το $\sim 45\%$ της έκτασης της συνολικής λεκάνης Ερεσσού), και θεωρείται ότι συμβάλλει στην αντιπλημμυρική προστασία της κατάντη περιοχής λόγω ανάσχεσης των πλημμυρικών παροχών (Αποστολίδης, 2000). Η ολική χωριτικότητα του ταμιευτήρα έχει υπολογισθεί ότι είναι $2.760.000 \text{ m}^3$ (ωφέλιμη $2.550.000 \text{ m}^3$), δηλ. ταμιεύεται ποσοστό $\sim 19.3\%$ της μέσης ετήσιας απορροής της συνολικής λεκάνης και $\sim 42\%$ της αντίστοιχης απορροής της λεκάνης τροφοδοσίας του ταμιευτήρα. Ο 'νεκρός όγκος', δηλαδή ο όγκος πίσω από το φράγμα από τον πυθμένα μέχρι το κατώφλι υδροληψίας, έχει υπολογισθεί σε 210.000 m^3 (Αποστολίδης, 2000). Το έργο, εκτός από τον αντιπλημμυρικό του ρόλο, είχε ως στόχο και την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών 3.500 στρεμμάτων γεωργικής γης της κατάντη λεκάνης Ερεσσού.

Το πρόφραγμα στήθηκε το 1997 και ολοκληρώθηκε το 1999. Το φράγμα (Σχήμα 3.9) έχει ύψος 29 m από την υφιστάμενη κοίτη του χειμάρρου και μήκος



Σχήμα 3.8: Το φράγμα Χαλάντρα, η λιμνοδεξαμενή και τμήμα της ευρύτερης λεκάνης απορροής.

στέψης 340 m. Το φράγμα είναι χωμάτινο (Σχήμα 3.9a,b) με αδιαπέρατο πυρήνα από αργιλικό υλικό και περιλαμβάνει υπερχειλιστή τοποθετημένο στο αριστερό αντέρεισμα (πλευρικό με μήκος στέψης 50 m) που οδηγεί τις πλημμυρικές παροχές κατάντη στην

κοίτη του χειμάρρου μέσω της διώρυγας πτώσης και του έργου περιορισμού ενέργειας (Σχήμα 3.9c,d). Ακόμη, υπάρχουν έργα υδροληψίας από τον ταμιευτήρα που περιλαμβάνουν το έργο εντός, τον αγωγό και το έργο εξόδου στα κατάντη του φράγματος. Το κόστος του φράγματος ανήλθε στα ~7.000.000 €.

Όσον αφορά τη στερεοπαροχή της λεκάνης απορροής, υπολογίστηκε ότι το έτος 2001 παρήχθησαν 118- 7000 τόνων ιζήματος, ενώ το 2004 μεταξύ 350 και 21000 τόνων ιζήματος (Ανδρεάδης, 2005). Οι υπολογισμοί έγιναν με την χρήση μοντέλου προσομοίωσης (GIS-based) και έδωσαν αυτά τα μεγάλα εύρη τιμών αφού έγιναν για 2 ακραία σενάρια εδαφικής σύνθεσης, δηλ. άμμου ($K=0.03$) και ιλύος ($K=0.52$) καθώς και για δυο περιπτώσεις ενέργειας (Ανδρεάδης, 2005). Θεωρείται ότι η παραγωγή ιζήματος για την συνολική λεκάνη βρίσκεται μεταξύ αυτών των ορίων και μάλιστα πλησιέστερα στα πάνω όρια αφού αυτά έχουν υπολογιστεί από δεδομένα προσομοιωμένης καταγιδικής βροχής, για να προσεγγίσει τις πραγματικές συνθήκες.



Σχήμα 3.9: Το φράγμα Χαλάντρα και η λιμνοδεξαμενή (a και b), ο υπερχειλιστής και το έργο περιορισμού ενέργειας (c, d).

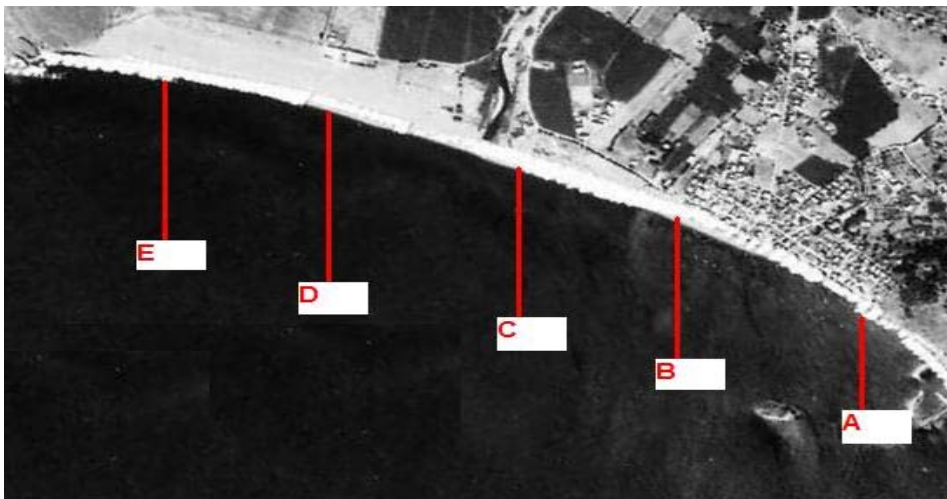
Τα παραγόμενα ιζήματα από το φραγμένο κομμάτι της λεκάνης ήταν μεταξύ 52 και 55% της συνολικής παραγωγής ιζήματος, ενώ η λεκάνη απορροής του φράγματος κατέχει μικρότερη από τη μισή έκταση της ευρύτερης υδρολογικής λεκάνης της Ερεσσού. Η μεγαλύτερη συνεισφορά σε ίζημα οφείλεται στο έντονο ανάγλυφο της λεκάνης του φράγματος που προσδίδει έντονες κλίσεις στην περιοχή αυτή, παράγοντας καθοριστικός για την εδαφική διάβρωση.

4. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Συλλογή Δεδομένων

4.1.1 Συλλογή τοπογραφικών δεδομένων.

Για την μελέτη της μορφοδυναμικής της παραλίας, έγιναν τοπογραφικές αποτυπώσεις στους σταθμούς ΣΔ1-ΣΔ5 (Σχήμα 4.1), με τη βοήθεια χωροβάτη του ΤΕΘ(Σχήμα 4.2). Η τοπογραφική αποτύπωση πραγματοποιήθηκε 5 φορές στους ίδιους σταθμούς. Οι πρώτες τομές πάρθηκαν στα τέλη Σεπτεμβρίου 2004, οι δεύτερες τομές στα μέσα του Ιανουαρίου του 2005, οι τρίτες στις αρχές του Ιουλίου 2006, οι τέταρτες και τελευταίες στις αρχές του Δεκεμβρίου του 2006. Η πρώτη τοπογραφική τομή (ΣΔ1) τοποθετείται στο ανατολικό άκρο της παραλίας (περίπου 130 m από το λιμενικό καταφύγιο της Ερεσσού), η δεύτερη (ΣΔ2) στο δυτικό άκρο των παραλιακών κτισμάτων του συνοικισμού (430 m στα δυτικά της πρώτης), η τρίτη (ΣΔ3) στα ανατολικά της εκβολής του Χαλάνδρα (σε απόσταση περίπου 150 m απ' αυτόν και 350 m δυτικά από το ΣΔ2), η τέταρτη δυτικά του Χαλάνδρα (σε απόσταση 140 m από την εκβολή και 300 m δυτικά του προφίλ ΣΔ3). Τέλος, η τελευταία τοπογραφική τομή λήφθηκε κοντά στο δυτικό άκρο της παραλίας περίπου 190 m από το ακρωτήριο και σε απόσταση 440 m από το προφίλ ΣΔ4.



Σχήμα 4.1: Θέση των σταθμών ΣΔ1-ΣΔ5.

Τον Ιούλιο και τον Δεκέμβριο του 2006 πάρθηκε μία επιπλέον τομή 8 m δεξιά από τον τοίχο που ορίζει το bar Parasol (μεταξύ ΣΔ1 και ΣΔ2). Για την τοπογραφική αποτύπωση τοποθετήθηκαν σταθερά σημεία στο ύψος του δρόμου ή από άλλα σταθερά σημεία όπου δεν ήταν δυνατή η χρήση του δρόμου ως σημείου αναφοράς..



Σχήμα 4.2: Χωροβάτης ΤΕΘ

4.1.2 Συλλογή ιζηματολογικών δεδομένων

Από την περιοχή μελέτης συλλέχθηκαν 40 δείγματα ιζημάτων σε τρεις χρονικές περιόδους (Ιούνιος 2004 – Σεπτέμβριος 2004 – Δεκέμβριος 2006). Τα 39 από το μέτωπο της παραλίας (28 τον Ιούνιο, 5 τον Σεπτέμβριο, 6 το Δεκέμβριο) και ένα από τον πυθμένα του φράγματος της Ερεσσού. Όλα τα δείγματα συλλέχθηκαν με μικρό φτυάρι, εκτός από το δείγμα που συλλέχθηκε από το βυθό του φράγματος, το οποίο συλλέχθηκε με αρπάγη χειρός. Τα δείγματα συλλέχθηκαν προκειμένου να πραγματοποιηθούν ιζηματολογικές αναλύσεις για να βρεθεί το μέσο μέγεθος των κόκκων και η διαβάθμιση τους για τις δύο χρονικές περιόδους.

Συγκεκριμένα τον Ιούνιο του 2004 λήφθηκαν 5 δείγματα κατά μήκος της πρώτης τοπογραφικής τομής, 5 κατά μήκος της δεύτερης τοπογραφικής τομής, 6 κατά μήκος της τρίτης, 7 κατά μήκος της τέταρτης τοπογραφικής τομής και 5 κατά μήκος της πέμπτης.

Τον Σεπτέμβριο του 2004 συλλέχθηκαν 5 δείγματα συνολικά. Το κάθε δείγμα πάρθηκε στη ζώνη διαβροχής της κάθε τοπογραφικής τομής (5 τοπογραφικές τομές-5 δείγματα). Το Δεκέμβριο του 2006 συλλέχθηκαν 6 δείγματα, το κάθε ένα στη ζώνη διαβροχής της κάθε τοπογραφικής τομής, συμπεριλαμβανομένου και της επιπλέον τομής που λήφθηκε αριστερά του μπαρ Parasol.

4.2. Ανάλυση δεδομένων

4.2.1 Ανάλυση τοπογραφικών δεδομένων

Για την απεικόνιση της τοπογραφίας της περιοχής και την παρακολούθηση της εποχιακής μεταβολής του μετώπου της παραλίας χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία που συλλέχθηκαν από τις παράκτιες τοπογραφικές τομές (ΣΔ1-ΣΔ5). Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε, αφού πρώτα ανήχθησαν ως προς την επιφάνεια της θάλασσας.

4.2.2 Ανάλυση ιζημάτων

Το κάθε ένα από τα δείγματα που συλλέχθηκαν χωρίστηκε σε τέσσερα ή δύο υποδείγματα ανάλογα με την ποσότητα του δείγματος. Τα υπο-δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν ξεπλύθηκαν με 2 : 1 απιονισμένο νερό (το κάθε ένα) για την απομάκρυνση των αλάτων και τοποθετήθηκαν σε κλίβανο στους 50 °C όπου και αφέθηκαν εκεί για ξήρανση. Καθώς τα δείγματα δεν περιείχαν μεγάλα ποσοστά ιλύος (< 2-3%) χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος ξηρού κοσκινίσματος για να βρεθούν τα ποσοστά κροκάλων και άμμου στα δείγματα. Το κάθε δείγμα τοποθετήθηκε σε δονητική συσκευή με σειρά κοσκίνων από -1ϕ έως 4ϕ , ανά 1ϕ , για διάστημα 12 λεπτών (Σχήμα 4.3).



Σχήμα 4.3: Δονητική συσκευή με σειρά κοσκίνων ΤΕΘ

Κατά την διαδικασία αυτή επιτεύχθηκε διαχωρισμός της άμμου από τις κροκάλες. Λόγω του μεγάλου ποσοστού κροκάλων ($> 18\%$), που εμφανίσθηκαν σε πολλά δείγματα, πραγματοποιήθηκε επιπλέον διαχωρισμός τους σε σειρά αυτοσχέδιων κοσκίνων $-5,6\phi$, $-4,6\phi$, $-3,2\phi$. Το βάρος της κάθε κλάσης μετρήθηκε σε αναλυτικό ζυγό τύπου *Kern GJ 3100-2M* με ακρίβεια 0.01gr. Το βάρος κάθε κλάσης προστέθηκε αθροιστικά από την μεγαλύτερη κλάση προς την μικρότερη.

Οι κοκκομετρικές παράμετροι (Folk, 1980) υπολογίστηκαν για όλα τα δείγματα, με την χρήση in house λογισμικού Parcum.

Μέθοδος Folk (γραφική μέθοδος)

Στην μέθοδο κατά Folk οι στατιστικοί παράμετροι αντλούνται γραφικά από το πλοτάρισμα της αθροιστικής καμπύλης του δείγματος και το διάβασμα της διαμέτρου που αναπαριστάται από διάφορα αθροίστικα ποσοστά (όπως πια τιμή μεγέθους κόκκων απαντάται στην ένδειξη 25% του δείγματος που σημαίνει ότι 25% της ποσότητας είναι πιο αδρή από αυτή την διάμετρο). Οι βασικές στατιστικές παράμετροι είναι:

Γραφικός μέσος (M_g): η καλύτερη γραφική μέτρηση για τον προσδιορισμό του συνολικού μεγέθους είναι ο γραφικός μέσος που δίνεται από την εξίσωση $M_g = (\phi 16 + \phi 50 + \phi 84) / 3$ ¹. Ανταποκρίνεται πολύ κοντά στο μέσο όπως υπολογίζεται από την μέθοδο των moments, ωστόσο, είναι πολύ πιο εύκολο να υπολογισθεί. Είναι καλύτερος από το μέσο (M_d) γιατί βασίζεται σε τρία σημεία και δίνει μία καλύτερη συνολικά εικόνα. Αυτή θα είναι η βασική μέτρηση του μεγέθους που χρησιμοποιήθηκε.

Περιεκτική γραφική απόκλιση (σ_g): η γραφική απόκλιση είναι καλό μέτρο για την διαβάθμιση και υπολογίζεται από την εξίσωση $\sigma_g = (\phi 84 - \phi 16) / 4 + (\phi 95 - \phi 5) / 6,6$ ¹. Αυτή η εξίσωση περιέχει το 90% της κατανομής και είναι η καλύτερη συνολική μέτρηση της διαβάθμισης.

Περιεκτική γραφική λοξότητα (Sk_g): είναι ένα μέτρο υπολογισμού της λοξότητας και δίνεται από την εξίσωση $Sk_g = (\phi 16 + \phi 84 - 2\phi 50) / 2(\phi 84 - \phi 16) + (\phi 5 + \phi 95 - 2\phi 50) / 2(\phi 95 - \phi 5)$ ¹. Αυτή η εξίσωση περιέχει το 90% της κατανομής. Αυτή είναι η καλύτερη μέτρηση λοξότητας γιατί προσδιορίζει την λοξότητα των «ουρών» της καμπύλης, όχι μόνο το κεντρικό τμήμα, και οι «ουρές» είναι όπου υπάρχουν οι πιο κρίσιμες διαφορές μεταξύ

¹ Τα $\phi 5$, $\phi 16$, $\phi 25$, $\phi 50$, $\phi 75$, $\phi 84$, $\phi 95$ είναι τα μεγέθη σε ϕ του 5%, 16%, 25%, 50%, 75%, 84%, 95%, του δείγματος.

των δειγμάτων. Είναι καθαρός αριθμός και μπορεί να πάρει αρνητικό ή θετικό πρόσημο. Δηλαδή μετράει την παρουσία παραπάνω λεπτόκοκκων (+) η χονδρόκοκκων (-) σωματιδίων στο ίζημα.

Κύρτωση (K_g): με την κύρτωση μετράμε το λόγο μεταξύ της διαβάθμισης στις «ουρές» της καμπύλης και της διαβάθμισης στο κεντρικό τμήμα. Εάν το κεντρικό τμήμα είναι καλύτερα διαβαθμισμένο από τις «ουρές» ($K_g > 1.0$) η καμπύλη θα ονομάζεται λεπτοκυρτική. Εάν οι «ουρές» είναι καλύτερα διαβαθμισμένες από το κεντρικό τμήμα ($K_g < 1.0$) η καμπύλη θα θεωρείται πλατυκυρτική. Η κύρτωση μετριέται από την εξίσωση $K_G = (\varphi_{95} - \varphi_5) / 2,44(\varphi_{75} - \varphi_{25})$. Η κύρτωση είναι επίσης καθαρός αριθμός.

