

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ
ΣΑΡΤΖΕΤΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ



ΤΙΤΛΟΣ:
ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΠΑΡΑΛΙΑΣ
(ΠΑΡΑΛΙΑ ΚΟΛΥΜΒΑΡΙΟΥ –ΔΗΜΟΥ ΚΟΛΥΜΒΑΡΙΟΥ)

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΚΩΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΣΥΝΟΛΑΚΗΣ

ΧΑΝΙΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2014

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.Εισαγωγή.....	3
2.Βάσιμες εννοιές.....	5
2.1 Ακτογραμμή και παραλία.....	6
2.2 Δημιουργία παραλιών.....	6
2.2.1 Υλικό παραλιών και τρόποι κατάταξης τους.....	7
2.2.2 Διανομή ιζήματος στην παραλία.....	8
2.3 Εποχιακός μηχανισμός λειτουργίας παραλιών.....	9
2.3.1 Χειμώνας.....	9
2.3.2 Καλοκαίρι.....	10
2.3.3 Σύγκριση καλοκαιρινού.....	11
2.3.4 Ισχυρές κυματικές καταιγίδες-αίτια διάβρωσης παραλιών.....	13
3. Περιοχή μελέτης.....	15
3.1 Γεωλογία.....	17
3.2 Γεωμορφολογία	18
3.3.υδρογραφικό δίκτυο.....	26
4. Το πρόβλημα- Ανάλυση ιστορικών αεροφωτογραφιών.....	29
5. Μεθοδολογία.....	36
5.1 Μέθοδοι τοπογραφικών αποτυπώσεων στην ακτή.....	36
5.2 Μέθοδοι υπολογισμού και μέθοδοι μέτρησης των κυμάτων.....	42
6. Αποτελέσματα.....	46
6.1 Οι μετρήσεις και τα πειραματικά δεδομένα της παρούσας εργασίας.....	46
6.1.1Μετρησεις κυματων.....	46
6.2 κοκκομετρία-κοκκομετρική ανάλυση.....	52
6.3 Τοπογραφικές μεταβολές μετά από έντονα κυματικά συμβάντα.....	58
7. Συμπεράσματα.....	60
Βιβλιογραφία.....	67

1.Εισαγωγή

Η παρούσα διπλωματική εργασία «Διαχρονική εξέλιξη παραλίας :Η περίπτωση του Κολυμβαριου» έχει εκπονηθεί, στο πλαίσιο των προπτυχιακών υποχρεώσεων της Σχολής Μηχανικών Πειβαλλοντος. Στόχος είναι η μελέτη του μηχανισμού της πρόσφατης διαχρονικής και δυναμικής εξέλιξης μιας προσχωσιγενούς ακτής, δηλαδή ενός ευμετάβλητου φυσικού συστήματος.

Οι καθοριστικοί φυσικοί παράγοντες που διαμορφώνουν προσχωσιγενείς ακτές είναι: (U.S. Army Corps of Engineers. 2002)

α) ο μηχανισμός τροφοδοσίας της ακτής με φερτές ύλες,

β) ο μηχανισμός διευθέτησης των φερτών υλών στην ακτή

Προκειμένου να μελετηθούν αυτοί οι μηχανισμοί επιλέχτηκε, ως φυσικός «πειραματικός» χώρος, η παραλία του Κολυμβαριου Χανιών. Πρόκειται για μια προσχωσιγενή παραλία με μειωμένη, λόγω ανθρωπογενών παρεμβάσεων, τροφοδοσία από το ποταροχειμάρριο σύστημα της περιοχής. Η παραλία του Κολυμβαριου αποτελεί μια γεωμορφή με ανοιχτό προσανατολισμό προς Βορρα. Ως ανοιχτο φυσικό σύστημα επιτρέπει πολύ καλύτερα την παραμετροποίηση τόσο του μηχανισμού τροφοδοσίας όσο και του μηχανισμού διευθέτησης των φερτών υλών στην ακτή, σε σχέση με άλλες παραλίες. Ως όριο του υπό εξέταση του παράκτιου συστήματος χρησιμοποιήθηκε η υδροκριτική γραμμή.

Η υδροκριτική γραμμή εσωκλείει τον δυναμικό παράγοντα του υδρογραφικού δικτύου, του «μεταφορέα» δηλαδή των φερτών υλών μέχρι την ακτογραμμή. Το ανάγλυφο (η μορφολογία) που εμπεριέχεται στον άνω υδροκρίτη αποτελεί την λεκάνη απορροής, η οποία μαζί με τις βροχοπτώσεις (ποσότητα και ραγδαιότητα) καθορίζουν την δυναμική του υδρογραφικού δικτύου. Η γεωλογική δομή της λεκάνης απορροής επηρεάζει την δυναμική διαμόρφωση της ακτής, γιατί τα πετρώματα αποτελούν τα αρχικά υλικά, που μέσω της αποσάθρωσης και της διάβρωσης, παράγουν φερτά υλικά, που μέρος εξ αυτών καταλήγει στην ακτή και διαμορφώνει την έκταση και την ποιότητα της.

Ο προσανατολισμος της παραλίας του Κολυμβαριου(ανοιχτη προς Βορρα) αυξανει την ποικιλότητα του κυματικού δυναμικού, που αποτελεί τον κύριο παράγοντα διευθέτησης των πρόσφατων φερτών υλών κατά μήκος της ακτής και καθιστά ευκολότερη την παραμετροποίηση αυτού του παράγοντα. Έγινε

αξιοποίηση υφισταμένων πληροφοριών κυματικού καθεστώτος αλλά και νέων μετρήσεων των κυμάτων για ένα έτος. Οι πρωτογενείς αυτές μετρήσεις της παρούσας εργασίας, σε συνδυασμό με τις μετρήσεις μικρο-μεταβολών, που προκαλούνται στην ακτογραμμή από τον κυματισμό, επιτρέπουν την σε βάθος κατανόηση του μηχανισμού μορφοδυναμικής εξέλιξης της ακτογραμμής (U.S. Army Corps of Engineers 2002). Η κατανόηση αυτής της δυναμικής μπορεί να αποτελέσει ένα σημαντικό γνωστικό υπόβαθρο, που μπορεί να βρει εφαρμογή στο μεγάλο πρόβλημα της διάβρωσης των ακτών, και όχι μόνο του ελληνικού χώρου. Επίσης μπορεί να βρει εφαρμογή σε κατασκευαστικές παρεμβάσεις στις ακτές (πχ. αλιευτικά καταφύγια, λιμάνια, πρόβολοι, κυματοθραύστες, κ.α.) και μπορεί να προτείνει συγκεκριμένα εργαλεία σχεδιασμού της παράκτιας διαχείρισης.

2. Βασικές ενοιες

2.1 Ακτογραμμή και παραλία

Σύμφωνα με την Ελληνική νομοθεσία και τον νόμο 2971 της 19.12.2001, ΦΕΚ 285 Α' που αφορά την παράκτια ζώνη, ορίζεται ως :

«**Αιγιαλός**» είναι η ζώνη της ξηράς, που βρέχεται από τη θάλασσα από τις μεγαλύτερες και συνήθεις αναβάσεις των κυμάτων της.

«**Παραλία**» είναι η ζώνη ξηράς που προστίθεται στον αιγιαλό, καθορίζεται δε σε πλάτος μέχρι και πενήντα (50) μέτρα από την οριογραμμή του αιγιαλού, προς εξυπηρέτηση της επικοινωνίας της ξηράς με τη θάλασσα και αντίστροφα.

«**Παλαιός αιγιαλός**» είναι η ζώνη της ξηράς, που προέκυψε από τη μετακίνηση της ακτογραμμής προς τη θάλασσα, οφείλεται σε φυσικές προσχώσεις ή τεχνικά έργα και προσδιορίζεται από τη νέα γραμμή αιγιαλού και το όριο του παλαιότερα υφιστάμενου αιγιαλού.

«**Λιμένας**» είναι ζώνη ξηράς και θάλασσας μαζί με έργα και εξοπλισμό, που επιτρέπουν κυρίως την υποδοχή κάθε είδους πλωτών μέσων και σκαφών αναψυχής, τη φορτοεκφόρτωση, αποθήκευση, παραλαβή και προώθηση των φορτίων τους, την εξυπηρέτηση επιβατών και οχημάτων και την ανάπτυξη επιχειρηματικών δραστηριοτήτων, που συνδέονται άμεσα ή έμμεσα με τις θαλάσσιες μεταφορές.

«**Λιμενικά έργα**» είναι εκείνα, που εκτελούνται ολικώς ή μερικώς στον αιγιαλό, την όχθη, την παραλία ή την παρόχθια ζώνη, μέσα στη θάλασσα, στον πυθμένα της θάλασσας και στο υπέδαφος του βυθού, καθώς και εκείνα που επιφέρουν διαμόρφωση ή αλλοίωση των χώρων αυτών ή που προβλέπονται από τις διατάξεις περί Λιμενικών Ταμείων.

Παρακτια ζωνη-Ακτογραμμή ορίζεται το σημείο εκείνο που τα τρία κύρια φυσικά στοιχεία, ο αέρας, το νερό και η γη, συναντώνται. Δεν παραμένει σταθερή, αλλά μεταβάλλεται με το χρόνο σε δύο κλίμακες. Βραχυπρόθεσμα οι κυματισμοί μπορούν να μεταβάλλουν τη θέση της, ενώ μακροπρόθεσμα εξαρτάται από μεταβολές της Μέσης Στάθμης της Θάλασσας (ΜΣΘ), διάβρωση και την εναπόθεση ιζημάτων (προσχώση) με την διαδικασία της στερεομεταφοράς..