Οι κατανομές των κοκκομετρικών παραμέτρων των ιζημάτων έχουν φανεί να είναι ένα πολύτιμο γεωλογικό εργαλείο. Οι ιζηματολόγοι έχουν μελετήσει αυτές τις ιδιότητες με σκοπό: (i) την αναγνώριση κάποιων υπαρχόντων σχέσεων μεταξύ αυτών των χαρακτηριστικών και συγκεκριμένα ιζηματογενών περιβαλλόντων (Folk and Ward, 1957; Friedman, 1979), (ii) την αναγνώριση κάποιας επίπτωσης στις κοκκομετρικές παραμέτρους σε σχέση με τους τρόπους μεταφοράς ιζήματος (Visser, 1969; Flemming, 1977) και (iii) να προσδιορίσουνε ατραπούς μεταφοράς ιζήματος (Pettijohn et al., 1972; McCave, 1978; McLaren, 1981; McLaren & Bowles, 1985; Gao & Collins, 1992; Velegarakis et al., 2007).

4.3 2-D Υδροδυναμικό μοντέλο

Ένα 2-D υδροδυναμικό μοντέλο (Vousdoukas et al., 2007) χρησιμοποιήθηκε προκειμένου να μελετηθούν οι παρακείμενες στην ακτή ροές και η διανομή της ενέργειας των κυμάτων κατά μήκος της παραλίας των Βατερών (Ν.Λέσβου). Το μοντέλο έχει δύο βασικές ενότητες: (α) μια ενότητα που αφορά τη διάδοση των κυμάτων και (β) μια ενότητα που εκτιμά τα κυματογενή ρεύματα καθώς και τις πιέσεις των κυμάτων/ρευμάτων στον πυθμένα κοντά στην ακτή.

Η ενότητα διάδοσης κυμάτων είναι βασισμένη στην κατευθυντική εξίσωση ενεργειακής ισορροπίας των κυμάτων, παρόμοια με αυτή που χρησιμοποιείται στο τρίτης γενιάς μοντέλο SWAN (Booij et al., 1999; Holthhuijzen et al., 2003):

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \frac{\partial c_x E}{\partial x} + \frac{\partial c_y E}{\partial y} + \frac{\partial c_\theta E}{\partial \theta} = -D \quad [4.1]$$

όπου $E(f, \theta, x, y, t)$ είναι η φασματική πυκνότητα της συχνότητας f και της κατεύθυνσης θ , σε ένα σημείο (x, y) και χρόνο t , c_x , c_y and c_θ είναι x , y και θ παράμετροι της ταχύτητας ομάδας c_g ($c_x = c_g \sin \theta$, $c_y = c_g \cos \theta$, $c_\theta = -\frac{c_g}{c} \left(\cos \theta \frac{\partial c}{\partial x} - \sin \theta \frac{\partial c}{\partial y} \right)$), όπου c είναι η ταχύτητα διάδοσης των κυμάτων και D ο διασκεδασμός της κυματικής ενέργειας λόγω της θραύσης των κυμάτων: $D = \frac{1}{4} Q_b f \rho g H_m^2$, H_m το μέγιστο ύψος κύματος H , ρ η πυκνότητα και Q_b η πιθανότητα για ένα κύμα να θραυτεί σε δεδομένο σημείο (υποτιθέμενη διανομή πιθανότητας Rayleigh): $\frac{1-Q_b}{\ln Q_b} = \left(\frac{H_{rms}}{H_m} \right)^2$. Η κυματική διάθλαση ενσωματώνεται με την αντικατάσταση του c_x , c_y και c_θ με C_x , C_y και C_θ σύμφωνα με Holthhuijzen et al. (2003).

Τα κυματογενή ρεύματα υπολογίζονται από την επίλυση των ολοκληρωμένων ως προς το βάθος δυσδιάστατων εξισώσεων συνέχειας και ορμής κυματισμούς ήπιας κλίσης:

$$\frac{\alpha_z}{a} + \frac{\partial(Uh)}{\partial x} + \frac{\partial(Vh)}{\partial y} = 0 \quad [4.2]$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + g \frac{\alpha_z}{a} = \\ & -\frac{1}{\rho h} \left(\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \right) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} \left(v_h h \frac{\partial U}{\partial x} \right) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial y} \left(v_h h \frac{\partial U}{\partial y} \right) + \frac{\tau_{sx}}{\rho h} - \frac{\tau_{bx}}{\rho h} \end{aligned}$$

[4.3]

$$\begin{aligned} & \frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + g \frac{\alpha_z}{a} = \\ & -\frac{1}{\rho h} \left(\frac{\partial S_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} \right) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} \left(v_h h \frac{\partial V}{\partial x} \right) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial y} \left(v_h h \frac{\partial V}{\partial y} \right) + \frac{\tau_{sy}}{\rho h} - \frac{\tau_{by}}{\rho h} \end{aligned}$$

[4.4]

όπου ζ είναι η μέση ανύψωση της επιφάνειας της θάλασσας, U και V οι μέσες ως προς το βάθος οριζόντιες ταχύτητες κατά μήκος των κατευθύνσεων x και y , S_{xx} , S_{yy} , S_{xy} και S_{yx} είναι οι τάσεις ακτινοβολίας (Longuet-Higgins and Stewart, 1962), h το συνολικό βάθος ($h=d+\zeta$) και ν_h ο κάθετος συντελεστής διάχυσης.

Οι διατμητικές πιέσεις του πυθμένα υπολογίζονται από (Karambas and Karathanassi, 2004):

$$\begin{aligned}\tau_{bx} &= \frac{1}{2} \rho f_{cw} \langle u_b \sqrt{u_b^2 + v_b^2} \rangle \\ \tau_{by} &= \frac{1}{2} \rho f_{cw} \langle v_b \sqrt{u_b^2 + v_b^2} \rangle\end{aligned}\quad [4.5]$$

όπου u_b και v_b είναι το σύνολο (κύμα και ρεύμα) ταχυτήτων κοντά στον πυθμένα $u_b=U+u_{wb}$, $v_b=V+v_{wb}$ (u_{wb} και v_{wb} είναι οι τροχιακές ταχύτητες κυμάτων στο κατώτατο σημείο) και f_{cw} είναι ο συνδυασμένος κύματος/ρεύματος παράγοντας τριβής του πυθμένα, σύμφωνα με:

$$f_{cw} = a_{cw} f_c + (1 - a_{cw}) f_w \quad [4.6]$$

όπου f_c και f_w είναι οι συντελεστές τριβής λόγω ρεύματος και κύματος αντίστοιχα, και a_{cw} είναι ένας συντελεστής ίσος με: $a_{cw-x} = U/(U+U_o)$ κατά μήκος της κατεύθυνσης x και του $a_{cw-y} = V/(V+U_o)$ κατά μήκος της κατεύθυνσης y , U_o και V_o είναι τα εύρη των ταχυτήτων των τροχιακών κυμάτων του πυθμένα.

Τέλος, ένας οριζόντιος συντελεστής διασποράς ν_h (Karambas και Karathanassi, 2004) χρησιμοποιείται για να λάβει υπόψη την τύρβη και για να εφαρμόσει μίξη στη ζώνη θραύσης, όπου η οριζόντια διασπορά θεωρείται σημαντικότερη από την τυρβώδη διάχυση.

4.3.1. Ψηφιοποίηση

Λήφθηκε ο τελευταίος βαθυμετρικός χάρτης από την υδρογραφική υπηρεσία Πολεμικού Ναυτικού, ο οποίος κατόπιν ψηφιοποιήθηκε σε περιβάλλον Matlab. Έτσι, δημιουργήθηκε κানাβος από Interpolation σε surfer με $dx=10$.

4.3.2. Ανεμολογικά-Κυματικά δεδομένα

Τα ανεμολογικά-κυματικά δεδομένα συλλέχθηκαν από το πρόγραμμα “Poseidon” του ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. (από το μοντέλο WAM) και προσδιορίστηκαν για συγκεκριμένο σημείο ΝΝΑ της παραλίας της Ερεσου (25.95 - 39.01). Το σημείο αυτό απέχει 13.8 km από την παραλία της Ερεσού. Οι μετρήσεις αποτυπώνονται κάθε 3 ώρες και αφορούν τα έτη 1999-2003. Ως εξερχόμενα δεδομένα του προγράμματος λήφθησαν τα παρακάτω:

- Διεύθυνση ανέμου - (σε μοίρες)
- Ταχύτητα ανέμου - (σε m/sec.)
- Σημαντικό ύψος κύματος (H_s) - (σε μέτρα.)
- Μέσο ύψος κύματος (H_{mean}) - (σε μέτρα.)
- Διεύθυνση κύματος (σε μοίρες)
- Περίοδος κύματος (Μέση-Μέγιστη) – (σε sec.)

Πίνακας, 4.1: (Αδαμάκης, 2005)

Κατεύθυνση	Ύψος κύματος (H_s)	Περίοδος κύματος (T)
S	1.7	3.5
SE	2.6	4.5
SSW	1.3	4
SW	1.5	4.2

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1 Μορφολογία της παραλίας

Η παραλία της Ερεσσού έχει κυρτό σχήμα και τα κύρια μορφολογικά χαρακτηριστικά που παρατηρούνται είναι τα εξής:

- Ύφαλοι αναβαθμοί (longshore bars). Ο ύφαλοι αυτοί βρίσκονται περίπου στο σημείο θραύσης των κυμάτων (όταν $h \approx 0.8 H$). Στην παραλία της Ερεσσού σε πολλές περιπτώσεις εμφανίζονται παραπάνω από ένας ύφαλοι (Σχήμα 5.1).



Σχήμα 5.1: Παραλία Ερεσσού- Εμφάνιση ύφαλων αναβαθμών (βέλη) κατά μήκος της παραλίας (longshore bars).

- Έξαλοι αναβαθμοί (berms). Αυτοί βρίσκονται στο χερσαίο τμήμα της παραλίας και θεωρητικά αυξάνονται κατά τους θερινούς μήνες, όταν ίζημα από τους ύφαλους αναβαθμούς μετακινείται προς τη ξηρά.
- Ημισελινοειδείς σχηματισμοί (beach cusps). Δημιουργούνται στο μέτωπο της παραλίας και εμφανίζονται πολύ συχνά στην παραλία της Ερεσσού. Ο ακριβής μηχανισμός δημιουργίας τους δεν είναι απόλυτα γνωστός (Komar, 1998).

- Εσωτερική παραλία (backshore). Η συμπεριφορά της εσωτερικής παραλίας, ελέγχεται κυρίως από την παράκτια αεροδυναμική και από την παρουσία ή μη θινών(dunes). Σύμφωνα με τις μαρτυρίες κατοίκων της περιοχής τα τελευταία χρόνια εκτάσεις θινών έχουν αποψιλωθεί, ενώ έχουν πραγματοποιηθεί και αμμοληψίες από την εσωτερική παραλία.

5.2 Μορφολογία της παραλίας

5.2.1 Εποχική αλλαγή της παραλιακής διατομής

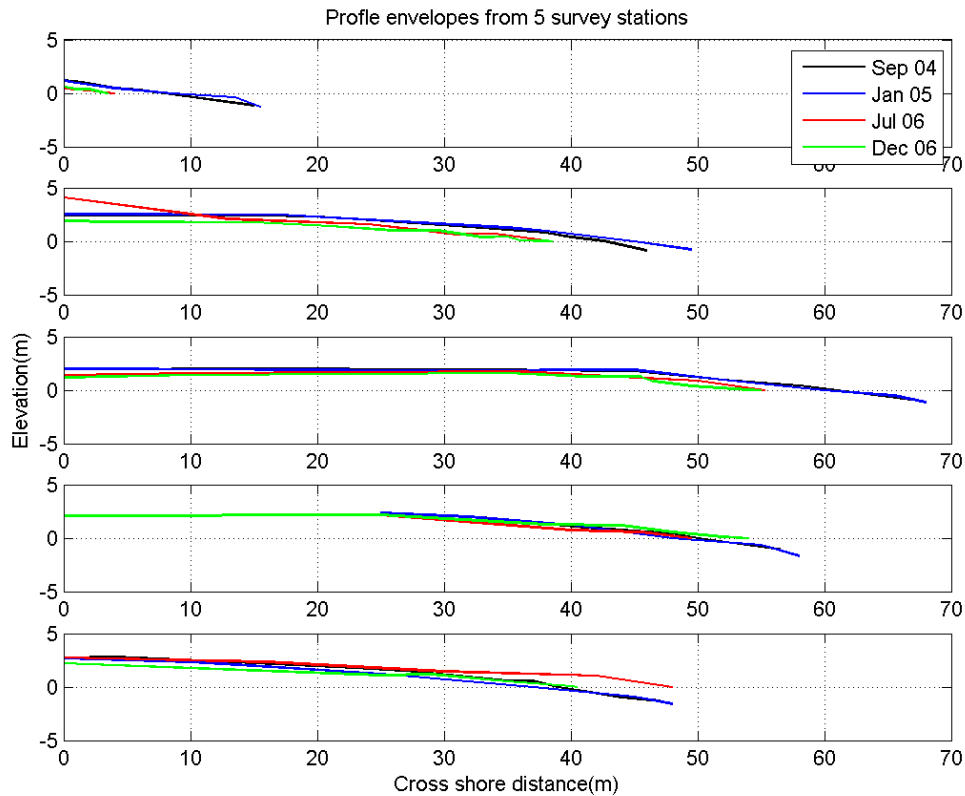
Για την μελέτη της μορφολογίας της παραλίας αλλά και την εποχιακή της μεταβολή, λήφθηκαν εποχικές τοπογραφικές τομές σε πέντε σημεία κατά μήκος της παραλίας (Σχήμα 5.2). Οι πρώτες τομές πάρθηκαν στα τέλη του Σεπτεμβρίου του 2004, οι δεύτερες στα μέσα του Ιανουαρίου του 2005, οι τρίτες στις αρχές του Ιουλίου του 2006 και οι τέταρτες και τελευταίες στις αρχές του Δεκεμβρίου του 2006.



Σχήμα 5.2: Σημεία τοπογραφικών τομών.

Σημειώνεται ότι λίγες μέρες πριν τη πρώτη και την τρίτη αποτύπωση, στην περιοχή επικρατούσαν ισχυροί ΝΔ άνεμοι. Όλες οι αποτυπώσεις έχουν σαν σημεία αναφοράς (σημείο μηδέν) σταθερά τοπογραφικά στοιχεία (παράκτιοι τοίχοι, δρόμοι κλπ).

Επιπλέον πρέπει να σημειωθεί ότι οι αποτυπώσεις όταν δεν αρχίζουν ανθρώπινες κατασκευές αρχίζουν στα σημεία που θεωρούνται παραλιακός χώρος. Δηλ. δεν αποτυπώνονται περιοχές της εσωτερικής παραλίας που έχουν ‘αποικηθεί’ από μόνιμη βλάστηση (δέντρα, φοίνικες κλπ) καθώς η παραλία στις περιοχές αυτές έχει πλέον αδρανοποιηθεί.



Σχήμα 5.3: Διαμόρφωση των προφίλ στους πέντε σταθμούς δειγματοληψίας.. Οι αρχές των αξόνων για τα προφίλ ΣΔ3, ΣΔ4 και ΣΔ5 έχουν μετακινηθεί 40, 100 και 100 m προς την ακτογραμμή από τα σταθερά σημεία αναφοράς, αντίστοιχα, για λόγους ομοιομορφίας.

Προφίλ ΣΔ1

Η πρώτη τοπογραφική τομή πάρθηκε στο ανατολικό άκρο της παραλίας και απέχει περίπου 130 μέτρα από το λιμενικό καταφύγιο της Ερεσού. Στο Σχήμα 5.3(α) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των εποχικών αποτυπώσεων.

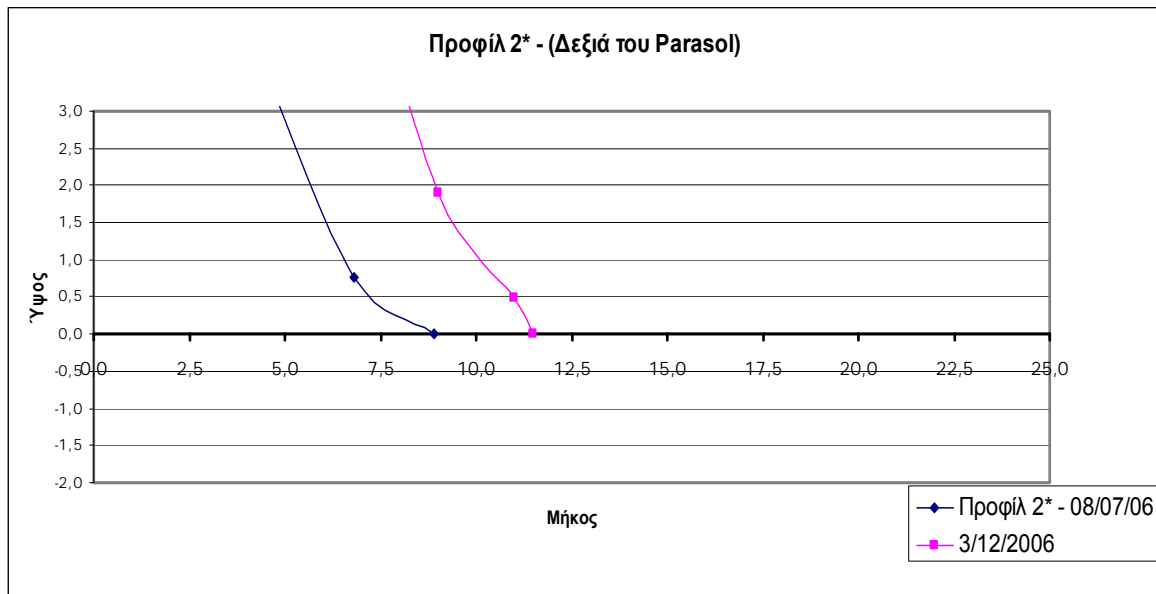
Εδώ το πλάτος της χερσαίας παραλίας, το οποίο είναι γενικά μικρό, αυξήθηκε λίγο (κατά 0.5 m) στο διάστημα μεταξύ των 2 πρώτων αποτυπώσεων, ενώ η μορφολογία της χερσαίας παραλίας άλλαξε σημαντικά. Τον Ιανουάριο του 2005 φαίνεται ότι τα

ιζήματα μετακινήθηκαν προς το ρηχό υποθαλάσσιο μέτωπο της παραλίας. Η πρώτη αποτύπωση συμφωνεί με τη δεύτερη όσον αφορά το ύψος της θαλάσσιας στάθμης, αλλά ταυτόχρονα παρατηρείται διάβρωση. Επίσης, δεν εμφανίζεται έξαλος αναβαθμός, όπως θα ήταν αναμενόμενο για τη θερινή περίοδο. Σημειώνεται ότι το άνω άκρο της παραλίας ορίζεται από ένα τοίχο που έχει κατασκευαστεί και πιθανολογείται ότι είναι υπαίτιος της εντυπωσιακής διάβρωσης που παρατηρήθηκε στην περιοχή αυτή, καθώς τα κύματα προσκρούουν με μεγάλη δύναμη πάνω του και κατά την κάθοδό τους παρασεύρουν μεγάλες ποσότητες ιζημάτων.

Γενικά στο ΣΔ1 φαίνεται ότι ενώ κατά τη διάρκεια των δύο πρώτων αποτυπώσεων στην χερσαία παραλία το ιζηματικό απόθεμα παραμένει σχεδόν σταθερό, στην τρίτη και τέταρτη αποτύπωση φαίνεται ότι έχει μειωθεί δραστικά. Τέλος είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι στην δεύτερη αποτύπωση το ίζημα της παραλίας ήταν πολύ πιο αδρόκοκκο και αποτελούνταν ως επί το πλείστον από κροκάλες.

Προφίλ ΣΔ2*

Τον Ιούλιο και Δεκέμβριο του 2006 λήφθηκε μία επιπλέον τοπογραφική τομή (Σχήμα 5.4) 8 m από τον τοίχο δυτικά του Bar Parasol, για να αποτυπώσει την εντυπωσιακή διάβρωση που παρατηρήθηκε στην περιοχή αυτή. Τα δεδομένα έδειξαν ότι το πλάτος της παραλίας ήταν περίπου 9 m ενώ δεν παρατηρήθηκε έξαλος αναβαθμός. Στην δεύτερη αποτύπωση, το πλάτος της χερσαίας παραλίας αυξήθηκε κατά 2.5 m, παρότι πάρθηκε κατά την χειμερινή περίοδο.



Σχήμα 5.4: Προφίλ ΣΔ2*

Προφίλ ΣΔ2

Η δεύτερη τοπογραφική τομή (Σχήμα 5.3(β)) πάρθηκε στο δυτικό άκρο των παραλιακών κτισμάτων του συνοικισμού 430 m στα δυτικά του πρώτου προφίλ. Το πλάτος της παραλίας εδώ έδειξε να είναι πολύ μεγαλύτερο από αυτό στην ΣΔ1 (περίπου 55 m) και φαίνεται να αυξήθηκε κατά 2.4 m μεταξύ της πρώτης και της δεύτερης αποτύπωσης. Στο ΣΔ2 φαίνεται να προστέθηκαν ιζήματα στο ιζηματικό απόθεμα της χερσαίας παραλίας τον Ιανουάριο του 2005, ενώ γενική μορφή του προφίλ δεν εμφανίστηκε αλλαγμένη. Επίσης στην δεύτερη αποτύπωση φάνηκε ότι ποσότητες ιζημάτων μεταφέρθηκαν στην περιοχή αυτή με αποτέλεσμα το βάθος να παραμένει πολύ μικρό σε αρκετή απόσταση από την ακτή. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι εμφανίστηκε ύφαλος αναβαθμός (longshore bar) πολύ κοντά στην παραλία (περίπου 10 m από το μέτωπο της παραλίας). Αξίζει να επισημανθεί ότι κατά την πρώτη αποτύπωση δεν ήταν δυνατή η λήψη δείγματος ιζήματος στα πρώτα μέτρα του υποθαλάσσιου προφίλ (4 m από το μέτωπο της παραλίας και σε βάθος 1 m) καθώς το υπόστρωμα ήταν πολύ σκληρό – συνεκτικό (πιθανότητα παρουσία beachrock). Έτσι, είναι πιθανό η μεταφορά ιζημάτων στην χερσαία παραλία να είναι επίσης αποτέλεσμα πλευρικών παροχών (littoral drift) αφού η παρουσία beachrock αποτελεί εμπόδιο στην τροφοδοσία της χερσαίας παραλίας από την υποθαλάσσια παραλία (Vousdoukas et al., 2005).

Αργότερα όμως, το πλάτος της παραλίας μειώθηκε κατά 7 m σε σχέση με την αποτύπωση του Ιανουαρίου 2005. Στην τρίτη αποτύπωση είναι ιδιαίτερα εμφανής ο έξαλος αναβαθμός, αλλά η παροχή ιζήματος φαίνεται να έχει μειωθεί σημαντικά. Η τέταρτη αποτύπωση συμφωνεί αρκετά με την τρίτη. Το γενικό σχήμα του ΣΔ2 προφίλ δεν φαίνεται να άλλαξε σημαντικά. Φαίνεται ότι περιοχή αυτή χαρακτηρίζεται από μεγάλη διάβρωση στο διάστημα Ιανουαρίου-Ιουλίου 2006.

Προφίλ ΣΔ3

Η τρίτη τοπογραφική τομή (Σχήμα 5.3(γ)) λήφθηκε ανατολικά του χειμάρρου Χαλάνδρα, σε απόσταση περίπου 150 m απ' αυτόν και 350 m δυτικά από το δεύτερο προφίλ (ΣΔ2). Η παραλία εδώ είναι αρκετά πλατιά (περίπου 60 m) και το πλάτος της μειώθηκε λίγο (κατά 1 m) μεταξύ της πρώτης και της δεύτερης αποτύπωσης, ενώ εμφανίζεται ιδιαίτερα μειωμένο (κατά 10 m) στην τρίτη και τέταρτη αποτύπωση. Στην τρίτη αποτύπωση ο έξαλος αναβαθμός φαίνεται να έχει εξομαλυνθεί. Κατά την πρώτη χειμερινή αποτύπωση (Ιανουάριος 2005) παρατηρήθηκε και διάβρωση, όπως αναμενόταν, του έξαλου αναβαθμού. Επίσης το μέτωπο της παραλίας παρουσιάζει σχετικά μεγάλη κλίση. Γενικά στο ΣΔ3 φαίνεται ότι ιζήματα έχουν αφαιρεθεί από το ιζηματικό απόθεμα της χερσαίας παραλίας τόσο από το μέτωπο της ακτής όσο και στην εσωτερική παραλία (συνδυασμός κυματικής και αιολικής δράσης). Κατά την τρίτη αποτύπωση στο ΣΔ3 παρατηρήθηκαν beach cusps.

Προφίλ ΣΔ4

Η τέταρτη τοπογραφική τομή (Σχήμα 5.3(δ)) λήφθηκε δυτικά του χειμάρρου Χαλάνδρα, σε απόσταση 140 m απ' αυτόν και 300 m δυτικά του προφίλ ΣΔ3. Εδώ το πλάτος της παραλίας μειώθηκε κατά 2 m μεταξύ της πρώτης και της δεύτερης αποτύπωσης, ενώ στην τρίτη και τέταρτη αποτύπωση φαίνεται να έχει αυξηθεί κατά 1.5 m και 6 m αντίστοιχα. Η μορφολογία της παραλίας αντίστοιχα με το προφίλ ΣΔ3 παρουσιάζει καταστροφή berm και μείωση του ιζήματος στην εσωτερική παραλία μεταξύ του χειμερινού προφίλ και των υπολοίπων. Στην τρίτη αποτύπωση εμφανίζεται πολύ καλά σχηματισμένος ο έξαλος αναβαθμός. Φαίνεται, γενικά, να παραμένει σταθερό

το ιζηματικό απόθεμα της παραλίας. Το γενικό σχήμα του προφίλ συμφωνεί μεταξύ της πρώτης και της τελευταίας αποτύπωσης.

Προφίλ ΣΔ5

Η τελευταία τοπογραφική τομή (Σχήμα 5.3(ε)) λήφθηκε κοντά στο δυτικό άκρο της παραλίας περίπου 190 m από τα βράχια και σε απόσταση 440 m από το προφίλ ΣΔ4. Μεταξύ της πρώτης και της τρίτης αποτύπωσης φαίνεται ότι το πλάτος της παραλίας έχει αυξηθεί κατά 9 m, ενώ έχει αλλάξει εμφανώς και η μορφολογία της παραλίας, με καταστροφή του έξαλου αναβαθμού (berm) και μεγάλες ποσότητες ιζημάτων να έχουν προστεθεί στο ιζηματικό απόθεμα της χερσαίας παραλίας (μπορεί όμως να υπήρξε κάποιο σφάλμα κατά τη διαδικασία λήψης των δεδομένων, καθ'ότι η μεγάλη ιζηματοπόθεση/αύξηση της χερσαίας παραλίας που παρατηρήθηκε ακατ την Τρίτη αποτύπωση προϋποθέτει αρκετά μεγάλο όγκο ιζημάτων και επιπλέον δεν είναι σε συμφωνία με τα μετέπειτα προφίλ). Το τέταρτο προφίλ διαφέρει κατά πολύ από τα τρία προηγούμενα, καθώς δείχνει μεγάλη μείωση της χερσαίας παραλίας (κατά 11 m) σε σχέση με την χειμερινή αποτύπωση και 8 m σε σχέση με την πρώτη αποτύπωση.

5.2.2 Ημισεληνοειδείς σχηματισμοί (beach cusps)

Κατά την δεύτερη αποτύπωση στο ΣΔ3 παρατηρήθηκαν beach cusps. Τα beach cusps θεωρούνται από πολλούς οι πλέον πολύπλοκοι και αινιγματικοί σχηματισμοί που παρατηρούνται στην παράκτια ζώνη (Σχήμα 5.5). Είναι ημισελινοειδούς σχήματος συσσωρεύσεις ιζήματος που χτίζονται από την δράση των κυμάτων, το σχήμα των οποίων αλλά και η ομαλότητα –ακρίβεια στη διάταξη τους προξένησαν το ενδιαφέρον πολλών ερευνητών με πρώτο τον Palmer (1834). Οι γεωμορφές αυτές, αποτελούν ακόμα ανοικτό πεδίο έρευνας, στις οποίες σύμφωνα με τον Johnson (1919) η διάβρωση της παραλίας από το ανοδικό στρώμα διαβροχής παίζει σημαντικό ρόλο (Kuenen). Σύμφωνα με τους Inman & Guza (1982) οι γεωμορφές αυτές είναι επιφανειακές εκφράσεις της υποθαλάσσιας τοπογραφίας που δημιουργείται από την κυκλοφορία των ρευμάτων/κυμάτων. Πρότειναν ότι τα ρεύματα διαφυγής τείνουν να διαβρώσουν ένα κανάλι με αποτέλεσμα την δημιουργία ενός τμηματικού υποθαλάσσιου υβώματος και ενός συστήματος ημισελινοειδών σχηματισμών, όπου τα ρεύματα διαφυγής βρίσκονται

στο κέντρο των εγκολπώσεων. Τα beach cusps μπορούν να σχηματιστούν από οποιοδήποτε είδος θαλάσσιο ίζημα, από βασαλτικές κροκάλες μέχρι συνηθισμένες χαλαζιακές και ασβεστολιθικές άμμους. Μία από πιο βασικές ιδιότητες των beach cusps είναι η ταξινόμηση των ιζημάτων που τα απαρτίζουν, βάση του μεγέθους των κόκκων. Έτσι στις κορυφές των σχηματισμών παρατηρούνται πιο αδρόκοκκα ιζήματα απ' ότι στις κοιλάτες. Ακόμα και όταν το μέγεθος των κόκκων είναι ίδιο, στις κορυφές παρατηρούνται πιο γωνιώδεις κόκκοι. Η πιο απλή εμφάνιση των beach cusps είναι μια σειρά επιμηκών ημισελινοειδών ανυψώσεων από αδρόκοκκο ίζημα (συνήθως κροκάλες) τοποθετημένο σε ασυμφωνία πάνω στο λεπτόκοκκο ίζημα του μετώπου της ακτής.



Σχήμα 5.5: Εμφάνιση beach cusps στο ΣΔ3 τον Ιανουάριο του 2005.

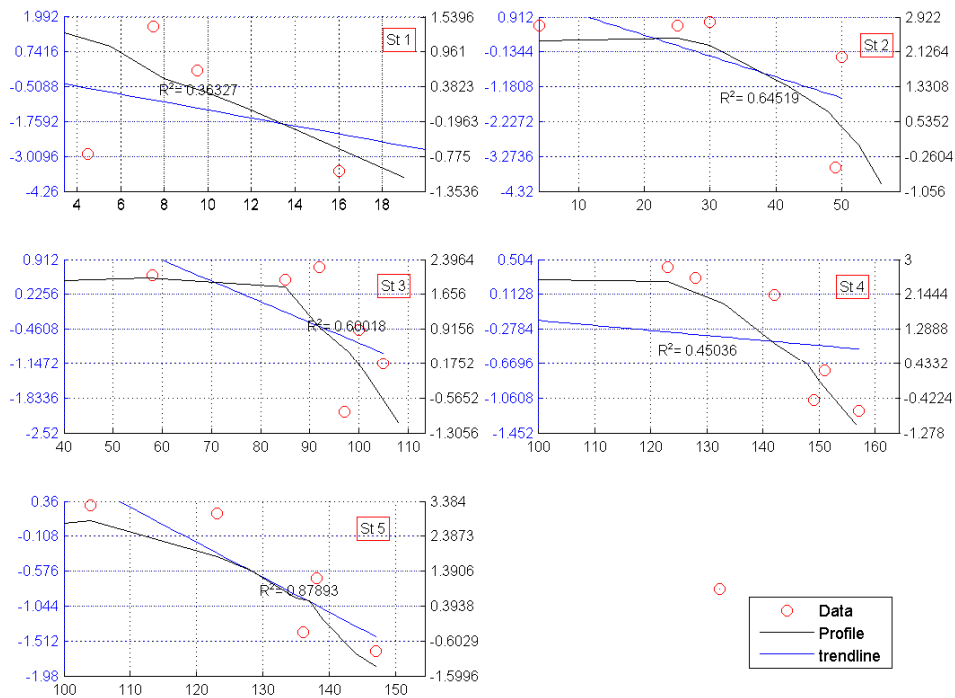
5.3 Ανάλυση τάσεων κοκκομετρικών παραμέτρων

5.3.1 Μεταβολές τάσεων κοκκομετρικών παραμέτρων κάθετα στην ακτογραμμή

Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζονται οι τάσεις των κοκκομετρικών παραμέτρων: (I), μέσο μέγεθος, (II), διαβάθμιση, (III), λοξότητα και (IV), κύρτωση κατά μήκος κάθε αποτύπωσης για τον Ιούλιο του 2004. Το St1 αντιστοιχεί στον πρώτο σταθμό δειγματοληψίας (ΣΔ1), το St2 στο δεύτερο σταθμό δειγματοληψίας (ΣΔ2), το St3 στον

τρίτο σταθμό δειγματοληψίας (ΣΔ3), το St4 στον τέταρτο σταθμό δειγματοληψίας (ΣΔ4) και τέλος, το St5 στον πέμπτο σταθμό δειγματοληψίας (ΣΔ5).