Ακτογραμμές οι οποίες θεωρούνται, από γεωλογικής σκοπιάς, «νέες» τείνουν να υποχωρούν και να διαβρώνονται. Με την πάροδο του χρόνου οι ακτογραμμές διαβρώνονται από τη κυματική ενέργεια και συγχρόνως εμπλουτίζονται με ίζημα το οποίο εισέρχεται σε αυτές από υδάτινες οδούς. Ως αποτέλεσμα σχηματίζεται το σύστημα παραλίας – αιγιαλού – θάλασσας (μέχρι το κρίσιμο βάθος), το οποίο σύστημα συνήθως αποκαλείται απλά παραλία.

Παραλίες ονομάζουμε τους γεωλογικούς σχηματισμούς οι οποίοι έχουν ομαλή κλίση και αποτελούνται από ιζηματογεννές υλικό, συνήθως άμμο ή βότσαλα, και έχουν την ικανότητα να παραμένουν σχετικά σταθερές σε βάθος χρόνου. Απορροφούν την κυματική ενέργεια και λειτουργούν σαν «προφυλακτήρας» για την παράκτια ζώνη. Συγχρόνως αποτελούν βιότοπους μεγάλης σημασίας, χρησιμοποιούνται ως χώρος αναψυχής και αποφέρουν σημαντικά οικονομικά οφέλη τόσο σε τοπικό όσο και σε εθνικό επίπεδο. Στην Κρήτη υπάρχει πληθώρα παραλίων, οι οποίες λόγω ανθρωπογενών παρεμβάσεων, διαβρώνονται με υψηλό ρυθμό.[1]

2.2 Δημιουργία παραλίων

2.2.1 Υλικό παραλίων και τρόποι κατάταξης του

Οι παραλίες αποτελούνται από υλικό (ιζήματα) το οποίο προέρχεται κυρίως από τρεις πηγές:

1. Διάβρωση γεωλογικών σχηματισμών της ενδοχώρας και μεταφοράς τους από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, ποτάμιας οδούς, πλημμύρες κλπ.
2. Αποσάθρωση των υπάρχοντων γεωλογικών σχηματισμών της ακτογραμμής.
3. Αποσαθρωμένους βιολογικούς παράγοντες, όπως κομμάτια και θρύψαλα κελυφών θαλασσίων οργανισμών, κοράλλια κλπ. [2]

Ενδεικτικά, στην πολιτεία Φλωριδα, των ΗΠΑ, σε μερικές παραλίες η συμμετοχή βιολογικών παραγόντων φτάνει το 40% της συνολικής ποσότητας άμμου. Το ίζημα κάθε παραλίας συνήθως διαφέρει από το περιοχή σε περιοχή. Για την κατάταξη και ταξινόμηση του μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι παρακάτω ιδιότητες:

- Το χαρακτηριστικό μέγεθος των κόκκων (mm).
- Το μέγεθος φ (καθαρός αριθμός, χρησιμοποιείτε κυρίως από γεωλόγους).
- Η σύσταση, δηλαδή η κατανομή μεγέθους κόκκων ανά μονάδα βάρους.
- Η ειδική βαρύτητα.
- Το χρώμα.
- Η ταχύτητα καθίζησης. [3]

Παραδείγματος χάρη, το ίζημα των παράλιων μπορεί να ταξινομηθεί ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων που το αποτελούν, ως εξής[4]:

Πίνακας 1. Γεωμετρική ταξινόμηση ιζηματογενών κόκκων (κλασματική σε mm) [4].

Ονομασία	Διάμετρος
Κροκάλες – πολύ χοντρόκοκκες έως μεσόκοκκες (Boulders)	4096 - 128 mm
Κροκάλες – μεσόκοκκες έως πολύ λεπτόκοκκες (Cobbles)	128 – 64 mm
Χαλίκι (Pebbles)	64 – 0,25 mm
Άμμος (Sand)	0,25 – 0,0078 mm
Ιλύς (Silt)	0,0078 – 0,00049 mm

Πίνακας 2. Αριθμητική ταξινόμηση ιζηματογενών κόκκων (λογαριθμική σε φ)

Ονομασία	Διάμετρος
Κροκάλες – πολύ χοντρόκοκκες έως μεσόκοκκες (Boulders)	-12 έως -7 mm
Κροκάλες – μεσόκοκκες έως πολύ λεπτόκοκκες (Cobbles)	-7 έως -4 mm
Χαλίκι (Pebbles)	-4 έως 2 mm
Άμμος (Sand)	2 έως 7 mm
Ιλύς (Silt)	7 έως 11 mm
Άργιλλος (Clay)	11 έως 12 mm

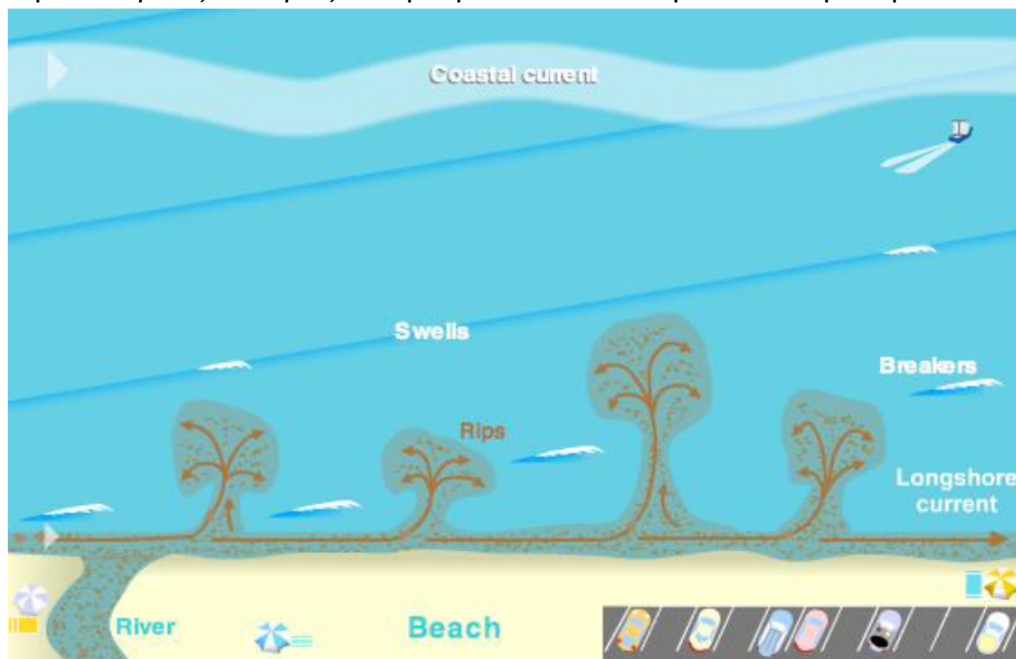
Το μέγεθος φ είναι ο αρνητικός λογάριθμος, με βάση 2, της διαμέτρου του ιζήματος μιας παραλίας, εκφρασμένος σε χιλιοστά, δηλ: $\varphi = -\log_2(D(\text{mm}))$. Είναι

αριθμός ανάστροφος της διαμέτρου $D(\text{mm})$, αφού λύνοντας την παραπάνω σχέση προκύπτει ότι $D(\text{mm}) = 2 \cdot \varphi$. Το μέγεθος φ χρησιμοποιείται γιατί τα περισσότερα ιζήματα παράλιων παρουσιάζουν κανονική κατανομή, όταν εκφραστούν σε μονάδες φ . Επίσης αν εκφραστεί το φ σε λογάριθμο με βάση το 10, προκύπτει: $\text{Log}_{10}(D(\text{mm})) = -\varphi \text{Log}_{10} 2 \rightarrow \varphi = -3,32 \text{Log}_{10}(D(\text{mm}))$. Σημειώνεται ότι από αυστηρά μαθηματική σκοπιά το φ είναι άστοχο, μαθηματικές συναρτήσεις, όπως ο λογάριθμος και το ημίτονο, είναι αδιάστατες.

2.2.2 Διανομή του ιζήματος στην παραλία

Κάθε παραλία αποτελείται από ίζημα συγκεκριμένης σύστασης, τα χαρακτηριστικά του οποίου εξαρτώνται από τους εκάστωτε γεωλογικούς σχηματισμούς της ακτογραμμής και των περιοχών που βρίσκονται πίσω από αυτήν. Μέρος της ακτογραμμής και των γεωλογικών σχηματισμών που βρίσκονται πίσω από αυτή, διαβρώνεται και οδηγείται μέσω ποταμών, πλημμυρών και άλλων υδάτινων οδών ή και ακόμα με τον αέρα, σε παραλίες. Αφού το ίζημα φτάσει στην παραλία, ανακατανέμεται και διανέμεται κάθετα και οριζόντια μέσω θαλάσσιων ρευμάτων ή και αιολικών δυνάμεων[5].

Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του, (διάμετρος, ειδικό βάρος κ.α.) και τις συνθήκες που επικρατούν (κύματα, ρεύματα, άνεμοι κ.α.) το ίζημα εναποτιθέται σε διάφορα σημεία της. Ως αποτέλεσμα μπορεί να αποτεθεί στην παραλία και να αυξήσει το πλάτος της, να σχηματίσει αμμοθίνες, να αναπληρώσει χαμένο ίζημα ή μπορεί να παρασυρθεί μακριά από την παραλία και να αποτεθεί σε περιοχή η οποία καλείται βαθιά νερά. Αυτή η περιοχή βρίσκεται μετά από ένα συγκεκριμένο σημείο, το οποίο διαφέρει από παραλία σε παραλία, και ονομάζεται κρίσιμο βάθος. Στην περιοχή αυτή, οι κοκκοί του ιζήματος δεν μπορούν πλέον να μεταφερθούν πίσω στην παραλία, καθώς οι δυνάμεις της βαρύτητας που προκαλούν καθίζηση στο σημείο αυτό είναι μεγαλύτερες από τις υδροδυναμικές δυνάμεις των ρευμάτων που επικρατούν στην παραλία.