(I) Μέσο μέγεθος



Σχήμα 5.6: Μέσο μέγεθος για τους πέντε σταθμούς δειγματοληψίας

Από το Σχήμα 5.5 φαίνεται πως το μέσο μέγεθος για τον πρώτο σταθμό δειγματοληψίας (St1) εμφανίζει αναμενόμενη κατανομή (Bird, 2000), δηλαδή στην επάνω παραλία παρατηρείται σχετικά αδρόκοκκο ίζημα και στη συνέχεια λεπτόκοκκο. Στον έξαλο αναβαθμό, το ίζημα εμφανίστηκε αρκετά χονδρόκοκκο, όπως αναμενόταν, ενώ στη ζώνη διαβροχής είναι περισσότερο λεπτόκοκκο. Κατά μήκος της δεύτερης τομής (St2) το ίζημα εμφανίζεται σχετικά λεπτόκοκκο στην εσωτερική παραλία έως και το berm, πολύ αδρόκοκκο στη ζώνη διαβροχής και περισσότερο λεπτόκοκκο στα πρώτα μέτρα του υποθαλάσσιου προφίλ.

Στην τρίτη τομή (St3) παρατηρούνται σχετικά λεπτόκοκκα ιζήματα στην επάνω παραλία, ενώ στον έξαλο αναβαθμό το ίζημα γίνεται αρκετά χονδρόκοκκο, όπως

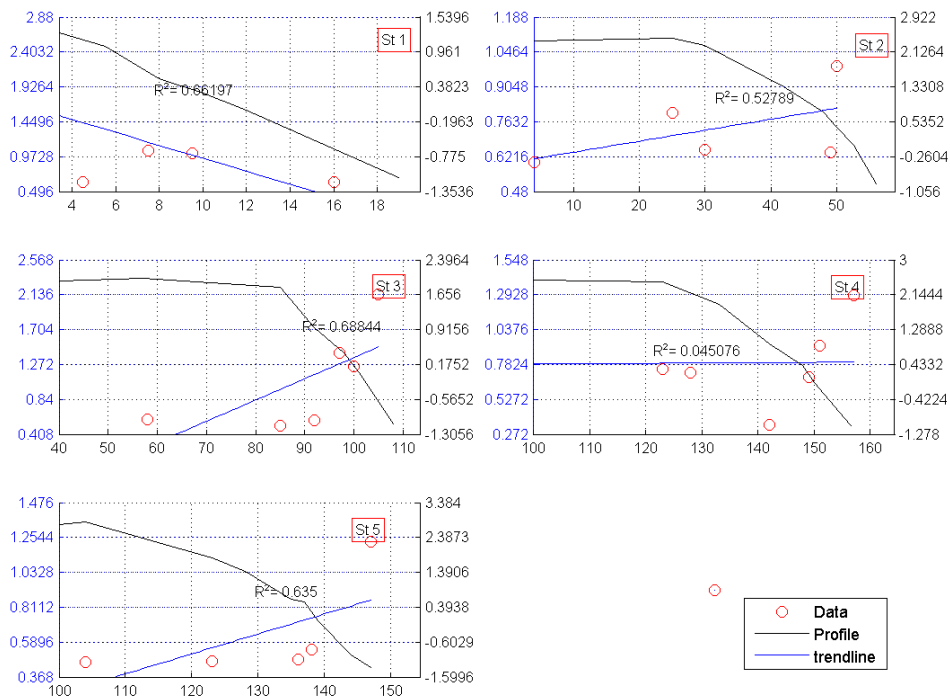
αναμενόταν. Στην swash zone παρουσιάζεται και πάλι σχετικά λεπτόκοκκο υλικό. Τα ιζήματα στην τέταρτη τομή (St4) φαίνεται να είναι λεπτόκοκκα από την εσωτερική παραλία και μέχρι πριν τον έξαλο αναβαθμό, όπου και εμφανίζονται σχετικά αδρόκοκκα. Στη ζώνη διαβροχής το ίζημα γίνεται λίγο πιο λεπτόκοκκο σε σχέση με το berm. Περίπου 10 m από τη swash zone και προς την ανοιχτή θάλασσα, το ίζημα εμφανίζεται χονδρόκοκκο, ενώ βαθύτερα στη θάλασσα ο πυθμένας χαρακτηρίζεται από λεπτόκοκκα ιζήματα (δεν σημειώνονται φαίνονται στο Σχήμα 5.6).

Τέλος, στον σταθμό St5 τα ιζήματα στην εσωτερική παραλία είναι πιο λεπτόκοκκα σε σχέση με το berm, όπου εμφανίζονται σχετικά χονδρόκοκκα ιζήματα. Στη ζώνη διαβροχής παρατηρούνται σχετικά λεπτόκοκκα ιζήματα, ενώ λίγα μέτρα εσωτερικά στη θάλασσα το ίζημα γίνεται πιο αδρόκοκκο. Γενικά, φαίνεται μία τάση ελάττωσης του μεγέθους στην κλίμακα του φ, άρα αύξησης της κοκκομετρίας από τη εσωτερική παραλία προς την θάλασσα, όπως θα αναμενόταν σε μία παραλία με σημαντική υδροδυναμική (και αεροδυναμική) (Bird, 2000).

II) Διαβάθμιση

Τα ιζήματα στον St1 εμφανίζουν μία τάση βελτίωσης της διαβάθμισης από την πάνω παραλία προς τη ζώνη διαβροχής, ενώ στο δεύτερο σταθμό δειγματοληψίας (St 2) η διαβάθμιση βελτιώνεται από τη ζώνη διαβροχής προς την επάνω παραλία. Η διαβάθμιση στην τρίτη τομή (St3) δείχνει επίσης σαφή βελτίωση από τη ζώνη διαβροχής προς την επάνω παραλία.

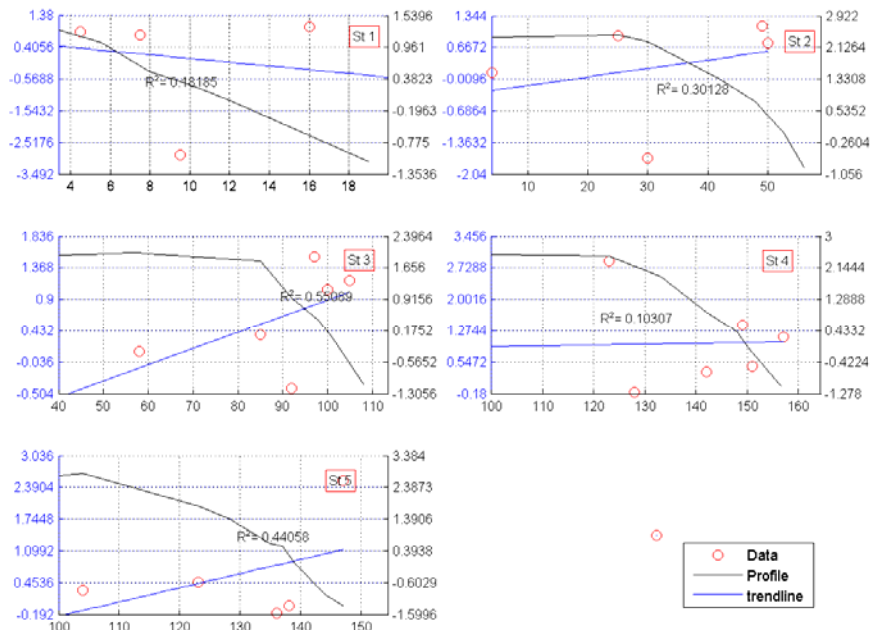
Όσον αφορά τη διαβάθμιση στον τέταρτο σταθμό δειγματοληψίας (St4), αυτή δείχνει σχετικά σταθερή σε όλο το πλάτος της παραλίας (με εξαίρεση) την περιοχή του έξαλου αναβαθμού. Η διαβάθμιση των ιζημάτων για την τομή (St5) είναι καλή για όλα τα σημεία δειγματοληψίας πλην του τελευταίου.



Σχήμα 5.7: Διαβάθμιση για τους πέντε σταθμούς δειγματοληψίας

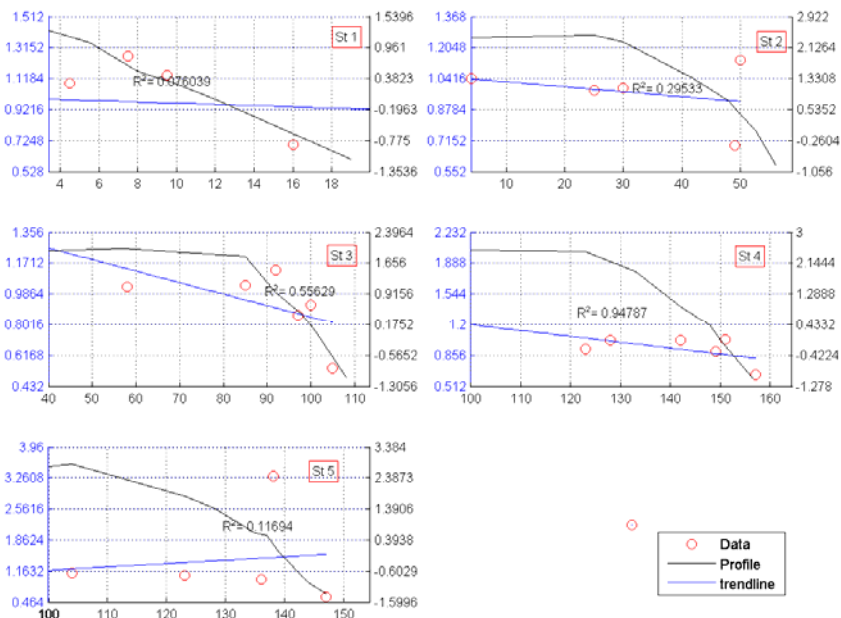
(III) Λοξότητα

Όσον αφορά τον πρώτο σταθμό δειγματοληψίας (St1) στο Σχήμα 5.7 φαίνεται καθαρά η παρουσία παραπάνω λεπτόκοκκων σωματιδίων στο ίζημα (στην 'ουρά'), αν εξαιρεθεί το 3^ο δείγμα (α3). Στο δεύτερο σταθμό (St2), φαίνεται να κυριαρχούν τα λεπτόκοκκα ιζήματα με μια εξαίρεση επίσης το 3^ο δείγμα (β3). Η λοξότητα στην τρίτη τοπογραφική τομή (St3) εμφανίζει επίσης τάση προς λεπτόκοκκη 'ουρά'. Από τις θετικές τιμές της λοξότητας για τον τέταρτο σταθμό δειγματοληψίας και με εξαίρεση το 2^ο δείγμα (δ2), γίνεται επίσης εμφανής η παρουσία παραπάνω λεπτόκοκκων σωματιδίων στα δείγματα. Τέλος, το γράφημα της λοξότητας για την πέμπτη τοπογραφική τομή (St5) δείχνει ότι στο δείγμα υπάρχει σημαντική λεπτόκοκκη 'ουρά'.



Σχήμα 5.8: Λοξότητα για τους πέντε σταθμούς δειγματοληψίας

(IV) Κύρτωση

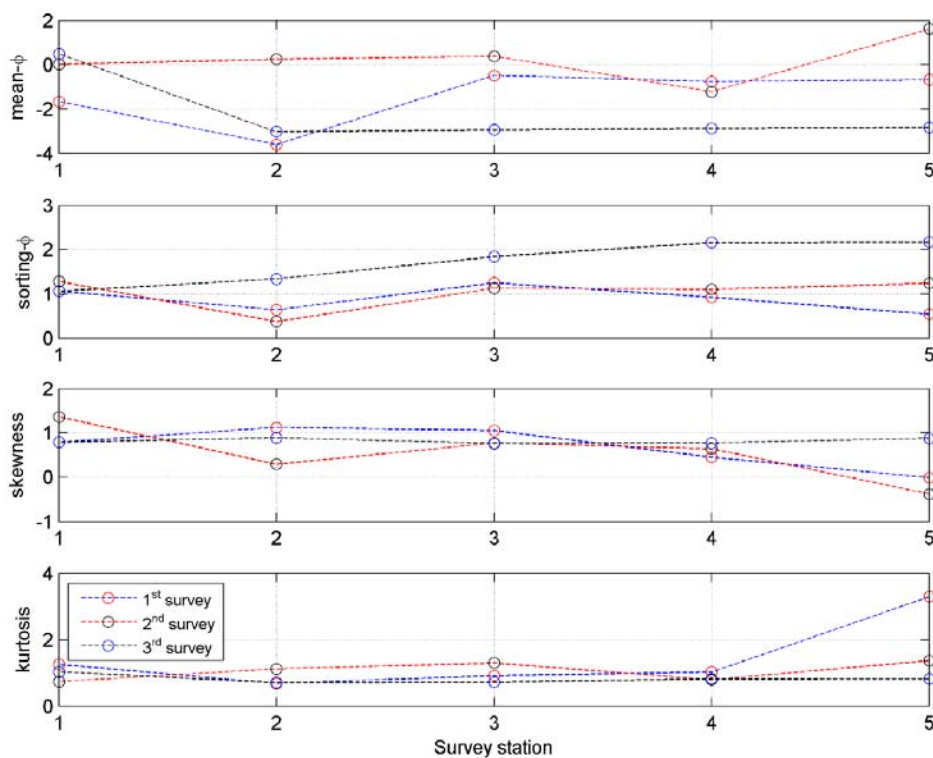


Σχήμα 5.9: Κύρτωση για τους πέντε σταθμούς δειγματοληψίας

Γενικά, εμφανίζεται μείωση της κύρτωσης από την εσωτερική παραλία προς την θάλασσα σε όλα τα προφίλ εκτός από το προφίλ St5, στο οποίο όμως ο συντελεστής συσχέτισης έχει μικρή τιμή.

5.3.2 Μεταβολές τάσεων κοκκομετρικών παραμέτρων παράλληλα στην ακτογραμμή

Στο Σχήμα 5.10 φαίνονται οι τάσεις των κοκκομετρικών παραμέτρων στην swash zone παράλληλα προς την ακτογραμμή για τις 3 περιόδους δειγματοληψίας (βλ. Κεφ. 4): πρώτη δειγματοληψία (05/07/04), δεύτερη δειγματοληψία (29/09/04), και τρίτη δειγματοληψία (03/12/06).



Σχήμα 5.10. Τάσεις κοκκομετρικών παραμέτρων για τρεις διαδοχικές δειγματοληψίες κατά μήκος της παραλίας. 1η δειγματοληψία Ιούλιος 2004, 2^η δειγματοληψία Σεπτέμβριος 2004 και 3^η δειγματοληψία Δεκέμβριος 2006. Υπενθυμίζεται ότι η κατεύθυνση ΣΔ1-ΣΔ5 είναι από Α προς Δ.

Όσον αφορά την πρώτη δειγματοληψία, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι τον Ιούλιο του 2004 τα παραλιακά ιζήματα της ζώνης διαβροχής (swash zone) των σταθμών ΣΔ3-ΣΔ5 χαρακτηρίζονται από ομοιόμορφο μέσο μέγεθος (μεσόκοκκα-αδρόκοκκα ιζήματα), ενώ τα ιζήματα του ανατολικού άκρου της παραλίας χαρακτηρίζονται από περισσότερο αδρόκοκκα ιζήματα (ιδιαίτερα στον σταθμό St2). Η εικόνα αυτή αλλάζει σημαντικά στην 2^η δειγματοληψία. Το Σεπτέμβριο 2004, η κοκκομετρία των ιζημάτων φαίνεται να έχει αλλάξει σημαντικά, με τα ιζήματα του ανατολικού τμήματος της παραλίας να δείχνουν σημαντική μείωση του μέσου μεγέθους (πιθανόν λόγω της απόθεσης λεπτόκοκκου υλικού από τους εποικοδομητικούς θερινούς κυματισμούς. Τέλος, κατά την διάρκεια της τελευταίας δειγματοληψίας, το μέσο μέγεθος δείχνει σαφή αύξηση, με τα ιζήματα στους περισσότερους σταθμούς να είναι πολύ περισσότερο αδρόκοκκα.

Η διαβάθμιση επίσης δεν παρουσίασε σαφείς τάσεις παράλληλα προς την ακτή, εκτός ίσως κατά την 3^η δειγματοληψία, που έδειξε σαφή καλυτέρευση από Δ προς τα Α. Όσο αφορά τις άλλες κοκκομετρικές παραμέτρους (λοξότητα και κύρτωση) και αυτές δεν παρουσίασαν σαφείς τάσεις κατά μήκος της παραλίας, με την κύρτωση να παραμένει σχετικά σταθερή κατά μήκος του μεγαλύτερου μέρους της παραλίας (εκτός του σταθμού St5).

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η παράκτια ιζηματική κυκλοφορία στην παραλία της Ερεσσού είναι πολύπλοκη και δεν μπορεί να αποσαφηνισθεί με δειγματοληψίες χαμηλής χωρικής διακριτικότητας, όπως αυτές της παρούσας μελέτης (π.χ. Masselink, 1992). Φαίνεται ότι η παραλία χωρίζεται σε διαφορετικά υπο-κύτταρα ιζηματικής κυκλοφορίας, με την εκβολή του ποταμού Χαλάνδρα να παίζει σημαντικό ρόλο, όπως δείχνουν και τα αποτελέσματα των κοκκομετρικών τάσεων, αφού σε κάποιες δειγματοληψίες διαφαίνονται σημαντικές διαφορές στις τάσεις μεταξύ των σταθμών St1-St3 και St4-St5 (Σχήμα 5.10). Εναλλακτικά, η μη σαφής εικόνα των τάσεων μπορεί να οφείλεται στην διαφορετική επίδραση που έχει η κάθετη προς την ακτή ιζηματική κυκλοφορία στα διαφορετικά τμήματα της παραλίας Ερεσσού.

5.6 2-D Υδροδυναμικό μοντέλο

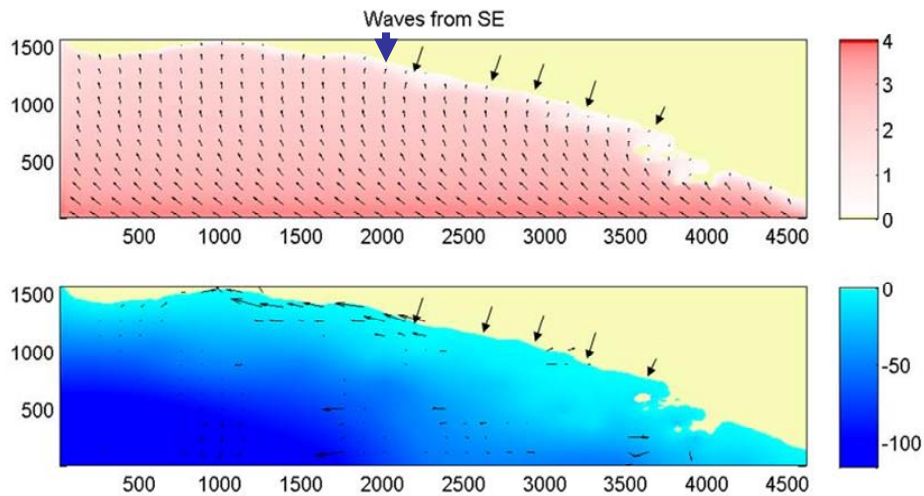
Το μοντέλο χρησιμοποιήθηκε για να μελετηθούν οι παρακείμενες στην ακτή ροές (και συνεπώς η παράλληλη στην ακτή ιζηματομεταφορά) κατά μήκος της παραλίας της Ερεσσού (Σχήμα 5.11).



Σχήμα 5.11. Αεροφωτογραφία της παραλίας Ερεσσού (Αδαμάκης, 2005).

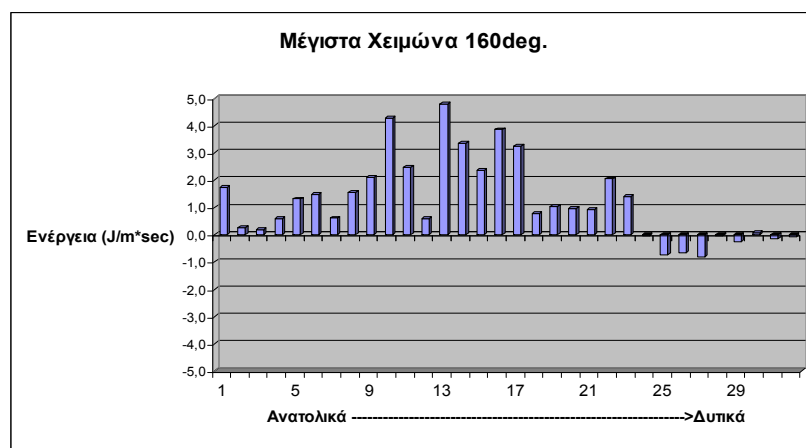
Στα παρακάτω σχήματα (Σχήματα 5.12, 5.14 , 5.15 , 5.16) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του υδροδυναμικού μοντέλου, που σχετίζονται με τις επικρατούσες ανεμολογικές/κυματικές συνθήκες ανοικτής θάλασσας της περιοχής (Πίνακας 4.1).

Στην περίπτωση ΝΑ κυματισμών το μοντέλο δείχνει ότι τα κύματα υπόκεινται σε σημαντική διάθλαση και μείωση του κυματικού τους ύψους πλησίον της ακτής. Όσον αφορά τα κυματογενή ρεύματα, αυτά βρέθηκαν να έχουν γενικά δυτική κατεύθυνση. Όμως, το μοντέλο αντιμετώπισε προβλήματα στο ανατολικό τμήμα της περιοχής λόγω της παρουσίας της μικρής βραχονησίδας (Σχήμα 5.11), η οποία δεν επέτρεψε τον υπολογισμό των κυματογενών ρευμάτων στην παραλία. Το πρόβλημα θα μπορούσε να λυθεί αυξάνοντας την ανάλυση του κανάβου, όμως σε αυτήν την περίπτωση το αριθμητικό σχήμα επίλυσης εμφανίζει αστάθειες. Επειδή τα κύματα από αυτή της κατεύθυνση είναι τα ισχυρότερα και μπορούν να είναι εξαιρετικά σημαντικά για την παράκτια ιζηματομεταφορά, παρατίθενται επίσης τα αποτελέσματα του απλούστερου, γραμμικού κυματικού μοντέλου RCPWAVE (Σχήμα 5.13) που είχε ‘τρέξει’ για την ίδια περιοχή και για τις ίδιες συνθήκες (Αδαμάκης, 2005).



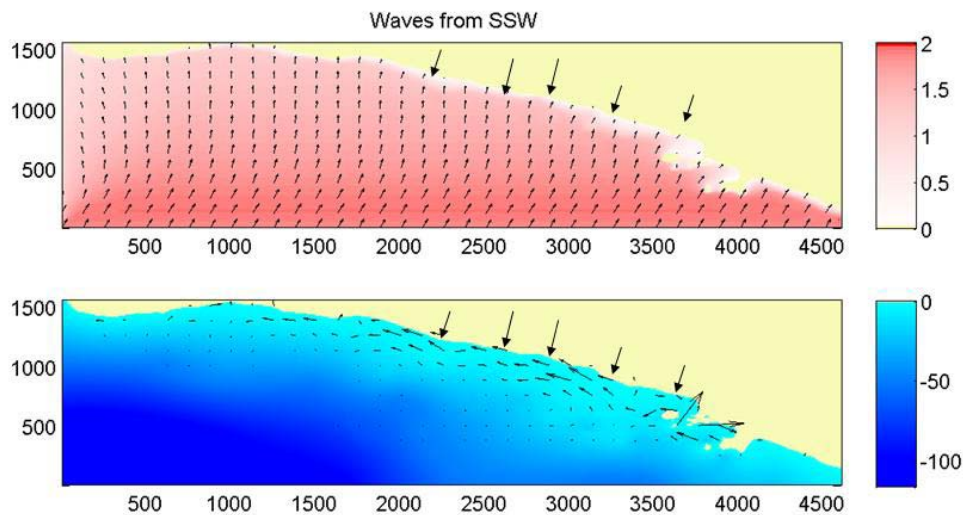
Σχήμα 5.12. Κυματική διάθλαση και κυματογενή ρεύματα για ΝΑ διεύθυνση κυματισμών (βλ. Πίνακα 4.1 για ύψος στην ανοικτή θάλασσα). Το κυματικό ύψος και η βαθυμετρία δίνονται στις παράπλευρες κλίμακες, ενώ οι θέσεις των τοπογραφικών προφίλ σημειώνονται στον με βέλη. Σημείωση: Η παραλία καταλαμβάνει μόνον το ανατολικό τμήμα του σχήματος αφού το μοντέλο απαιτούσε την μελέτη ευρύτερης περιοχής για να δώσει σωστά αποτελέσματα (το δυτικό άκρο της παραλίας δίνεται από το ευρύ κυανό βέλος).

Τα αποτελέσματα του RCPWAVE δείχνουν την παρουσία σημαντικής παράκτιας κυματικής ενέργειας στην παραλία της Ερεσσού (ιδιαίτερα στο κεντρικό της τμήμα), με γενική ροή από τα ανατολικά προς τα δυτικά.



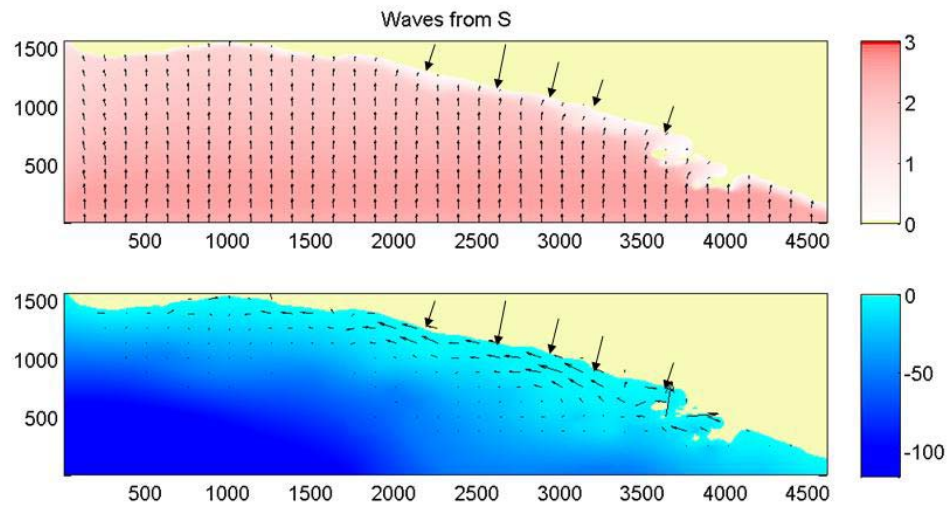
Σχήμα 5.13. Ροή παράκτιας κυματικής ενέργειας στην παραλία της Ερεσσού (θετικές τιμές Α προς Δ). Σημείωση: Το διάγραμμα αναφέρεται στο μήκος της παραλίας της Ερεσσού (Αδαμάκης, 2005).

Για ΝΝΔ κυματισμούς (Σχήμα 5.14), το υδροδυναμικό μοντέλο έδειξε την παρουσία ασθενέστερων κυματισμών στην παράκτια περιοχή. Το μοντέλο έδειξε την παρουσία δυτικών κυματογενών ροών στην παραλία της Ερεσσού, οι οποίες πρέπει επίσης να σχετίζονται με παράλληλη προς την ακτή μεταφορά ιζημάτων από το ανατολικό/κεντρικό τμήμα της παραλίας προς το δυτικό. Στο ανατολικό τμήμα της παραλίας της Ερεσσού, η βραχονησίδα και το αλιευτικό καταφύγιο επίσης φαίνονται να παίζουν καθοριστικό ρόλο, δημιουργώντας ένα πολύπλοκο σύστημα περιθλάσεων-διαθλάσεων που ελέγχουν τα κυματογενή ρεύματα της περιοχής αυτής.



Σχήμα 5.14. Κυματική διάθλαση και κυματογενή ρεύματα για ΝΝΔ διεύθυνση κυματισμών (βλ. Πίνακα 4.1 για ύψος στην ανοικτή θάλασσα). Το κυματικό ύψος και η βαθυμετρία δίνονται στις παράπλευρες κλίμακες, ενώ οι θέσεις των τοπογραφικών προφίλ σημειώνονται στον με βέλη. Σημείωση: Η παραλία καταλαμβάνει μόνον το ανατολικό τμήμα του σχήματος (βλ. Σχήμα 5.12).

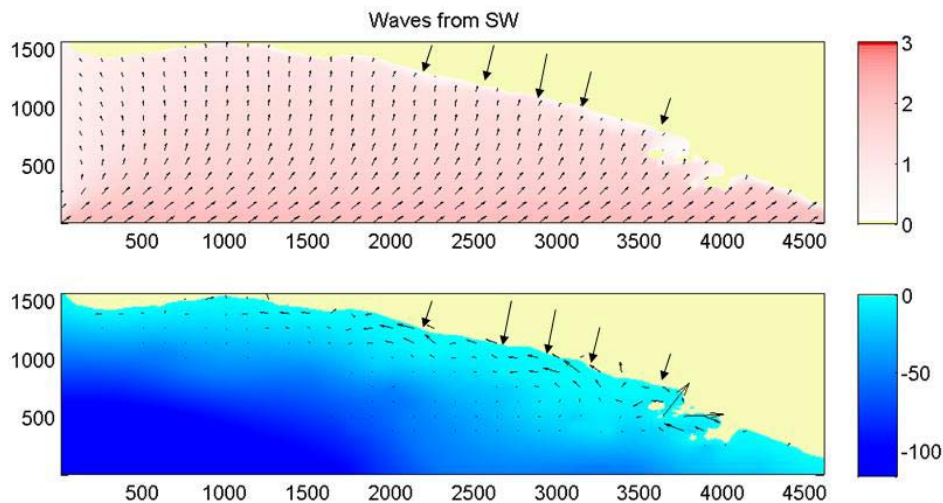
Όσον αφορά νότιους κυματισμούς (Σχήμα 5.15), το μοντέλο έδειξε ότι οι κυματισμοί υπόκεινται σε μικρή σχετικά διάθλαση. Τα παράλληλα προς την ακτή ρεύματα φαίνεται ότι είναι επίσης σημαντικά, έχοντας διεύθυνση από τα ανατολικά προς τα δυτικά για όλο το μήκος της παραλίας, εκτός ίσως από το ανατολικό άκρος της παραλίας (πλησίον του Αλιευτικού Καταφυγίου) όπου η διεύθυνση της ροής φαίνεται ότι αναστρέφεται.



Σχήμα 5.15. Κυματική διάθλαση και κυματογενή ρεύματα για Ν διεύθυνση κυματισμών (βλ. Πίνακα 4.1 για ύψος στην ανοικτή θάλασσα). Το κυματικό ύψος και η βαθυμετρία δίνονται στις παράπλευρες κλίμακες, ενώ οι θέσεις των τοπογραφικών προφίλ σημειώνονται στον με βέλη. Σημείωση: Η παραλία καταλαμβάνει μόνον το ανατολικό τμήμα του σχήματος (βλ. Σχήμα 5.12).

Η μεταφορά των ιζημάτων στο παραπάνω διάγραμμα δεν εμφανίζεται το ίδιο έντονη με τις δύο προηγούμενες περιπτώσεις. Εδώ παρατηρείται κάποια ήπιας μορφής μεταφορά από τα ανατολικά -μετά την περιοχή έως την οποία λαμβάνουν χώρα φαινόμενα περίθλασης-διάθλασης λόγω της ύπαρξης της βραχονησίδας- προς τα δυτικά, χωρίς αυτή να γίνεται αισθητή στο δυτικό άκρο. Όσον αφορά την κατανομή της ενέργειας, η τελευταία αυξάνεται από το δυτικό προς το ανατολικό τμήμα της παραλίας και λαμβάνει μέγιστες τιμές εκατέρωθεν της βραχονησίδας.

Για ΝΔ κυματισμούς (Σχήμα 5.16), το μοντέλο έδειξε ότι η υπάρχει ένονη διάθλαση στην παράκτια ζώνη, η οποία δημιουργεί ασθενείς κυματογενείς ροές. Φαίνεται ότι υπάρχει διαίρεση και αναστροφή της ροής (flow reversal) στο ανατολικό τμήμα της παραλίας (μεταξύ των σταθμών ΣΔ1 και ΣΔ2), λόγω φαινομένων περίθλασης-διάθλασης από την βραχονησίδα, η οποία μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις στην παραλιακή ιζηματομεταφορά (littoral drift diversion) και διάβρωση (Velegrakis et al., 2007).