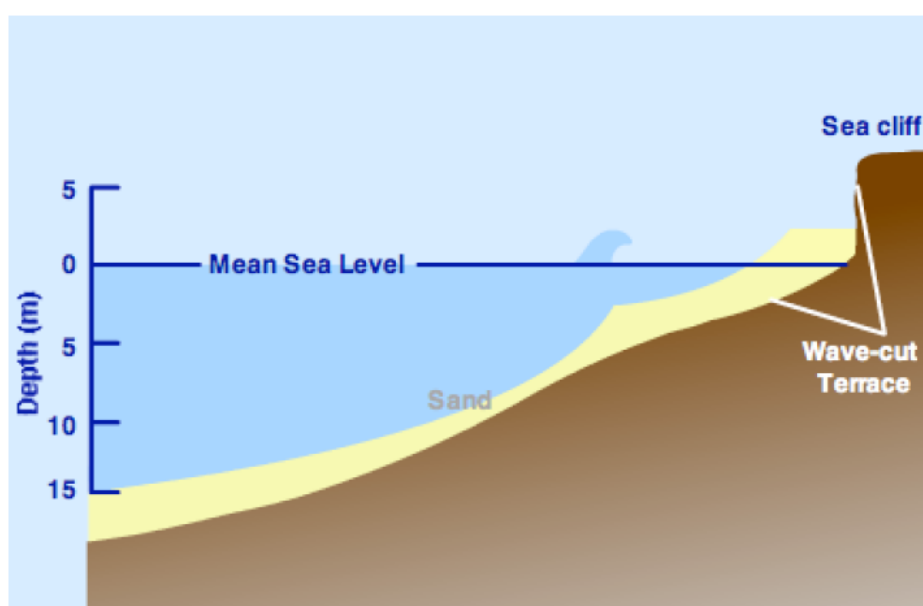
Εικόνα 2-1:Ιζηματομεταφορά σε παραλία[6]

2.3 Εποχιακός μηχανισμός λειτουργίας παράλιων

Μια παραλία είναι ένα ενεργό σύστημα, μέσα στο οποίο συμβαίνει εποχιακή μεταφορά μάζας (άμμου). Το χειμώνα τα καιρικά φαινόμενα, δηλαδή η αιολική και η κυματική ενέργεια και τα θαλάσσια ρεύματα, είναι μεγαλύτερα σε ένταση από ότι το καλοκαίρι. Τα καιρικά φαινόμενα μεταφέρουν ενέργεια, η οποία είναι συνάρτηση της έντασης τους, συνεπώς μια παραλία δέχεται μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας το χειμώνα, η οποία δύναται να την διάβρωση. Εξαιτίας της εισροής ενέργειας κάποια χαρακτηριστικά της, όπως η κλίση και το πλάτος της, παρουσιάζουν εποχιακή διακύμανση. Μια πιο ενδελεχής ανάλυση της εποχιακής διακύμανσης παρουσιάζεται παρακάτω, ξεκινώντας από το καλοκαίρι[6].

2.3.1 Καλοκαίρι

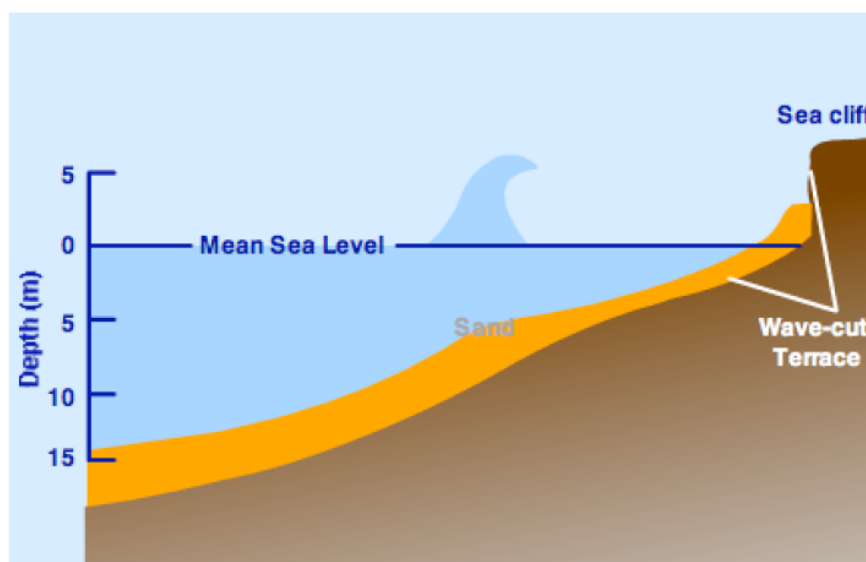
Το καλοκαίρι η κυματική ενέργεια που δέχεται μια παραλία είναι μικρότερη από αυτήν του χειμώνα. Τα κύματα που δέχεται μια παραλία μπορούν να χωριστούν σε δύο κύριες κατηγορίες, τα ανεμογενή κύματα και τα βουβά κύματα ή ρεστιά (swell waves). Τα ανεμογενή κύματα παράγονται κοντά στην παραλία και το αίτιο γέννησής τους είναι ο άνεμος. Η ρεστιά είναι κύματα που παράγονται μακριά από την παραλία και το αίτιο γέννησής τους είναι έντονα καιρικά φαινόμενα (καταιγίδες, έντονες θαλασσοταραχές κλπ). Αυτά δημιουργούν κυματισμούς οι οποίοι αρχίζουν να διασπείρονται στο θαλάσσιο χώρο και έτσι όταν πλέον φτάσουν στην παραλία έχουν διαχωριστεί σε ομάδες με κοινή περίοδο. Για το λόγο αυτό τα κύματα της ρεστιάς είναι πιο ομοιόμορφα και έχουν ηπιότερα χαρακτηριστικά από τα ανεμογενή κύματα. Το καλοκαίρι οι άνεμοι που πνέουν στην ευρύτερη περιοχή της Κρήτης είναι ήπιοι και έχουν πολύ μικρότερη ένταση σε σύγκριση με τον χειμώνα. Έτσι τα κύματα που επικρατούν είναι η ρεστιά, τα οποία έχουν την ικανότητα να παρασέρνουν ίζημα από τον θαλάσσιο χώρο που βρίσκεται κοντά στην παραλία (πριν από το κρίσιμο βάθος) και να το αποθέτουν στην στεριά. Με αυτό τον τρόπο η παραλία αποκτά μεγαλύτερο πλάτος και ηπιότερες κλίσεις από τις ανάλογες του χειμώνα[7].



Εικόνα 2-2:Θερινό προφίλ παραλίας

2.3.2 Χειμώνας

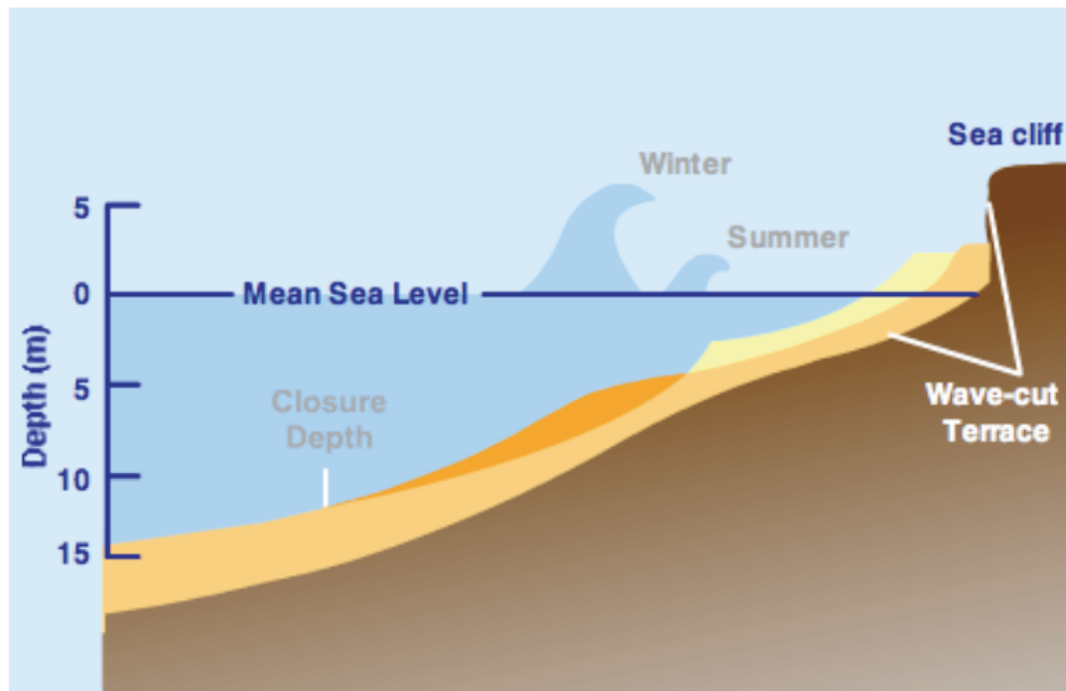
Το χειμώνα, η παραλία εκτός από ρεστιά δέχεται και ανεμογενή κύματα. Τα ανεμογενή κύματα έχουν είναι ανομοιόμορφα και πιο ψηλά απο την ρεστιά. Έτσι η παραλία πλημμυρίζει και παρασερνονται μεγάλες ποσότητες ιζήματος. Αυτές οι ποσότητες οδηγούνται στη θάλασσα, όπου και κατακάθονται και δημιουργούν έναν ή περισσότερους αναβαθμούς. Αυτοί οι αναβαθμοί βρίσκονται πριν απο την περιοχή βαθιών νερών και «μεταφράζονται» απο τα κύματα ως απότομες αλλαγές του βάθους του πυθμένα. Τα κύματα, αν συναντήσουν κάποιον αναβαθμό ο οποίος βρίσκεται σε μικρό βάθος σε σχέση με το ύψος κύματος θραύονται (ένας γενικός κανόνας είναι ότι η θραύση συμβαίνει όταν το ύψος κύματος προς το βάθος είναι περίπου 0,78 δηλ. όταν $H/d \sim 0,78$) και «απελευθερώνουν» μεγάλο μέρος της ενέργειας τους. Έτσι εξαιτίας της ύπαρξης αναβαθμών, η ενέργεια που δέχεται στην παραλία είναι πολύ μικρότερη απο την ενέργεια που είχε το κύμα πριν τον αναβαθμό. Με τον τρόπο αυτό τα κύματα πλέον δεν πλημμυρίζουν την παραλία και η περαιτέρω διάβρωση αποτρέπεται[8].