Σχήμα 5.16. Κυματική διάθλαση και κυματογενή ρεύματα για ΝΔ διεύθυνση κυματισμών (βλ. Πίνακα 4.1 για ύψος στην ανοικτή θάλασσα). Το κυματικό ύψος και η βαθυμετρία δίνονται στις παράπλευρες κλίμακες, ενώ οι θέσεις των τοπογραφικών προφίλ σημειώνονται στον με βέλη. Σημείωση: Η παραλία καταλαμβάνει μόνον το ανατολικό τμήμα του σχήματος (βλ. Σχήμα 5.12).

Τα παραπάνω αποτελέσματα φαίνονται να συμφωνούν γενικά με αυτά του Αδαμάκη (2005), ο οποίος μελέτησε την κατανομή της παράκτιας κυματικής ενέργειας στην παραλία της Ερεσσού με την βοήθεια του απλού γραμμικού κυματικού μοντέλου διάθλασης/περίθλασης RCPWAVE (Ebersole et al., 1986).

5.7 Σύνθεση αποτελεσμάτων

Η παραλία της Ερεσσού μπορεί να χαρακτηριστεί ως ‘παραλία τσέπης’, έχει κυρτό σχήμα και μαζί με την εσωτερική παραλία αποτελεί την παράκτια απόληξη του ποτάμιου συστήματος του Ποταμού Χαλάνδρα. Η μορφολογία της παραλίας φαίνεται να έχει όλα τα τυπικά μορφολογικά χαρακτηριστικά μιας παραλίας (έξαλους και ύφαλους αναβαθμούς κλπ). Στην παραλία εμφανίζονται μικροί σχηματισμοί παραλιακών ψαμιτών, οι οποίοι μπορούν να έχουν σαν αποτέλεσμα: (α) την μείωση του όγκου του ελεύθερα διακινούμενου παραλιακού ιζήματος και την μετακίνηση του αιγιαλού (ακτογραμμής) προς την στεριά, (β) την παρεμπόδιση της μεταφοράς των παραλιακών ιζημάτων κάθετα και κατά μήκος της ακτής και (γ) την παρεμπόδιση της ελεύθερης διαμόρφωσης του παραλιακού προφίλ (Vousdoukas et al., 2005). Επίσης, η παρουσία των βραχονησίδων στο ανατολικό τμήμα της παραλίας φαίνεται να δημιουργεί ένα

πολύπλοκο σύστημα διαθλάσεων – περιθλάσεων, το οποίο εξασκεί σημαντικό έλεγχο στην κατανομή της κυματικής ενέργειας στην περιοχή αυτή.

Τα ιζηματολογικά δεδομένα έδειξαν ότι η παραλία κάθετα χαρακτηρίζεται από τυπική κοκκομετρική κατανομή (π.χ. Komar, 1998; Bird, 2000), με τα πλέον λεπτόκοκκα ιζήματα να βρίσκονται στο πάνω μέρος της παραλίας, ενώ το μέσο μέγεθος αυξάνεται προς την θάλασσα: τα περισσότερα αδρόκοκκα ιζήματα βρίσκονται, όπως αναμένεται, στην περιοχή του berm. Τέλος, αν και βρέθηκαν σημαντικές διαφορές στην κοκκομετρία της ζώνης διαβροχής στις διαφορετικές δειγματοληψίες, οι κοκκομετρικές παράμετροι δεν φάνηκαν να παρουσιάζουν σαφείς τάσεις κατά μήκος της παραλίας.

Από την ανάλυση των τοπογραφικών δεδομένων προκύπτει ότι τόσο το πλάτος της παραλίας, όσο και ο όγκος των ιζημάτων της, παρουσιάζουν σημαντική μείωση, εκτός από το δυτικό άκρο της παραλίας (Σταθμός ΣΔ5), στον οποίο παρατηρείται κάποια αύξηση. Οι μεταβολές αυτές φαίνονται να είναι σε συμφωνία με τα αποτελέσματα του υδροδυναμικού μοντέλου, το οποίο έδειξε ότι υπάρχουν παράκτιες ροές παράλληλες προς την ακτή με διεύθυνση από Α στα Δ κάτω από όλες σχεδόν τις κυματικές συνθήκες. Έτσι ιζηματικό υλικό μεταφέρεται προς τα δυτικά, απογυμνώνοντας το ανατολικό και κεντρικό τμήμα της παραλίας, έχοντας σαν αποτέλεσμα σημαντικές διαβρώσεις. Η κίνηση του παραλιακού υλικού πρέπει επίσης να επηρεάζεται από την παρουσία εκτεταμένων τοιχίων στο ανατολικό τμήμα της ακτής (π.χ. Σχήμα 4.2), τα οποία δημιουργούν κυματικές ανακλάσεις και εκτεταμένη τύρβη με αποτέλεσμα την παραλιακή διάβρωση (Komar, 1998).

6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο κόλπος της Ερεσσού βρίσκεται στο ΝΑ τμήμα της νήσου Λέσβου. Στα ανατολικά οριοθετείται από το ύψωμα Μεροβίλι και δυτικά από το ύψωμα Κοφινάς. Η παραλία της Ερεσσού χαρακτηρίζεται, όπως όλες οι ανοικτές ακτές του ΒΑ Αιγαίου ως μικρο-παλιρροιακή, με παλιρροιακά εύρη μικρότερα από 20 cm (Tsimplis, 1994) και βρίσκεται εκτεθειμένη σε ΝΑ, Ν, ΝΔ, ΔΝΔ και Δ ανέμους και κατ' επέκταση κυματισμούς.

Η διαμόρφωση του παραλιακού προφίλ στους 5 σταθμούς δειγματοληψίας (ΣΔ1-ΣΔ5) κατά τη διάρκεια των 4 εποχικών τοπογραφικών τομών έδειξε, σε γενικές γραμμές, την συνεχή μείωση του πλάτους της παραλίας της Ερεσσού στο ανατολικό και κεντρικό της τμήμα. Η παραλία φαίνεται να μειώνεται και στο δυτικό τμήμα, αλλά σε μικρότερο βαθμό και με μικρές εποχικές εναλλαγές, ενώ ο όγκος του ιζήματος παρουσιάζει τάσεις αύξησης μόνον στο δυτικό άκρο, το οποίο χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερο πλάτος, ύψος και όγκο ιζημάτων στο χερσαίο παραλιακό τμήμα. Συνεπώς, υπάρχουν ενδείξεις διάβρωσης της ανατολικής/κεντρικής παραλίας και πρόσχωσης του δυτικού άκρου, ενώ είναι φανερό και η απώλεια μέρους των ιζημάτων της χερσαίας παραλίας, πιθανότατα προς την ανοικτή θάλασσα. Έτσι, το δυτικό άκρο της παραλίας φαίνεται να αποτελεί μαζί με την υποθαλάσσια παραλία το *reservoir* ιζημάτων της παραλίας της Ερεσσού. Αξίζει να σημειωθεί ότι μεταξύ των δύο πρώτων και των δύο τελευταίων αποτυπώσεων μεσολάβησαν περίπου 18 μήνες και έτσι, στις τελευταίες αποτυπώσεις εμφανίζονται έντονες αλλαγές συγκριτικά με τις πρώτες αποτυπώσεις, γεγονός που αποκαλύπτει αύξηση της διάβρωσης με την πάροδο του χρόνου.

Τα παραλιακά ιζήματα στη ζώνη διαβροχής (*swash zone*) βρέθηκαν να είναι μεσόκοκκα/αδρόκοκκα. Σε κάποιες εποχές φάνηκε να υπάρχει ελάττωση του μέσου μεγέθους από τα ανατολικά στα δυτικά με ταυτόχρονη βελτίωση της διαβάθμισης, γεγονός που προτείνει παράκτια μεταφορά από τα ανατολικά προς τα δυτικά (π.χ. Gao & Collins, 1992). Οι τάσεις αυτές όμως δεν είναι ούτε διαχρονικές, ούτε αναφέρονται σε όλη την παραλία. Η απουσία διαχρονικών/σαφών τάσεων μπορεί να είναι αποτέλεσμα της μικρής χωρικής διακριτικότητας της δειγματοληψίας ή/και της μεγάλης δυναμικής του συστήματος. Σύμφωνα με τον Αδαμάκη (2005), τα παραλιακά ιζήματα της ζώνης

διαβροχής χαρακτηρίζονταν τον Ιούλιο του 2004 από μία τάση ελάττωσης του μέσου μεγέθους από τα ανατολικά στα δυτικά, με ταυτόχρονη βελτίωση της διαβάθμισης· αυτό έδειχνε παράκτια ιζηματομεταφορά από Α στα Δ. Από τα δεδομένα του Σεπτεμβρίου 2004 όμως, προέκυψε ότι οι τάσεις που αναγνωρίστηκαν τον Ιούλιο είχαν πλέον καταστραφεί, με τα ιζήματα να παρουσιάζονται περισσότερο λεπτόκοκκα στα ανατολικά και με ασαφείς τάσεις στην διαβάθμιση. Αυτό μπορεί να ήταν το αποτέλεσμα της επίδρασης των ΝΔ κυματισμών που επικρατούσαν στην περιοχή λίγες μέρες πριν την λήψη των δειγμάτων.

Σύμφωνα με τον Αδαμάκη (2005), ο οποίος και διενήργησε ορυκτολογικές εξετάσεις τόσο των παραλιακών όσο και των ποτάμιων ιζημάτων ανάντη και κατάντη του φράγματος Χαλάνδρα, τα χαρακτηριστικά ορυκτά της ανάντη του φράγματος περιοχής, δεν ανιχνεύονται ούτε στην παραλία, ούτε στη κοίτη του ποταμού Χαλάνδρα. Συνεπώς το ιζηματικό *reservoir* της παραλίας φαίνεται ότι έχει μειωθεί/εξαντληθεί σε σχέση με τα παρεχόμενα από ποταμοχειμαρρο ιζήματα.

Τα αποτελέσματα του υδροδυναμικού μοντέλου έδειξαν ότι οι επικρατούντες ΝΑ άνεμοι φαίνονται να δημιουργούν κατανομές κυματικής ενέργειας/κυματογενή ρεύματα με κατεύθυνση προς τα δυτικά, ενώ και οι λιγότεροι συχνοί και έντονοι Ν και ΝΔ άνεμοι δημιουργούν δυτικά κυματογενή ρεύματα στο μεγαλύτερο μέρος της παραλίας, λόγω της ύπαρξης βραχονησίδων στο ανατολικό τμήμα της παραλίας, οι οποίες δημιουργούν πολύπλοκα συστήματα κυκλοφορίας. Αξίζει να σημειωθεί ότι η όποια μεταφορά ιζήματος σχετίζεται με την παράκτια κυκλοφορία αρχίζει περίπου 100 m δυτικά από τη βραχονησίδα και συνεχίζεται προς τα δυτικά, περίπου μέχρι τα 2/3 της παραλίας, και μετά μέχρι το δυτικό άκρο της με μειωμένη ένταση.

Ο Αδαμάκης (2005), ο οποίος υπολόγισε την ενέργεια των κυματισμών παράλληλα στην ακτή στην παραλία της Ερεσσού (με χρήση του μοντέλου RCPWAVE (Ebersole et al., 1986)) βρήκε ότι:

- ❖ ΝΑ διεύθυνση κυματισμών. Φαίνεται ότι η ενέργεια κατανέμεται σχετικά ομοιόμορφα με φορά από τα δυτικά προς τα ανατολικά, κάτι που σε γενικές γραμμές δεν συμφωνεί με τα αποτελέσματα του μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία (βλ. Κεφ. 5).

- ❖ NNΔ κυματισμούς. Η κατανομή της ενέργειας στην παραλία έχει καθ' όλο το μήκος της παραλίας φορά από τα δυτικά προς τα ανατολικά, αποτέλεσμα που έρχεται σε μερική ασυμφωνία με το αποτέλεσμα του παρόντος υδροδυναμικού μοντέλου, καθώς το τελευταίο δείχνει σαφή μεταφορά από τα ανατολικά προς τα δυτικά.
- ❖ N κυματισμούς. Η ενέργεια κατανέμεται στην κεντρική παραλία με φορά από τα δυτικά προς τα ανατολικά. Η περίπτωση αυτή αποτελεί την πλέον επικρατούσα καθώς αναφέρεται στις πλέον συνηθισμένες κυματικές συνθήκες και συμφωνεί απόλυτα με το αποτέλεσμα του μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε στη παρούσα εργασία.
- ❖ NΔ διεύθυνση κυματισμών. Τα αποτελέσματα των δύο μοντέλων δεν φαίνονται να έρχονται σε απόλυτη συμφωνία.

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι υπάρχει συμφωνία των δύο μοντέλων όσον αφορά μόνον τους N κυματισμούς, καθώς και διαφωνία για κυματισμούς από άλλες διευθύνσεις. Αυτό μάλλον οφείλεται στην μικρή χωρική διακριτικότητα στην οποία έτρεξε το παρόν μοντέλο καθώς επίσης και την έλλειψη βαθυμετρικών δεδομένων μεγάλης χωρικής διακριτικότητας στην αβαθή παράκτια ζώνη. Αξίζει εδώ να αναφερθεί ότι το υδροδυναμικό μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε δεν αποτελεί μοντέλο μεταφοράς ιζήματος, λόγω του γεγονότος ότι δεν είναι βαθμονομημένο, με αποτέλεσμα να θεωρείται παρακινδυνευμένη η εξαγωγή συμπερασμάτων ιζηματομεταφοράς από την παράκτια κυκλοφορία.

Από τις μελέτες κατανομής κυματικής ενέργειας στην παραλία της Ερεσσού, φαίνεται μία καθαρή μεταφορά ιζημάτων από τα ανατολικά προς τα δυτικά, συμπέρασμα που συμφωνεί με την γενικότερη μορφολογία της παραλίας. Φαίνεται ότι η κατανομή της κυματικής ενέργειας είναι ο κύριος έλεγχος της κατανομής των ιζημάτων κατά μήκος της ακτής.

Το πλέον σημαντικό εύρημα της παρούσας μελέτης σχετίζεται με την παρουσία σημαντικότερων διαβρώσεων στο μεγαλύτερο μέρος της χερσαίας παραλίας (εκτός από το δυτικό της άκρο). Η διάβρωση αυτή μπορεί να οφείλεται κυρίως στους ακόλουθους παράγοντες.

Πρώτον, φαίνεται ότι η παράκτια προς την ακτή ιζηματομεταφορά μεταφέρει ιζήματα από το Α στο Δ μέρος της παραλίας για τους περισσότερους (και ισχυρότερους)

κυματισμούς με αποτέλεσμα την διάβρωση του ανατολικού και κεντρικού τμήματος της παραλίας. Την ίδια στιγμή, η κατασκευή παράκτιων τοιχίων στο ανατολικό μέρος της παραλίας ευνοεί επίσης την διάβρωση (Komar, 1998), με αποτέλεσμα την ενίσχυση της διάβρωσης στην περιοχή αυτή. Το αν τα ιζήματα εξακολουθούν να βρίσκονται μέσα στο υποθαλάσσιο ιζηματικό κύτταρο (coastal cell), δηλ. στην περιοχή μεταξύ του βάθους κλεισίματος (closure depth) και της ακτογραμμής, δεν μπορεί να συμπεραστεί από τα υπάρχοντα δεδομένα, καθώς θα απαιτούνταν εκτεταμένα (και επαναλαμβανόμενα) βαθυμετρικά/σεισμικά δεδομένα στην υποθαλάσσια παραλία, τα οποία δεν είναι διαθέσιμα.

Δεύτερον, οι σημαντικές διαβρώσεις που παρατηρήθηκαν μπορούν να σχετίζονται με την σημαντική ελάττωση της ποτάμιας ιζηματοπαροχής στην παραλία λόγω της κατασκευής του φράγματος Χαλάνδρας. Ο Ανδρεάδης (2005) βρήκε ότι από την εποχή της λειτουργίας του φράγματος (1999), το 52% – 55% των ιζημάτων της λεκάνης απορροής συγκρατούνται πλέον από το φράγμα και δεν φθάνουν στην παραλία. Αυτή η σημαντικότερη μείωση της ιζηματοπαροχής μπορεί να έχει μειώσει το ιζηματικό reservoir της παραλίας σε τέτοιο βαθμό που να φαίνονται πλέον τα αποτελέσματα της στην χερσαία παραλία.