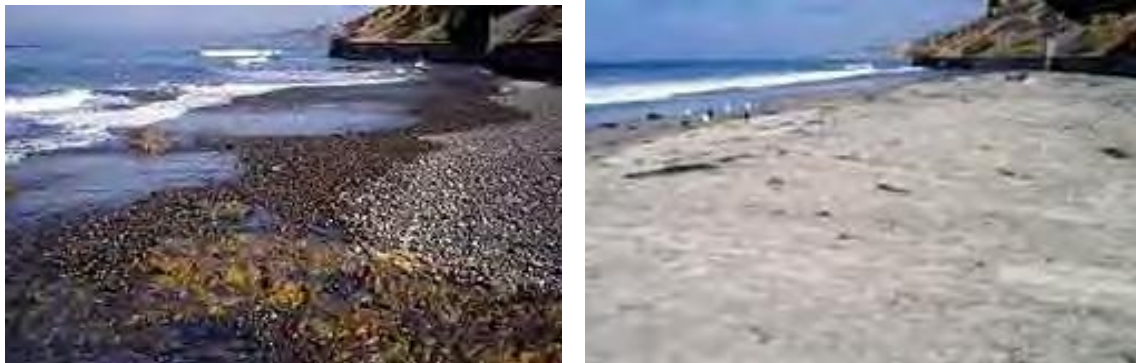
Εικόνα 2-3:Χειμερινό προφίλ παραλίας

2.3.3 Σύγκριση καλοκαιρινού με χειμερινό προφίλ

Το χειμώνα το πλάτος της παραλίας είναι μικρότερο απο αυτό του καλοκαιριού, αφού μέρος της έχει μετακινηθεί στη θάλασσα, δημιουργώντας έναν ή περισσότερους αναβαθμούς. Τους καλοκαιρινούς μήνες, όταν επικρατεί ρεστιά, το ίζημα απο τους αναβαθμούς επιστρέφει ξανά στην παραλία αυξάνοντας το πλάτος της. Στην εικόνα 4 φαίνεται η σύγκριση του χειμερινού με το καλοκαιρινό προφίλ, ενώ παρουσιάζεται σχηματικά ένας αναβαθμός, ο οποίος εμφανίζεται με καφέ χρώμα. Με ανοικτό κίτρινο παρουσιάζεται το ίζημα του αναβαθμού, το οποίο έχει επιστρέψει πίσω στην χερσαία ζώνη και έχει μεγαλώσει το πλάτος της[9].



Εικόνα 2-4: Σύγκριση χειμερινού με καλοκαιρινού προφίλ

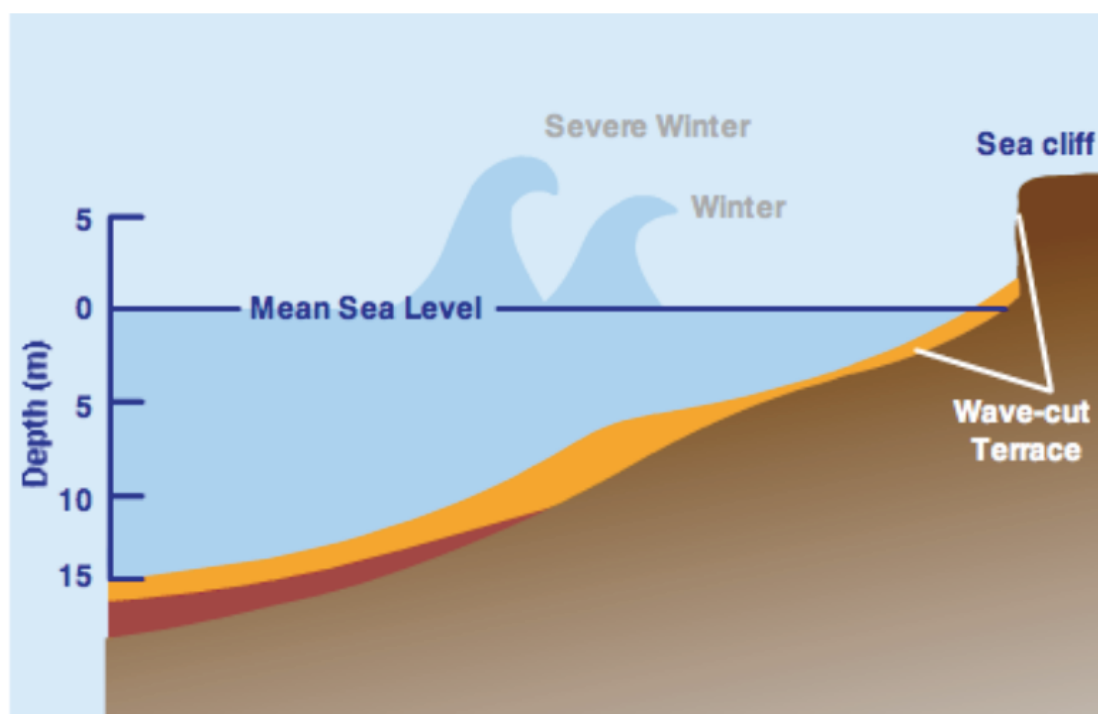


Εικόνα 2-5: Εποχιακός κύκλος παραλίας. Στα αριστερά (χειμώνας) τα κύματα καταιγίδας αλλά και αυτά που μεταφέρουν υψηλή ενέργεια μεταφέρουν την άμμο σε θαλάσσιους αναβαθμούς. Στα δεξιά (καλοκαίρι), η ενέργεια και το μήκος των κυμάτων είναι μικρότερη και η άμμος μεταφέρεται σταδιακά στην παραλία [10].

2.3.4 Ισχυρές κυματικές καταιγίδες - αιτία διάβρωσης παράλιων

Την χειμερινή περίοδο, κατά την διάρκεια μεγάλων κυματικών καταιγίδων, μέρος του ιζήματος μεταφέρεται πέραν των αναβαθμών και αποτίθεται σε περιοχή βαθιών νερών, όπου είναι πλέον αδύνατον να ξαναγυρίσει στην παραλία κατά την καλοκαιρινή περίοδο. Αυτός ο μηχανισμός προκαλεί την φυσική διάβρωση σε μια παραλία.

Η φυσική διάβρωση της παραλίας δεν είναι κάθε χειμώνα ίδια, αλλά εξαρτάται από τα ακραία καιρικά φαινόμενα και τις ισχυρές κυματικές καταιγίδες. Συνήθως αντισταθμίζεται, και στις πλύστες των περιπτώσεων, όπου δεν υπάρχει ανθρωπογενής παρέμβαση, υπερκεράζεται από τις διαδικασίες απόθεσης ιζήματος. Επίσης μια παραλία μπορεί να διαβρώθει και από ανθρωπογενείς παράγοντες. Όταν υπάρχει εκτεταμένη ανθρώπινη παρέμβαση σε μια παραλία τότε η διάβρωση μπορεί να είναι σημαντική. Σε αυτή την περίπτωση δεν είναι εφικτό να δημιουργηθούν αναβαθμοί. Έτσι τα χειμερινά κύματα που φτάνουν στην παραλία, δεν θα υποστούν θραύση ή η θραύση θα συμβαίνει πολύ κοντά στην ακτή. Τα κύματα αυτά θα μεταφέρουν μεγαλύτερη ενέργεια στην παραλία προκαλώντας πιθανές πλημμύρες και περαιτέρω διάβρωση.



Εικόνα 2-5: Σύγκριση κυματισμού δριμύ χειμώνα σε αντιδιαστολή με ήπιο χειμώνα[11].

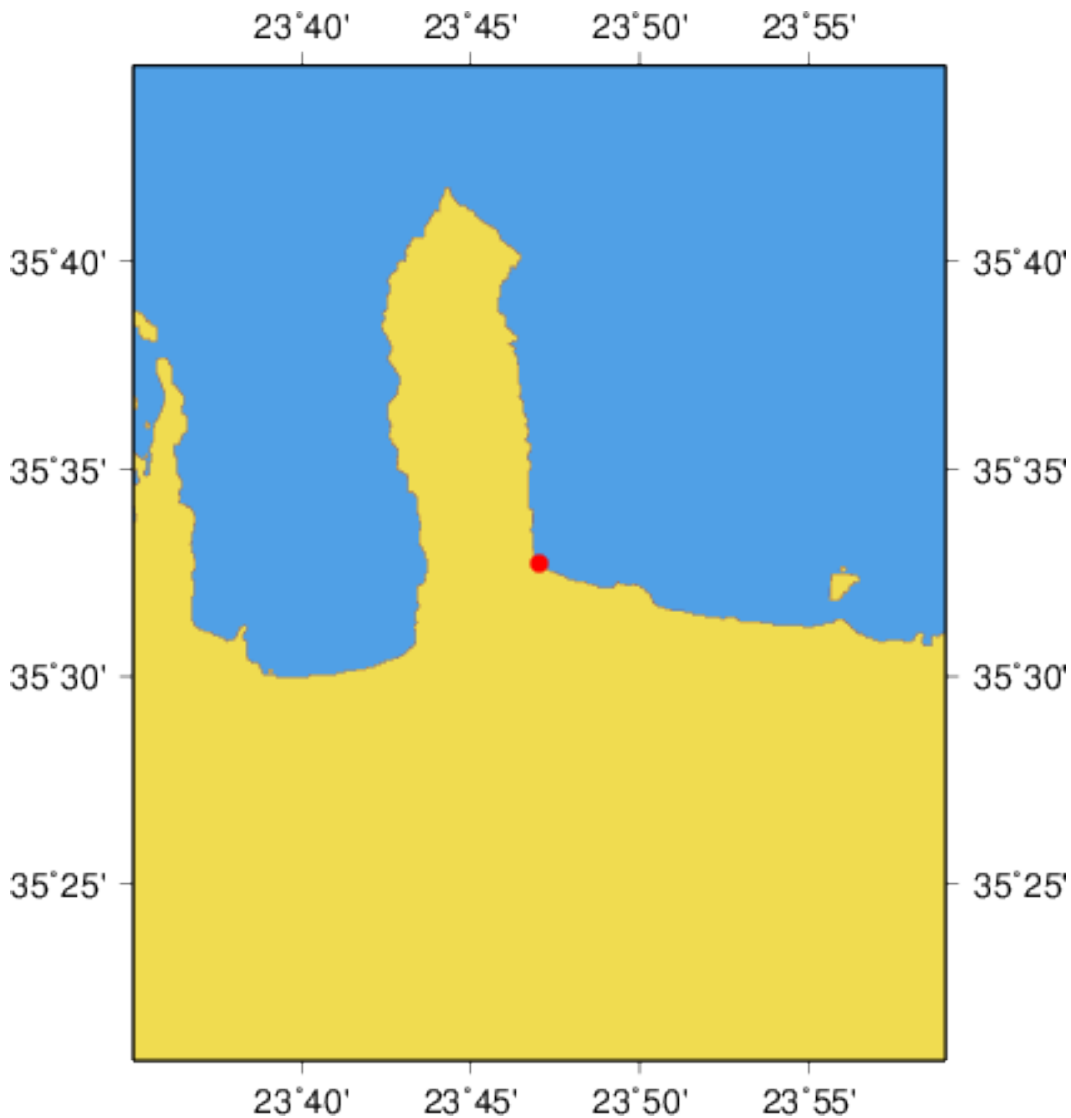
Όταν οι απώλειες ιζήματος αντισταθμίζονται από φυσικούς παράγοντες και ο μηχανισμός που περιγράφηκε παραπάνω (δημιουργία αναβαθμών) λειτουργεί φυσιολογικά, τότε η παραλία βρίσκεται σε ισορροπία (equilibrium beach profile) και δεν αναμένεται να παρουσιάσει διάβρωση. Σε αντίθεση, όταν υπάρχουν ανθρωπογενείς παρεμβάσεις στην παράκτια ζώνη, τότε η παραλία είναι πιθανόν εξαιτίας διαφόρων παραγόντων που θα εξεταστούν παρακάτω, είναι πιθανόν να παρουσιάσει διάβρωση.

Ανθρώπινες παρεμβάσεις όπως οι κατασκευές παράκτιων έργων, χωρίς τις κατάλληλες ακτομηχανικές μελέτες, οι αμμοληψίες από παραλίες, τον αιγιαλό και απο ποτάμια, η καταστροφή των αμμοθινών, η κατασκευή δρόμων ή κτηρίων πάνω στον αιγιαλό, μπορεί να αλλάξουν τις κυματικές συνθήκες, τις κυματικές διεργασίες και τα θαλάσσια ρεύματα. Αυτές οι επεμβάσεις μπορεί να μειώσουν το ενεργό πλάτος της παραλίας, μειώνοντας έτσι το ύψος του χειμερινού αναβαθμού, με τελικό αποτέλεσμα να παρουσιαστεί διάβρωση στην παραλία.

3. Περιοχή μελέτης

3.1 Οριοθέτηση περιοχής μελέτης

Η περιοχή μελέτης είναι το παράκτιο σύστημα του Κολυμβαρίου και συγκεκριμένα το δυτικότερο τμήμα της παραλίας το οποίο βρίσκεται υπό έντονη διάβρωση. Η οριοθέτηση της περιοχής μελέτης παρουσιάζεται στην εικόνα 3-1.



Εικόνα 3-1: Με την κόκκινη κουκίδα στον χάρτη παρουσιάζεται η περιοχή μελέτης.

Πιο συγκεκριμένα, στην εικόνα 3-2 (Google Earth, 2014) παρουσιάζεται η περιοχή μελέτης και τα όρια της. Το μήκος της μετρούμενης παραλίας είναι περίπου 335 μέτρα και το πλάτος της κυμαίνεται από μηδέν έως 23 μέτρα. Στην εικόνα 3-3 παρουσιάζεται η άποψη της παραλίας την καλοκαιρινή περίοδο.



Εικόνα 3-2:Με την κόκκινη γραμμό οριοθετείται ακριβώς η περιοχή μελέτης.



Εικόνα 3-3:Παραλία Κολυμβαρίου-περιοχή μελέτης κατά την θερινή περίοδο[12].

3.2 Γεωμορφολογικά στοιχεία

3.2.1 Γεωμορφολογία

Η Κρήτη θεωρείται ορεινή. Συγκεκριμένα 33% πεδινή, 26% ημιορεινή και 41% ορεινή. Τα βασικά ορεινά συγκροτήματα της Νήσου Κρήτης είναι προς τα δυτικά τα Λευκά όρη (2.454 m), στο κεντρικό τμήμα ο Ψηλορείτης (ή Ίδη, 2.456 m) και προς τα ανατολικά το όρος Δίκτη (2.147 m) και τα όρη Σητείας (1.476 m). Προς τα δυτικά και νότια οι υπώρειες των ορέων είναι απότομες και φθάνουν με μεγάλη κλίση προς τη θάλασσα, ενώ προς τα βόρεια του νησιού το ανάγλυφο είναι πιο ήπιο και λοφώδες (πεδιάδες Χανίων, Ρεθύμνου και Μαλίων). Η μεγαλύτερη πεδιάδα του νησιού βρίσκεται στο νότιο-κεντρικό τμήμα του (πεδιάδα Μεσσαράς, ενώ στο νότιο ανατολικό αναπτύσσεται η πεδιάδα της Ιεράπετρας. Ακόμα συναντώνται οροπέδια που μεγαλύτερα εξ αυτών θεωρείται του Ομαλού και του Λασιθίου.



Εικόνα 3-4: Γεωφυσικός χάρτης κρητης[13].

Το υδρογραφικό δίκτυο είναι πυκνό στο δυτικό τμήμα του νησιού, ενώ στο ανατολικό δεν είναι ιδιαίτερα αναπτυγμένο. Το απότομο ανάγλυφο και η συχνή εναλλαγή διαπερατών και αδιαπεράτων γεωλογικών σχηματισμών σε συνδυασμό με το μικρό εύρος του νησιού έχει ευνοήσει το σχηματισμό χειμάρρων και την εμφάνιση πηγών και όχι το σχηματισμό μεγάλων ποταμών.

3.2.1.1 Νομός Χανίων

Ο Νομός Χανίων χαρακτηρίζεται γενικά ως ορεινός, αφού το μεγαλύτερο μέρος της έκτασης του καταλαμβάνεται από το συγκρότημα των Λευκών Ορέων που τον χωρίζει σε δύο τμήματα, βόρειο και νότιο, με διαφορετικά μορφολογικά χαρακτηριστικά. Το έδαφος, ιδιαίτερα προς το νότο παρουσιάζει έντονες πτυχώσεις που σχηματίζουν κοιλάδες, ή διαδοχικές λοφώδεις και ορεινές μάζες που γενικά καθιστούν τη μετάβαση δύσκολη από περιοχή σε περιοχή και ειδικότερα από βορρά προς νότο.

Το μεγαλύτερο μέρος των πεδινών εκτάσεων βρίσκεται στο βόρειο τμήμα και εκτείνεται σε όλο το μήκος της ακτής, από τον κόλπο της Κισσάμου μέχρι τον όρμο του Αλμυρού. Όπως είναι φυσικό, η περιοχή αυτή είναι και η εντονότερα αναπτυσσόμενη, δεδομένου μάλιστα ότι διαθέτει και πλούσιο

υδάτινο δυναμικό, με αποτέλεσμα να συγκεντρώνει το μεγαλύτερο μέρος τόσο της γεωργικής, όσο και της τουριστικής δραστηριότητας. Στη νότια και δυτική ακτή του Νομού, η γεωργική γη είναι ελάχιστη και αποτελείται από μεμονωμένες «λωρίδες», όπως αυτές του Φραγκοκάστελλου, της Κουντούρας και των Φαλασάρνων. Τα παραπάνω είχαν ως φυσική συνέπεια την συγκέντρωση του συνόλου σχεδόν των δραστηριοτήτων και κατ' επέκταση του πληθυσμού στη βόρεια ζώνη. Το νότιο και κεντρικό τμήμα ήταν και εξακολουθούν να είναι υποβαθμισμένα και οικιστικά στάσιμα.

3.2.2. Γεωλογία

Η γεωλογική δομή της Κρήτης συνδέεται άμεσα με τη συνολική δομή της Ελλάδας, η οποία χωρίζεται σε διάφορες γεωτεκτονικές ζώνες με γενική διεύθυνση στον ηπειρωτικό χώρο ΒΔ – ΝΑ[14].

Η Κρήτη έχει μία πολύπλοκη γεωλογική δομή για την οποία έχουν διατυπωθεί διάφορες απόψεις. Ο κυρίως λογός φαίνεται ότι είναι η γεωτεκτονική θέση που κατέχει σε σχέση με τις δυο συγκλίνουσες λιθοσφαιρικές πλάκες, την Αφρικάνικη και την Ευρασιατική. Χαρακτηριστικό στοιχείο της δομής της είναι τα αλληπάλληλα τεκτονικά καλύμματα των διαφόρων ζωνών, τα οποία αναπτύσσονται στην ενότητα Ταλέα Όρη – των πλακωδών ασβεστολίθων.