Φαίνεται ότι η παραλία της Ερεσσού (ιδιαίτερα το ανατολικό και κεντρικό της τμήμα) βρίσκεται κάτω από καθεστώς διάβρωσης. Η διάβρωση αυτή θεωρείται ότι μάλλον θα αυξηθεί στο μέλλον καθώς ευνοείται τόσο από το υδροδυναμικό/ιζηματοδυναμικό καθεστώς και τις ανθρώπινες παρεμβάσεις (κατασκευή άστοχων παράκτιων έργων και κυρίως η κατασκευή του φράγματος Χαλάνδρα), όσο και από την αναμενόμενη αύξηση της θαλάσσιας στάθμης (βλ. Κεφ 2). Περαιτέρω έρευνες αποτελούν λοιπόν επιτακτική ανάγκη. Οι έρευνες αυτές θα πρέπει να περιλαμβάνουν τα ακόλουθα: (α) συνέχιση την παρακολούθησης της μορφο- και ιζηματολογικής δυναμικής, συμπεριλαμβανομένης και της υποθαλάσσιας παραλίας, (β) περαιτέρω μελέτη της παράκτιας υδροδυναμικής/ιζηματοδυναμικής με την βοήθεια μοντέλων μεγαλύτερης χωρικής διακριτικότητας και δεδομένων πεδίου για την βαθμονόμηση (calibration) και αξιολόγηση (validation) τους και (γ) την μελέτη της σκοπιμότητας/αποτελεσματικότητας των απαραίτητων παράκτιων επεμβάσεων

(εμπλουτισμός ακτής, κατασκευής παράκτιων έργων) για την καλύτερη προστασία της διαβρωνόμενης ακτής.

Βιβλιογραφία

- Bacon S., Carter D.J.T., 1991. Wave climate changes in the North Atlantic and North Sea. *Int. J. Climatology*, 11, 545-558.
- Barnes G.E., 2000, "Soil Mechanics: Principles and Practice", 2nd edn, London: McMillan Press.
- Bird, E., 2000. *Coastal geomorphology: An Introduction*. John Wiley & Sons, Chichester. 322 pp.
- Bodge, K.R., 1992. Representing equilibrium beach profiles with an exponential expression. *Journal of Coastal Research*, 8, 47-55.
- Booij, N., Ris, R.C., Holthuijsen, L.H., 1999. A third-generation model for coastal regions, 1. Model description and validation. *Journal of Geophysical Research*, 104 (C4): 7649-7666.
- Brandt P., Rubino A., Sein D.V., Bascheck B., Izquierdo A, Backhaus J.O., 2004. Sea level variations in the Western Mediterranean studied by a numerical tidal model of the Strait of Gibraltar, *J. Phys. Oceanogr.*, 34 (2) 433-443.
- Bruun P., 1954. *Coast Erosion and the Development of Beach Profiles*, Beach Erosion Board Technical Memorandum. Beach Erosion Board, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC. No. 44.
- Cadee N., Dronkers J., Heip C., Martin J-M., Nolan C., 1994. *European Land-Ocean Interaction Studies, Science Plan*, EUR 15608 EN.
- Carter, R.W.G., 1988. *Coastal Environments*. Academic Press Ltd, London. 617 pp.
- Cazenave A., Dominh K., Soudrarin L., Ponchaut F., Le Provost C., 1999. Sea level changes from TOPEX-POSEIDON altimetry and tide gauges and vertical crustal motions from DORIS. *Geophysical Research Letters*, 26, 2077-2080.
- Church J.A., Gregory J.M., Huybrechts P., Kuhn M., Lambeck K., Nhuan M.T., Qin D., Woodworth P.L., 2001. Changes in sea level. Chapter 11 of the Intergovernmental Panel on Climate Change Third Assessment Report, Science Report, Cambridge University Press (2001), 638-689.
- Cotton P.D., Challenor P.G., 1999. North Atlantic climate variability and the North Atlantic Oscillation index. *Proceedings of the 9th ISOPE Conference*, Brest, France, May.
- CWR, 2003. *Seminar Notes*, Center For Water Research, University of Western Australia, 2003.
- Dean R.G., 1987. Coastal sediment processes: toward engineering solutions. In: *Coastal Sediments '87, Specialty Conference on Advances in Understanding of Coastal Sediment Processes*. New Orleans, LA. ASCE, pp. 1-24.
- Dean R.G., 1991. Equilibrium beach profiles: characteristics and applications. *Journal of Coastal Research*, 7 (1), 53– 84.
- Dean R.G., 2002. *Beach nourishment: Theory and Practice*. World Scientific, New Jersey. 397 pp.
- Douglas B. C., Kearney M. S., Leatherman S. P., 2001. *Sea Level Rise, History and Consequences*, Academic, San Diego, Calif.
- Duncan J. R., 1964. The effects of water table and tidal cycle on swash- backwash sediment distribution and beach profile development. *Mar. Geol.*, 2: 186-197.

- Duke W.L., Arnott R.W.C., Cheel R.J., 1991. Shelf sandstones and hummocky cross-stratification: New insights on a stormy debate. *Geology*, 19, 625-628.
- Dyer, K.R., 1986. *Coastal and Estuarine Sediment Dynamics*. John Wiley, Chichester. 342pp.
- Ebersole, B.A., Cialone, M.A. and Prater, M.D., 1986. RCPWAVE-A Linear Wave Propagation Model for Engineering Use. Regional Processes Numerical Modelling System, Report No 1. Department of the Army.
- European Commission, A report to the European water directors, 2005. *Climate Change and the European Water Dimension*.
- EuroSION, 2003. Trends in Coastal Erosion in Europe. Final Report of the Project 'Coastal erosion – Evaluation of the need for action' Directorate General Environment, European Commission.
- EuroSION, 2004a. Living with coastal erosion in Europe: Sediment and Space for Sustainability PART I. Final Report of the Project 'Coastal erosion – Evaluation of the need for action', Directorate General Environment, European Commission.
- EuroSION, 2004b. Living with coastal erosion in Europe: Sediment and Space for Sustainability PART II: Maps and Statistics. Final Report of the Project 'Coastal erosion – Evaluation of the need for action'. Directorate General Environment. European Commission.
- Fenoglio-Marc L., 2002. Long-term sea level change in the Mediterranean Sea from multisatellite altimetry and tide gauges. *Physics and Chemistry of the Earth*, 27, 1419-1431.
- Flemming, B.W., 1977. Depositional Processes in Saldanha Bay and Langebaan Lagoon. Unpublished Report, Marine Geoscience Group, Bull. No 8., Department of Geology, University of Cape Town. 213pp.
- Folk, R.L., 1980. *Petrology of the Sedimentary Rocks*. (2nd Edition). Hemphill Publishing Company, Austin, Texas, U.S.A. 182pp.
- Folk, R.L. and Ward, W.C., 1957. Brazos River bar: A study in the significance of grain-size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27: 3-26.
- Friedman, G.M., 1979. Address of the retiring President of the International Association of Sedimentology: differences in size distributions of populations of particles among sands from various origins. *Sedimentology*: 26: 3-32.
- Gao, S. and Collins, M.B. 1992. Net sediment transport patterns from grain size trends, based upon definition of "transport vectors". *Sedimentary Geology*, 89, 157-159.
- GEO-3, 2002. *Global Environment Outlook 3, Past, Present and Future Perspectives*. United Nations Environment Programme. EarthScan Publications LTD, London. 446pp.
- 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 DataSeries – 68
- Holthuijzen, L.H., Hemran, A. and Booij, N., 2003. Phase-decoupled refraction-diffraction for spectral wave models. *Coastal Engineering*, 49(291-305).
- Horn D.P., 2006. Measurements and modelling of beach groundwater flow in the swash-zone: a review *Continental Shelf Research*, 26 (5), 622-652.
- ICOLD, 1988. *International Commission on Large Dams. World Register of Dams*. Paris: International Commission on Large Dams.

- IPCC, Climate Change, 2001: The Scientific Basis, Contribution of WG I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge Univ. Press. Online: <http://www.ipcc.ch/>
- Karambas, T.V. and Karathanassi, E.K., 2004. Boussinesq modeling of Longshore currents and sediment transport. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, ASCE, 130(6): 277-286.
- Keulegan, G.H., and Krumbein, W. C. (1949). "Stable configuration of beach slope in a shallow sea and its bearing on geological processes," *EOS Transactions, American Geological Union* 30 (6), 855-861.
- Komar P.D., 1976. *Beach Processes and Sedimentation*. Prentice Hall, N.J. USA. (1st Edition).
- Komar P.D., 1998. *Beach Processes and Sedimentation* (2nd Edition). Prentice Hall, N.J. USA. 544 pp.
- Larson A., 1988. Dynamic Hash Tables. *Commun. ACM* 31(4): 446-457.
- Lykousis V., Chronis G., 1989. Mass Movements, Geotechnical properties and slope stability in the Outer Shelf Upper Slope, N.W. Aegean Sea. *Marine Geotechnology*, 8 (3): 231-247.
- Lykousis V., Chronis G., 1989. Mechanisms of sediment transport and deposition: Sediment sequences and accumulation during the Holocene on the Thermaikos Plateau, the continental slope and Basin (Sporadhes basin), N.W. Aegean Sea, Greece, *Marine Geology*, 87: 15-26.
- Masselink, G., 1992. Longshore variation of grain-size distributions along the coast of Rhone delta, Southern France: a test of the "McLaren model". *Journal of Coastal Research*, 8: 286-291.
- McCave, I.N., 1978. Grain-size trends and transport along beaches: an example from eastern England. *Marine Geology*, 28: M43-M51.
- McLaren, P., 1981. An interpretation of trends in grain-size measurements. *Journal of Sedimentary Petrology*, 51: 611-624.
- McLaren, P. and Bowles, D., 1985. The effects of sediment transport on grain-size distributions. *Journal of Sedimentary Petrology*, 55: 457-470.
- Maidment D., 1993. Developing a spatially distributed unit hydrograph by using GIS. In : *Applications of GIS in hydrology and water resources* (edited by Kovar, K. and Nachtenebel, H.) *Proceedings of Vienna conf.*, April 1993. IAHS publ. no. 211. 181-192.
- Mariotti A., Struglia M.V., Zeng N., Lau K.M., 2001. The Hydrological Cycle in the Mediterranean Region and Implications for the Water Budget of the Mediterranean Sea. *Journal of Climate*, 7 (1): 3-5
- Milliman J.D., Syvitski J.P.M., 1992. Geomorphic/ tectonic control of sediment discharge to the ocean: the importance of small mountainous rivers. *Journal of Geology*, 100, 525-544.
- Mitrovica J.X., Davis J.L., 1995. Present-day post-glacial sea level change far from the Late Pleistocene ice sheets: Implications for recent analyses of tide gauge records. *Geophys. Res. Lett.*, 22, 2529-32.
- Nilsson C. and Berggren K., 2000. Alterations of riparian ecosystems caused by river regulation. *BioScience* 50: 783-792.

- Nordstrom, K.F., 1989. Downdrift coarsening of beach foreshore sediments at tidal inlets: an example from the coast of New Jersey. *Earth Surface Processes and Landforms*, 14: 691-701.
- Pettijohn, F.G., Potter, P.D. and Siever, R., 1972. *Sand and Sandstone*. Springer-Verlag, New York. 618pp.
- Poulos S.E., Collins M.B., Evans G., 1996. Water-sediment fluxes of Greek rivers, southeastern alpine Europe: annual yields, seasonal variability, delta formation and human impact. *Zeitschrift fur Geomorphologie*, 40(2) :243-261.
- Poulos S.E., Chronis G., 1997. The importance of the river systems in the evolution of the Greek coastline. In: Briand F, Maldonado A (eds) *Transformations and evolution of the Mediterranean coastline*. CIESM Science Series. Bull Inst. Oceanogr. Spec. 18:75–96
- Poulos S.E., Collins M.B., 2002. A quantitative evaluation of riverine/sediment fluxes to the Mediterranean Basin: Natural flows, coastal zone evolution and the role of dam construction. In: S.J. Jones and L.E. Frostick (Eds), *Sediment Flux to Basins: Causes, Controls and Consequences*. Geological Society of London Special Publication, 191, 227-245.
- Roether W., Manca B.B., Klein B., Bregant D., Georgopoulos D., Beitzel V., Kovacevic V., Luthetta A., 1996. Recent changes in Eastern Mediterranean deep waters. *Science*, 271: 333-335.
- Ross T., Garrett C., 2000. Le Traon, Western Mediterranean sea-level rise: changing exchange flow through the Strait of Gibraltar, *Geophys. Res. Let.*, 27, 2949-2952.
- Sunamura, T., Komar P.D. 1983. *Handbook of Coastal Processes and Erosion*, CRC Press, Boca Raton, Florida: 233-265.
- Syvitski J. P. M., 2003. *Global Planet. Change* 39, 1.
- Syvitski J.P.M., Vorosmarty C.J., Kettner A.J., Green P., 2005. *Impact of Humans on the Flux of Terrestrial Sediment to the Global Coastal Ocean*
- Theocharis A., Nittis K., Kontoyiannis H., Papageorgiou E, Balopoulos E., 1999. Climatic changes in the Aegean Sea influence the Eastern Mediterranean thermohaline circulation. *Geophys. Res. Let.*, 26, 11, 1617-1620.
- Tsimplis, M.N., 1994. Tidal oscillations in the Aegean and Ionian Seas. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 39: 201-208.
- Tsimplis, M.N., Velegrakis A. F., Drakopoulos, P., Theocharis, A. and Collins, M.B., 1999. Cretan Deep Water outflow at the Straits of Crete. *Progress in Oceanography*, 44: 531-551.
- Tsimplis M.N., and Baker T.F., 2000. Mediterranean sea level reduction: an indication of deep water changes? *Geophysical Research Letters*, 27, 1731-1734.
- Tsimplis M.N. and Josey S.A., 2001. Forcing of the Mediterranean Sea by atmospheric oscillations over the North Atlantic. *Geophysical Research Letters*, 28, 803-806.
- Tsimplis M.N., 2002. *Sea Level Rise and Climate Change: Division for Ocean Circulation and Climate*. Southampton Oceanography Centre.
- Tsimplis, M.N. and M. Rixen, 2002. Sea level in the Mediterranean Sea: The contribution of temperature and salinity changes. *Geophys. Res. Let.*, 29(23).
- Tsimplis, M.N., Josey, S.A., Rixen, M., and Stanev, E.V., 2004. On the forcing of the sea level in the Black Sea. *Journal of Geophysical Research*, 109, art no C08015.

- Tuba O. and Haller S., 2004. Equilibrium Beach Profiles for Delaware Beaches and the Effects of the Gravity Term. College of Oceanic and Atmospheric Sciences, Oregon State University.
- UNEP, 1992. The World Environment 1972-1992, M.K.Tolba and O.A.El-Kholy (Eds), Chapman & Hall, London.
- Velegrakis, A.F., Collins, M.B., Bastos, A.C., Paphitis, D., and Brampton, A., 2007. Seabed sediment transport pathway investigations: review of scientific approach and methodologies. In: P.S. Balson and M.B. Collins (Eds), Coastal and Shelf Sediment Transport, Geological Society of London Special Publication, 274, 127-146.
- Visher, G.S., 1969. Grain-size distribution and depositional processes. Journal of Sedimentary Petrology, 39: 1075-1106.
- Vousdoukas, M.I., Velegrakis, A.F. and Karambas, T.V., 2007. Morphology and sedimentology of a microtidal, beachrock-infected beach: Vatera, Lesbos, NE Mediterranean. Estuarine, Coastal and Shelf Science (submitted).

Vousdoukas, M., Velegrakis, A.F., Karambas, Th., Valais, G and Zarkoyiannis, S., 2005. Morphodynamics of beachrock-infected beaches: Vatera beach, NE Mediterranean. Coastal Dynamics 2005, May 2005, Barcelona Spain. 14pp.

- Walling, D.E., Fang D., 2003. Recent trends in the suspended sediment loads of the world's rivers. Global and Planetary Change 39:111-126.
- Wanner, H., Bronnimann, S., Casty, C., Gyalistras, D., Luterbacher, J., Schmutz, C., Stephenson, D., and Xoplaki, E., 2001. North Atlantic Oscillation-Concepts and Studies. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, Surveys in Geophysics 22, 321-382
- Woodworth, P.L., Tsimplis M.N., Flather R.A., Shennan I., 1999. A review of the trends observed in British Isles mean sea level data measured by tide gauges. Geophysical Journal International, 136, 651-670.
- Woolf D., Tsimplis S.E., 2001. The Influence of the North Atlantic Oscillation on Sea Level in the Mediterranean and the Black Sea Derived from Satellite Altimetry. Tyndall Centre for ClimateChange Research, (project IT 1.15).
- World Commission on Dams, 2000. Dams and Water: Global Statistics: Europe - Hydro and Irrigation Led Dam Development in Europe. Online: <http://www.dams.org/global/euro.htm>.
- Wright R.T., 2005. Environmental Science toward a sustainable future. Ninth edition, Gordon college.