Η Κρήτη αποτελείται από ένα σχετικά αυτόχθονο σύστημα πετρωμάτων που περιλαμβάνει την ημιμεταμορφωμένη ενότητα των πλακωδών ασβεστολίθων και τους υποκείμενους ασβεστολίθους, δολομίτες, με παρεμβολές σχιστολίθων (Αδριατικοϊόνιος ή Ιόνιος Ζώνη) και από ένα αλλόχθονο σύστημα, με επιμέρους καλύμματα το οποίο είναι επωθημένο πάνω στο αυτόχθονο και τέλος από τα νεότερα ιζήματα του Νεογενούς και του Τεταρτογενούς[14]. Το σχετικά αυτόχθονο σύστημα της Κρήτης αποτελεί η ακολουθία Ταλέα Όρη – Πλακώδεις ασβεστόλιθοι. Η ενότητα αυτή έχει ηλικία από τα Πέρμιο μέχρι το Ηώκαινο. Είναι ημιμεταμορφωμένη ενότητα και πιθανώς ανήκει στη ζώνη της Αδριατικοϊονίου (Ιόνιος Ζώνη), αποτελείται κυρίως από κλασικά ιζήματα, χωρίς ηφαιστειακά πετρώματα στη βάση, που εξελίσσονται σε τυπικούς «πλακώδεις ασβεστόλιθους» (μάρμαρα) που περιέχουν σε σημαντικό βαθμό κερατολιθικούς κονδύλους και πυριτικές ενστρώσεις. Εμφανίζονται επίσης μεγάλες μάζες άστρωτων (μετά)-ασβεστολίθων, δολομιτών ασβεστολιθικών κροκαλοπαγών και φυλλιτικών-χαλαζιακών πετρωμάτων. Το αλλόχθονο σύστημα αποτελείται από αλληπάλληλα τεκτονικά καλύμματα επωθημένα το ένα πάνω στο άλλο:

Τα νεογενή και πλειοπλειστοκαινικά ιζήματα αναπτύσσονται σε μεγάλες εκτάσεις. Αποτελούνται από ιζήματα χερσαίας, ποτάμιας, υφάλμυρης και θαλάσσιας φάσης. Τα τεταρτογενή ιζήματα είναι τοποθετημένα πάνω σε όλους τους σχηματισμούς τόσο του αλπικού υποβάθρου όσο και των νεογενών αποθέσεων και αποτελούνται από χερσαίες, θαλάσσιες έως λιμνοθαλάσσιες αποθέσεις, άμμων, κροκαλών, αργίλων και χαλίκων ασύνδετων έως ελαφρά συγκολλημένων.

3.2.2.1 Νομός Χανίων

Οι στρωματογραφικές ενότητες και τα τεκτονικά καλύματα που χαρακτηρίζουν την γεωλογική τομή των Χανίων είναι[17] :

A) Τεταρτογενείς αποθέσεις

Αποτελούνται από χαλαρά αργιλοαμμώδη υλικά, πηλούς, ψαμμίτες, κροκάλες, λατυπές ποικίλης σύστασης, ασύνεκτες έως συνεκτικά συνδεδεμένες και από υλικά του αλουβιακού μανδύα.

B) Αποθέσεις νεογενους

Συνίσταται από εναλλασσόμενα στρώματα κίτρινων, κιτρινοφαίων, κιτρινόλευκων μαργών με κλασσικούς μαργαικούς ασβεστόλιθους συχνά βιογενείς -υφαλογενείς, καλά στρωμένους σε πάγκους που το πάχος ποικιλεί από μερικά cm έως 1-2m. Συναντώνται ακόμα καμαργαϊκή ψαμμίτες, αμμούχες άργιλοι, λατύπες και κροκαλοπαγή.

Γ) Τεκτονικά καλύματα

→ Τεκτονικό κάλυμα ζώνης Πίνδου

Οι ανθρακικοί σχηματισμοί αυτού του τεκτονικού καλύματος παρουσιάζουν πολύ μικρή ανάπτυξη στο νομό χανίων. Εμφανίζονται στο βορειοδυτικό άκρο και στην περιοχή της Παλαιόχωρας και του Καστελιού.

→ Τεκτονικό κάλυμα ζώνης Τριπολης

Οι ανθρακικοί σχηματισμοί αυτού του καλύματος καταλαμβάνουν μεγάλο μέρος του Νομού. Βρίσκονται στην ενότητα των πλακωδών ασβεστολιθών είτε στους σχηματισμούς της φυλλιτικής -χαλαζιτικής ενότητας, με αποτέλεσμα στην βάση τους να παρουσιάζονται αρκετά κερματισμένοι λόγω τεκτονισμού.

→ Τεκτονικό κάλυμα φυλλιτικής -χαλαζιτικής ζώνης

Το κάλυμα αυτό καταλαμβάνει μεγάλη έκταση στο δυτικό τμήμα του νομού χανίων. Στην ενότητα αυτή επικρατούν ανθρακικοί ασβεστολιθοί σεριτικοί-χλωριτικοί φυλλίτες και χαλαζιακοί μεταψαμμίτες. Τα πετρώματα αυτά διακρίνονται από αδροκρυσταλικές φλέβες χαλαζία και φλέβες κατακερματισμένων ασβεστολιθών. Γνωρίσμα της ενότητας αυτής είναι η παρουσία γύψου στην ευρύτερη περιοχή Παλιόχωρας, Στομιού και Σουγιάς.

→ Τεκτονικό κάλυμα τρυπαιού

Αποτελεί το πρώτο τεκτονικό κάλυμα της Κρήτης. Βρίσκεται επωθημένο είτε στην ενότητα πλακωδών ασβεστολιθών είτε στο υποβαθρό τους που αποτελείται από την ενότητα των <<μαρμαρών-ασβεστολιθών-δολομιτικών μαρμαρών-δολομιτών>>. Εμφανίζει ανάπτυξη στην περιοχή του Ομαλού και των Λευκών Ορέων και αποτελείται από αστρωτά ανθρακικά πετρώματα.

Δ) Παρα-αυτοχθονη σειρά

→ Ενοτητα πλακωδων ασβεστολιθων

Προκειται για ανακρυσταλωμενους ασβεστολιθους που κατά θεσεις εχουν μεταμορφωθει σε μαραμαρα χρωματος τερφου η τεφρομαυρου.εμφανιζονται σε παγκους εκ των οποιων οι κατωτεροι είναι παχυστρωματωδεις.

→ Ενοτητα μαρμαρων-ασβεστολιθων-δολομιτικωνμαρμαρων-δολομιτων

Η εντότητα αυτή υπόκειται των <<πλακωδών ασβεστόλιθων>>. Είναι πετρώματα αβαθούς θάλασσας, μεσοκρυσταλικά, λεπτοστρωματώδη εως μεσοστρωματώδη η άστρωτα. Ο τεκτονισμός που έχουν υπστεί οι ανθρακινοι σχηματισμοί της ενότητας αυτής είναι ιδιαίτερα έντονος με αποτέλεσμα να εμφανίζονται αρκετά διαρηγμένοι με ζώνες λατυπαγών ιζηματογενούς προέλευσης. Πολλές φορές φέρουν φακούς πυριτικού υλικού [17].

3.3 Υδρογραφικο δίκτυο

Το ισχυρό ανάγλυφο του υδατικού διαμερισματος της Κρητής, οι μεγάλες ποσοτητές ατμοσφαιρικών κατακρημνισματών, η εκτασή του νησιού και η πολυπλοκή γεωλογική δομη του δημιουργούν ποικιλία στη διακίνηση του νερού τοσο του επιφανειακού όσο και του υπογειου. Ως αποτελεσμά αυτων παρατηρειται η ανάπτυξη πολλών μικρών υδρολογικών λεκανών που η έκταση τους δεν ξεπερνα τα 600 km².

Η συνολική αποροή που διακινειται ετησιώς επιφανειακά και προερχεται απο πηγαιά νερά η άπο απευθειάς απορροή των υδατορευματών για τα κυριοτερά υδατορευματά του νησιού ανερχεται σε 500*10⁶,m³ ετησιώς.Υπολογιζεται δε οτι μια επιπλεόν ποσοτήτα 450*10⁶ m³ διακινουνται ετησιώς μέσω τριών πηγών αλμυρού νερού.

Βάσει της αποφασής αριθμ.οικ. 706 της εθνικής επιτροπής υδατών (ΦΕΚ 1383/2-9-2010) με την οποιά καθοριζονται οι λεκανές απορόης ποταμών της χώρας καθώς και οι αρμοδιές περιφερειές για την διαχειρισή τους στο υδατικό διαμερισμά της Κρητής εντοπιζονται τρεις λεκανές απορροής ποταμών και συγκεκριμενά :

- GR39:Ρευματών βορειού τμηματος Χανιών-Ρεθυμνού-Ηρακλειού
- GR40:Ρευματών νοτιού τμηματος Χανιών-Ρεθυμνού-Ηρακλειού
- GR41:Ρευματών ανατολικής Κρητής



Εικόνα 3-9:Λεκανες απορροης Υδατικού Διαμερισματος Κρητης βαση της Αποφασης αριθμ. Οικ.706 της Εθνικης Επιτροπης Υδατων(ΦΕΚ 1383/2-9-2010)

3.2.3.1 Νομός Χανιών

Στο Νομό Χανιών υπάρχει πληθός ποταμών οι οποίοι τροφοδοτούνται απο το καρστικό συστήμα λευκών ορεών όπως ο Μουσελάς, Μεσοποταμός, Κοιλιάρης και Κεριτής και παρουσιάζουν μια ισοκατανομή της παροχής για ολή σχεδόν την διαρκεία του χρονού, εκτός από τους μηνές των βροχοπτώσεων όπου η παροχή τους αυξάνεται. Οι άλλοι χειμαροι που τροφοδοτούνται απο βροχοπτώσεις έχουν μεγάλες παροχές την περίοδο των βροχών και μετά αποξηραινούνται φερείπειν (Ταυρωνιτής, Σπηλιανός, Κλαδισός).

Στη Βορειά περιοχή του νομου καταληγουν περισσότερο βιαιες χειμαριες απορροες. Οι ποταμοι αυτοι δεν εχουν γενικα αξιολογες παροχες,ομως με την διαβρωση που δημιουργουν και τις αποθεσεις που πραγματοποιουν ,σε σχεση παντα με τις παλαιες τεκτονικες εξαρσεις, εχουν δημιουργησει τις κοιλαδες του Ταυρωνιτη, του Κεριτη-Αγυιας, της Σουδας, της Κισσαμου, της Γεωργιουπολης-Κουρνα και του στυλου-Αρμενων-καλυβων.

Η σημαντικότερη λίμνη του νομού είναι αυτής του Κουρνά που αποτελεί και σημαντικό υδροβιότοπο. Καταλαμβάνει έκταση 579 στρέμματα με μέγιστο βάθος 22,5 μετρα. Ο όγκος του νερού το καλοκαίρι ανέρχεται στα 7,5 εκατομμυρια m³. Την χειμερινή περίοδο και μέχρι την άνοιξη η στάθμη βρόσκειται στο χαμηλότερο επίπεδο λόγω της μείωσης του όγκου των υπόγειων υδάτων απο τα ορεινά, ενώ κατα την καλοκαιρινή περίοδο η στάθμη ανέρχεται [18].

Επίσης υπάρχει πλήθος πηγών που εκλύουν σημαντικές ποσότητες νερού όπως (19):

→Αγιάς : μέση παροχή $2,5 \text{ m}^3/\text{sec}$, Μέσος ετήσιος όγκος $80 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

→Μεσηλών:Μέση παροχή $2,5 \text{ m}^3/\text{sec}$, Μέσος ετήσιος όγκος $80 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

→Αναβάλλοντα: Μέση παροχή $1,0 \text{ m}^3/\text{sec}$, Μέσος ετήσιος όγκος $10 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

3.2.4 Υδρογεωλογία

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που συναντώνται στην Κρήτη με βάση την υδρολιθολογική τους συμπεριφορά διαχωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

Καρστικοί σχηματισμοί

-Υψηλής έως μέτριας διαπερατότητας (Κ1). Ασβεστόλιθοι,δολομίτες,κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι,μάρμαρα υψηλής έως μέτριας υδροπερατότητας

-Μέτριας έως μικρής υδροπερατότητας (Κ2) .Περιλαμβάνουν ασβεστόλιθους της ζώνης της Πίνδου,κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους Ιουρασικής-Ηωκαινικής ηλικίας της Ιονίου ζώνης και τις μικρότερες ανθρακικές εμφανίσεις των εσωτερικών καλυμμάτων.

-Μειοκαινικά ασβεστολιθικά λατυκροκαλοπαγή Τοπολίων, μέτριας έως υψηλής υδροπερατότητας (Κ3). Παρουσιάζουν τόσο πρωτογενές όσο και δευτερογενές πορώδες και φιλοξενούν σημαντικές υδροφορίες που εκφορτίζονται μέσω αξιόλογων πηγών.

Κοκκώδεις σχηματισμοί

-Κοκκώδεις προσχωματικές κυρίως αποθέσεις κυμαινόμενης υδροπερατότητας (Π1). Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι αλλουβιακές αποθέσεις,οι ποτάμιες και θαλάσσιες αναβαθμίδες, τα κροκαλοπαγή ποτάμιας προέλευσης,τα πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων όταν έχουν σημαντική εξάπλωση

-Μειοκαινικές και πλειοκαινικές αποθέσεις μέτριας έως μικρής υδροπερατότητας (Π2). Περιλαμβάνουν κροκαλοπαγή και μαργαικοί ασβεστολιθοί των νεογενών σχηματισμών που φιλοξενούν επιμέρους υπόγειες υδροφορίες μέσου εως μικρού δυναμικού.

-Κοκκώδεις μη προσχωματικές αποθέσεις μικρής έως πολύ μικρής υδροπερατότητας(Π3). Στην κατηγορία αυτή ανήκουν πλειοκαινικές και μειοκαινικές μάργες καθώς και ο αδιαίρετος σχηματισμός νεογενούς.Τοπικά στον αδιαίρετο σχηματισμό των νεογενών αναμένεται η ανάπτυξη ασθενών υδροφοριών μέσα σε παρεμβολές κροκαλοπαγών η μαργαικών ασβεστόλιθων.

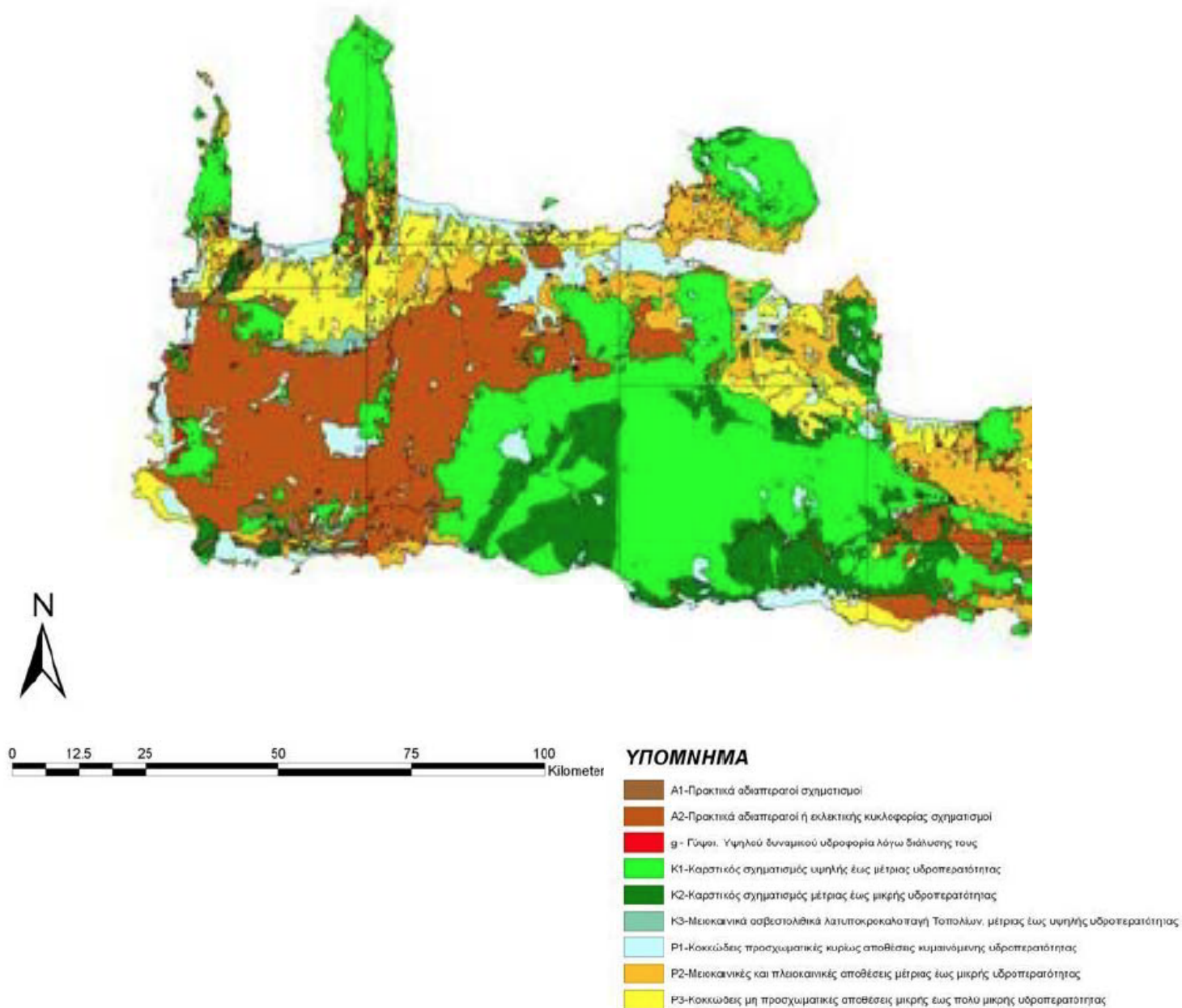
Αδιαπέρατοι σχηματισμοί

-Πρακτικά αδιαπέρατοι σχηματισμοί μικρής έως πολύ μικρής υδροερατότητας(A1). Περιλαμβάνονται οι σχηματισμοί του φλύσχη και τα ελαφρώς μεταμορφωμένα αργιλικά ιζήματα των διάφορων ζωνών. Κατά θέσεις εντός των στρωμάτων του φλύσχη αναπτύσσονται τοπικού χαρακτήρα υδροφορίες μικρού έως μέσου δυναμικού.

-Πρακτικά αδιαπέρατοι η εκλεκτικής κυκλοφορίας σχηματισμοί μικρής έως πολύ μικρής διαπερατότητας(A2). Συμμετέχουν στην κατηγορία αυτή τα μεταμορφωμένα και πυριγενή πετρώματα των διάφορων ζωνών και καλυμμάτων. Κατά θέσεις στους σχηματισμούς αυτούς ,τόσο εξαιτίας του έντονου κερματισμού τους όσο και εξαιτίας της πετρολογικής σύνθεσης τους αναπτύσσονται επιμέρους τοπικού χαρακτήρα υδροφορίες.

Γύψοι

-Στον σχηματισμό των γύψων αναπτύσσεται ύψηλου δυναμικού υπόγεια υδροφορία με υψηλή περιεκτικότητα σε θειικά ιόντα εξαιτίας της διάλυσης τους.



Εικόνα 3-10:Υδρολιθολογικός χάρτης Νομού Χανίων[20].