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Αδαμάκης Γ., 2005. Ιζηματολογία και Μορφοδυναμική νησιωτικών παραλιών στα κατάντη φραγμάτων: Ερεσσός, Ν.Λέσβος. Διπλωματική μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών «Διαχείριση Παράκτιων Περιοχών», Μυτιλήνη.

- Ανδρεάδης Ο., 2005. Οι επιπτώσεις της κατασκευής του φράγματος στο ισοζύγιο ιζήματος της λεκάνης απορροής της Ερεσού. Διπλωματική μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών «Διαχείριση Παράκτιων Περιοχών», Μυτιλήνη.
- Αποστολίδης Κ.Π., Στεφάνου Χ., Στεργιόπουλος Κ., Αντωνοπούλου Ε., 2000, «Μ.Π.Ε. για το εργο: Αξιοποίηση Ταμιευτήρα Ερεσού Ν. Λέσβου», Υπουργείο Γεωργίας, Αθήνα.
- Ατσικπαση Μ.Ι., 2000, «Εκτίμηση Κατάστασης των Υδατικών Πόρων του Δήμου Ερεσού-Αντίσσης», Μυτιλήνη: Πανεπιστήμιο Αιγαίου.
- Βελεγράκης, Α.Φ., 2005α. Σημειώσεις Θαλάσσιας Γεωλογίας. Τμήμα Επιστημών Θάλασσας, Σχολή Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο του Αιγαίου.
- Βελεγράκης, Α.Φ., 2005β. Σημειώσεις Παράκτιας Γεωλογίας. Τμήμα Επιστημών Θάλασσας, Σχολή Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο του Αιγαίου.
- Βελεγράκης, Α.Φ., Βουσδούκας Μ.Ι. και Μελιγωνίτης, Ρ., 2005. Διάβρωση Νησιωτικών Παραλιών: Φαινομενολογία και αίτια της υποβάθμισης του μεγαλύτερου φυσικού πόρου της νησιωτικής Ελλάδας. Πρακτικά Συνεδρίου 'Η νησιωτική Ελλάδα στον 21^ο Αιώνα, Νίσυρος Μάιος 2004. Τόμος 1, Εκδόσεις Σιδέρη, pp. 243-262.
- Μουτζούρης Κ.Ι., 2005. Εισαγωγή στην Ακτομηχανική. Αθήνα, 209pp.
- Πούλος Σ.Ε., 1998. Παράκτια Ζώνη: Φυσικό Περιβάλλον, κοινωνικοοικονομικές δραστηριότητες και ανθρώπινη παρέμβαση. Γεωτεχνικά επιστημονικά θέματα, 9(3): 104-109
- Πούλος Σ.Ε., 1999. Η παράκτια ζώνη ως υποσύνολο ενός ευρύτερου γεωγραφικού χώρου: του παράκτιου συστήματος. Πρακτικά 5^{ου} Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου.
- Σουκισιάν Τ., 2002. Στοιχεία θαλάσσιας κυματικής και παράκτιας μηχανικής. Ελληνικό Κέντρο Θαλασσιών Ερευνών (ΕΚΘΕ).
- Φραγκιάδης Σ., Μερτζίου Ε., 1994, «Μελέτη Λιμνοδεξαμενών στα Νησιά Λέσβο, Λήμνο και Άγιο Ευστράτιο: Μ.Π.Ε. Φράγματος Ερεσού Λέσβου», Υπουργείο Γεωργίας, Αθήνα.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Παράρτημα 1.

Οι κοκκομετρικές παράμετροι (Folk, 1980) υπολογισμένες για όλα τα δείγματα, με την χρήση του in house λογισμικού Parcum.

Γραφική Μέθοδος				
	Μέσο Μέγεθος	Διαβάθμιση	Λοξότητα	Κύρτωση
A1	-0,42	2,40	1,15	0,66
A2	-2,91	0,62	0,90	1,09
A3	-1,66	1,06	0,79	1,26
A4	0,06	1,02	-2,91	1,14
A5	-3,55	0,62	1,03	0,70
B1	0,65	0,60	0,14	1,04
B2	0,66	0,80	0,91	0,98
B3	0,76	0,65	-1,70	0,99
B4	-3,60	0,64	1,12	0,69
B5	-0,28	0,99	0,76	1,14
Γ1	0,61	0,59	0,12	1,03
Γ2	0,51	0,51	0,37	1,04
Γ3	0,76	0,58	-0,42	1,13
Γ4	-2,10	1,42	1,53	0,86
Γ5	-0,48	1,25	1,05	0,92
Γ6	-1,15	2,14	1,18	0,54
Δ1	0,42	0,75	2,88	0,92
Δ2	0,30	0,72	-0,15	1,02
Δ3	0,11	0,34	0,31	1,02
Δ4	-1,08	0,69	1,41	0,90
Δ5	-0,75	0,92	0,45	1,03
Δ6	-1,21	1,29	1,12	0,64
Δ7	0,10	0,83	0,56	1,86
E1	0,30	0,46	0,30	1,12
E2	0,20	0,47	0,47	1,06
E3	-1,39	0,48	-0,16	0,98
E4	-0,67	0,54	-0,01	3,30
E5	-1,65	1,23	2,53	0,58
a2	0,02	1,28	1,36	0,74
b2	0,25	0,37	0,29	1,12
c2	0,39	1,13	0,77	1,30
d2	-1,22	1,10	0,64	0,80
e2	1,62	1,24	-0,38	1,37
A	0,50	1,06	0,79	1,04
B _p	-2,35	1,39	0,69	1,66
B	-3,02	1,34	0,89	0,71
Γ	-2,94	1,84	0,76	0,72
Δ	-2,88	2,16	0,77	0,82

E	-2,83	2,17	0,88	0,83
---	-------	------	------	------

Παράρτημα 2.

Τα δεδομένα των προφίλ, που λήφθηκαν με τον χωροβάτη του ΤΕΘ, καθώς και των δειγμάτων ιζήματος.

(05/07/04)

Τα παρακάτω δείγματα λήφθηκαν κατά μήκος κάθε τοπογραφικής τομής. Πάρθηκαν και προφίλ, τα αποτελέσματα των οποίων δεν χρησιμοποιήθηκαν γιατί λήφθηκαν με διαφορετικό χωροβάτη σε σχέση με τα επόμενα.

Τοπογραφική τομή 1

Δείγματα	Μήκος
A1	1,5
A2	4,5
A3	7,5 (swash zone)
A4	9,5
A5	16 (πολύ αδρόκοκκο δεν πάρθηκε δείγμα)

Τοπογραφική τομή 2

Δείγματα	Μήκος
B1	4
B2	25
B3	30
B4	49 (swash zone)
B5	50

Σε βαθύτερα σημεία δεν ήταν δυνατή η λήψη δείγματος γιατί ο πυθμένας είχε ένα πολύ επιφανειακό αμμώδες στρώμα και μετά το υπόστρωμα ήταν σκληρό. - Πιθανή εμφάνιση Beachrock.

Τοπογραφική τομή 3

Δείγματα	Μήκος
Γ1	58
Γ2	85
Γ3	92
Γ4	97
Γ5	100 (swash zone)
Γ6	105

Τοπογραφική τομή 4

Δείγματα	Μήκος
Δ1	123
Δ2	128
Δ3	142
Δ4	149
Δ5	151
Δ6	157

(Το δείγμα Δ5
λήφθηκε από
τη swash
zone)

Τοπογραφική τομή 5	
Δείγματα	Μήκος
E1	104
E2	123
E3	136
E4	138 (swash zone)
E5	147

Προφίλ παραλίας Ερεσσού 29/09/2004

Προφίλ 1

29/9/2004, 10:40 a.m.

Μήκος Παραλίας: 12m

Ευθεία: Πρώτη ντουσιέρα και καρφί στον τοίχο.

Αριθμός μέτρησης	Μήκος	Ενδειξη
1	3,4	0,843
2	5,5	0,62
3	8	0,516
4	10	0,285
5	12	0
6	19	-1,128

Δείγματα	Μήκος
a2	11,5 (swash zone)

Προφίλ 2 (450 m από προφίλ 1)

29/09/2004, 11:20

Μήκος παραλίας: 49,6 m

Ευθεία: Κολόνα Δ.Ε.Η. και καρφί στον δρόμο (δίπλα σε ένα εγκατελειμένο κτίριο)

Ο χωροβάτης στήθηκε στα 50 m. από το δρόμο.

Αριθμός μέτρησης	Μήκος	Ενδειξη
1	4	2,387
2	25	2,305
3	30	1,984
4	42	1,024
5	48	0,46
6	50	0
7	56	-0,88

Δείγματα	Μήκος	
b2	49	(swash zone)

Προφίλ 3 (350 m από προφίλ 2)

29/09/2004, 11:45

Μήκος παραλίας (από το δρόμο) : 100,5 m

Ευθεία: Κολόνα Δ.Ε.Η. και καρφί στον δρόμο (δίπλα σε ένα εγκατελειμένο κτίριο)

Ο χωροβάτης στήθηκε στα 50 m. από το δρόμο.

Αριθμός μέτρησης	Μήκος	Ενδειξη
1	57	1,657
2	68	1,791
3	85	1,811
4	92	0,953
5	98	0,412
6	101	0
7	108	-1,088

Δείγματα	Μήκος	
c2	100	(swash zone)

Πάρθηκε το δείγμα Π1 από τον πυθμένα του χειμάρρου. Ο χειμάρρος είχε λιμνάζοντα νερά, ενώ δεν είχε κανάλι επικοινωνίας με τη θάλασσα.

Προφίλ 4 (300 m από προφίλ 3)

29/09/2004, 12:20

Σημείο 150-170 m. δυτικά της εκβολής του χειμάρρου

Μήκος παραλίας (από το δρόμο): 150 m

Ευθεία: Παράλληλα με την ευθεία που σχηματίζουν τα δέντρα και σε απόσταση 5 m. από αυτά.

Ο χωροβάτης στήθηκε στα 115 m. από τον δρόμο.

Αριθμός μέτρησης	Μήκος	Ενδειξη
1	123	2,462
2	133	1,705
3	142	0,937
4	148	0,46
5	150	0
6	155,5	-0,893
7	156,5	-1,065

Δείγματα	Μήκος	
d2	149	(swash zone)

Προφίλ 5 (450 m από προφίλ 4)

29/02004, 13:05

Μήκος παραλίας: 138,5 m

Ευθεία: Παράλληλα με το δεξί τοιχάκι του δρόμου.

Σημείο: Στη μέση του φοινικόδασους τέλος του βατού δρόμου.

Ο χωροβάτης στήθηκε στα 98 m. από το δρόμο.

Αριθμός μέτρησης	Μήκος	Ενδειξη
1	104	2,82
2	123	1,808
3	128	1,423
4	135	0,617
5	137	0,539
6	139	0
7	144	-0,96
8	147	-1,333

Δείγματα	Μήκος	
e2	139	(swash zone)

Προφίλ παραλίας Ερεσσού 18/01/2005

Προφίλ 1

Μήκος Παραλίας:
12.5m

Αριθμός μέτρησης	Μήκος		Ενδειξη
1		4	1,191
2		5	0,981
3		8	0,48
4		12,5	0
5		17,5	-0,387
6		19,5	-1,265

Προφίλ 2 (450 m από προφίλ 1)

Μήκος παραλίας: 55
m

Αριθμός μέτρησης	Μήκος		Ενδειξη
1		10	2,524
2		27	2,484
3		45	1,262
4		48	1,208
5		55	0
6		59,5	-0,788

Προφίλ 3 (350 m από προφίλ 2)

Μήκος παραλίας (από το δρόμο) : 100 m

Αριθμός μέτρησης	Μήκος		Ενδειξη
1		70	1,836
2		85	1,912
3		92	1,368
4		100	0
5		105,5	-0,522
6		108	-1,15

Προφίλ 4 (300 m από προφίλ 3)

Μήκος παραλίας (από το δρόμο): 148 m

Αριθμός μέτρησης	Μήκος		Ενδειξη
------------------	-------	--	---------

1	125	2,363
2	132	1,985
3	140	1,248
4	148	0
5	155	-0,625
6	158	1,69

Προφίλ 5 (450 m από προφίλ 4)

Μήκος παραλίας:
137

Αριθμός μέτρησης	Μήκος	Ενδειξη
1	110	2,042
2	125	1,238
3	137	0
4	145	-0,912
5	148	-1,6

Προφίλ παραλίας Ερεσσού 8/07/2006

Προφίλ 1

Μήκος Παραλίας: 8m

Αριθμός μέτρησης	Μήκος	Ενδειξη
1	3,6	0,49
2	6	0,25
3	8	0

Προφίλ 2* (Δεξιά του Parasol)

Μήκος Παραλίας: 8,9m

Αριθμός μέτρησης	Μήκος	Ενδειξη
1	4,3	3,81
2	6,8	0,76
3	8,9	0

Προφίλ 2 (450m από προφίλ 1)

Μήκος παραλίας: 48,5m

Αριθμός μέτρησης	Μήκος	Ενδειξη
1	23	2,062
2	34	1,566
3	41	0,663
4	44	0,675
5	48,5	0

Προφίλ 3 (350m από προφίλ 2)

Μήκος παραλίας (από το δρόμο): 95.3m

Αριθμός μέτρησης	Μήκος	Ενδειξη
1	38	1,3
2	50	1,59
3	76	1,72
4	90	0,88
5	95,3	0

Προφίλ 4 (300m από προφίλ 4)

Μήκος παραλίας (από το δρόμο):
149,5 : 149,5m

Αριθμός μέτρησης	Μήκος	Ενδειξη
1	50	2,295
2	81	2,4
3	100	2,1
4	125	2,183
5	140	0,75
6	145,5	0,545
7	149,5	0

Προφίλ 5 (450m από προφίλ 5)

Μήκος Παραλίας:
148m

Ο χωροβάτης στάθηκε στα 98m από το δρόμο.

Αριθμός μέτρησης	Μήκος		Ένδειξη
1		116	2,35
2		130	1,45
3		142	1,035
4		148	0

Προφίλ παραλίας Ερεσσού 3/12/2006

Προφίλ 1

Μήκος Παραλίας: 7.5m

Αριθμός μέτρησης	Μήκος	Ένδειξη
1	0	-
2	0,7	0,84
3	3	0,835
4	5	0,39
5	6	0,36
6	7	0,1
7	7,5	0

Δείγμα
A 7,5m (swash zone)

Προφίλ 2* (Δεξιά του Parasol)

Μήκος Παραλίας: 11,5m

Αριθμός μέτρησης	Μήκος	Ένδειξη
------------------	-------	---------

1	0	14,7
2	1	11,1
3	6	6,7
4	9	1,9
5	11	0,5
		0
6	11,5	

Δείγμα

Bparasol

11,5m

(swash
zone)

Προφίλ 2 (450m από προφίλ 1)

Μήκος παραλίας: 48,5m

Αριθμός μέτρησης	Μήκος	Ενδειξη
1	3	2,02
2	14	1,82
3	25	1,765
4	31	1,41
5	36	0,99
6	39,5	1,02
7	43	0,36
8	45	1,43
9	46	0,08
10	48	0,01
11	48,5	0

Δείγμα

B

48,5m

(swash
zone)

Προφίλ 3 (350m από προφίλ 2)

Μήκος Παραλίας: 95m

Αριθμός μέτρησης	Μήκος	Ένδειξη
1	0	1,11
2	25	0,79
3	50	1,41
4	75	1,565
5	81	1,28
6	85,5	1,255
7	86,5	0,825

8	89,5	0,36
9	94	0,02
10	95	0

Δείγμα

Γ 95m (swash zone)

Προφίλ 4 (300m από προφίλ 4)

Μήκος Παραλίας(από το δρόμο): 154m

Αριθμός μέτρησης	Μήκος	Ένδειξη
1	0	1,81
2	25	1,94
3	50	1,93
4	75	2,28
5	100	2,08
6	125	2,15
7	138	1,28
8	144	1,18
9	148	0,58
10	152	0,1
11	154	0

Δείγμα

Δ 154m (swash zone)

Προφίλ 5 (450m από προφίλ 5)

Μήκος Παραλίας: 140,5m

Αριθμός μέτρησης	Μήκος	Ένδειξη
1	100	2,23
2	125	1,1
3	129	1,18
4	135	0,5
5	140	0,05
6	140,5	0

Δείγμα

Ε 140,5m