Σύμφωνα με τη διεύθυνση Υδάτων ,Τμήμα Παρακολούθησης και Ελέγχου της ποιότητας των Υδάτων Περιφέρειας Κρήτης [21] διαχωρίζονται οι εξής υδρογεωλογικές ενότητες:

A) ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΕΝΟΤΗΤΕΣ ΚΑΡΣΤΙΚΗΣ ΥΡΟΦΟΡΙΑΣ

Σε αυτή ανήκει το :

A1. Υδρογεωλογικό σύστημα Δίκτη για του οποίου την παρακολούθηση έχουν εγκατασταθεί πέντε σταθμοί: στα μάλλια, στο Σίσι, στους μύθους Ιεράπετρας, στο Νιπιδιτό Αρκαλοχωρίου και στα λακώνια Λασιθίου.

A2.Υδρογεωλογικό σύστημα Αστερούσιων Ορέων για την παρακολούθηση του οποίου η περιφέρεια Κρήτης έχει εγκαταστήσει σταθμό στον Πύργο

A3. Υδρογεωλογικό σύστημα Ψηλορείτη για την παρακολούθηση του οποίου η περιφέρεια Κρήτης έχει εγκαταστήσει σταθμό στον Άγιο Μυρωνα.

A4. Υδρογεωλογικό σύστημα Λευκών Ορέων για την παρακολούθηση του συστήματος αυτού η Περιφέρεια Κρήτης έχει εγκαταστήσει πέντε σταθμούς στην Αγυια,στους Στύλους,στο Νιο-χωριό,στη λιμνη του Κουρνά και στο κολένι.

A5.Υδρογεωλογικό Σύστημα Κολενίου

A6.Υδρογεωλογικό σύστημα Ορνου-Θρύπτης

A7.Υδρογεωλογικό σύστημα Σητείας-Παλαίκαστρου

B)ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΕΝΟΤΗΤΕΣ ΝΕΟΓΕΝΟΥΣ-ΠΡΟΣΧΩΣΙΓΕΝΟΥΣ ΥΔΡΟΦΟΡΙΑΣ

Περιλαμβάνει τα εξής

B1.Λεκανη Ανω Βιαννου

B2.Λεκανη Εμπαρου

B3. Λεκανη Μεσσαρά στην οποία η περιφερεια Κρητης έχει εγκαταστησει ενα σταθμο στο κεντρο της λεκανης στην περιοχή των Πραιτωρίων

B4.Δυτική Μεσσαρά στην οποία η περιφερεια Κρητης έχει εγκαταστησει ενα σταθμο στις λεκανες Ασημιου-Μοιρων-Πομπιας

B5.Προσχωματική Λεκανη Ρεθυμνου



Εικόνα 3-11:Χάρτης με τις περιοχές που ισχύουν απαγορευτικά μέτρα για αντλήση στην Περιφέρεια Κρήτης[21].

3.2.5 Περιγραφή ακτογραμμών Κρήτης

Οι ακτές της Κρήτης μπορούν να χαρακτηριστούν πολυσχιδείς, καθώς σχηματίζουν πολλές προεξοχές, συνήθως βραχώδεις που καταλήγουν σε ακρωτήρια. Ωστόσο οι βόρειες παρουσιάζουν σημαντική διαφοροποίηση από τις νότιες αφού εμφανίζουν αξιόλογο διαμελισμό και δημιουργούν χερσονήσους που εναλλάσσονται με ευρείς και βαθύς κόλπους απο τους οποίους ξεχωρίζουν:

- α) της Κισάμου, στο ΒΔ άκρο του νησιού, μεταξύ Γραμβούσας και Ροδωπού, που προέκυψε απο ρηγματα καθετα προς την ακτογραμμή.
- β) των Χανίων, ανατολικότερα, που φτάνει μέχρι την χερσόνησο του Ακρωτηρίου
- γ) της Σουδάς, ο καλύτερα προφυλαγμένος απο τους ανέμους, στα νότια της τελευταίας
- δ) του Αλμυρού, ανάμεσα στα ακρωτήρια Δρέπανο και Λιανός Κάβος, ανοιχτός στα βόρεια με επίκεντρο το αγκυροβόλιο Ρεθύμνου
- ε) του Ηρακλείου ,παρομοίος με το προηγούμενο που ορίζεται απο τα ακρωτήρια της Αγίας Πελαγίας και της χερσονήσου περιλαμβάνοντας το λιμάνι του Ηρακλείου και
- στ) του Μιράμπελλου, του μεγαλύτερου της Κρήτης, με αρκετούς όρμους στο εσωτερικό του, που βρίσκεται κοντα στο ανατολικό άκρο του νησιού μεταξύ των Κάβων του Αγ. Ιωάννη και της Φανερωμένης.

Αντίθετα με τα βόρεια παράλια, στα νότια, η ακτογραμμή χωρίζεται σε δύο σχεδόν ευθύγραμμα τμήματα. Το λίγο μικρότερο , ξεκινά απο το ακρωτήριο Κριό, και με κατεύθυνση Ανατολικά-ΝοτιοΑνατολικά φτάνει μέχρι τον κόλπο της Μεσαράς.

4. Το Πρόβλημα της Διάβρωσης-Αναλυσή ιστορικών αεροφωτογραφιών

Μια εμπεριστατωμένη ανάλυση της διάβρωσης των παραλιών της Κρήτης προϋποθέτει ένα υπερ-υπολογιστικό προσομοιωτή της γεωλογίας που κινούμενη από κλιματικά μοντέλλα θα παρήγαγε ποσοτικές εκτιμήσεις για χρονοσειρές αποροών. Σε συνάρτηση με γεωχημικές προσομοιώσεις των αποροών θα έδινε εκτιμήσεις για τους όγκους φερτών υλών σε παραλίες, ενώ ένα υπολογιστικό μοντέλο αποσάθρωσης και εναπόθεσης ιζημάτων - κινούμενο από ατμοσφαιρικά δεδομένα - θα παρήγαγε εκτιμήσεις για την διαχρονική εξέλιξη συγκεκριμένης παραλίας.

Δυστυχώς τέτοια υπολογιστικά μοντέλλα δεν υπάρχουν, και ακόμη και για την εξέλιξη παραλιών, οι προσομοιώσεις δεν περιλαμβάνουν γεωλογικά στοιχεία. Οι προσομοιώσεις, στην πιο εξελιγμένη τους μορφή, δέχονται κυματικά δεδομένα και σε υπεραπλουστευμένα προφίλ παραλιών, παράγουν εκτιμήσεις για την διαχρονική εξέλιξη. Είναι λοιπόν προφανές ότι οποιαδήποτε εκτίμηση στα χρονικά πλαίσια μιας πτυχιακής εργασίας χρειάζεται να βασισθεί σε ιστορικά στοιχεία και δεδομένα. Το κατά πόσον εκτιμήσεις για την εξέλιξη στο παρελθόν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μελλοντικές προβλέψεις, αυτό δεν είναι υποχρεωτικά αυταπόδεικτο. Αυτό που είναι αυταπόδεικτο είναι ότι οι εκτιμήσεις με βάσει ιστορικά στοιχεία θα είναι χρήσιμες για την βαθμονόμηση οποιονδήποτε μελλοντικών υπερ-υπολογιστικών μοντέλλων.

Ένας από τους πιο αποτελεσματικούς τρόπους για να γίνουν αντιληπτές οι αλλαγές σε παράκτιες περιοχές σε βάθος χρόνου είναι με την χρήση αεροφωτογραφιών. Επιτρέπουν την κατανόηση της εξέλιξης της ακτογραμμής καθώς και της αλλαγές που προήλθαν από ανθρωπογενείς παρεμβάσεις. Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκαν αεροφωτογραφίες από το 1941, 1973, 1983 και δορυφορικές φωτογραφίες (Google Earth) από το 2005 και 2012).

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ήταν η αποτύπωση της κάθε ιστορικής αεροφωτογραφίας πάνω στην δορυφορική φωτογραφία του Google Earth μέσω του εργαλείου image overlay.



Εικόνα 5.1: Αεροφωτογραφία Παραλίας Κολυμβαρίου 1941[27]



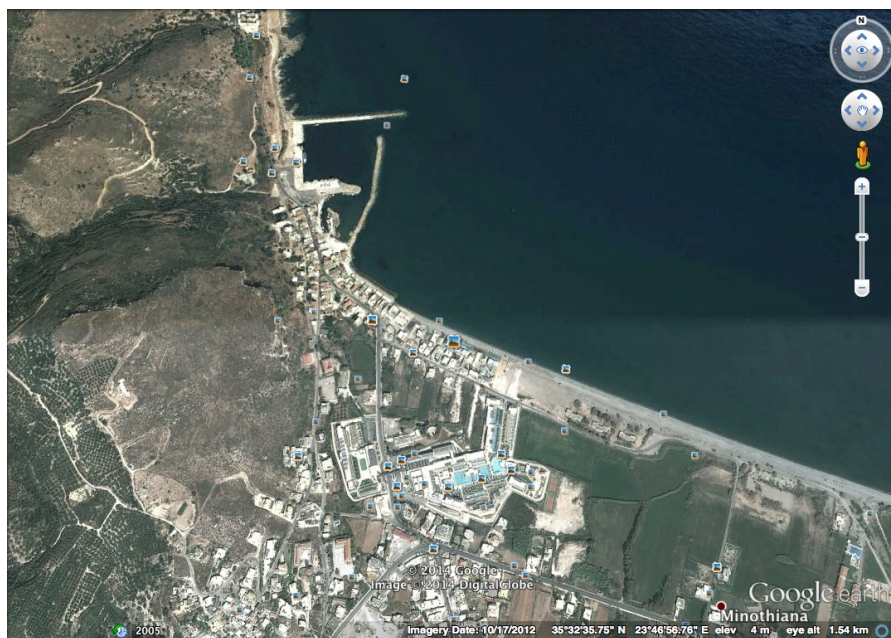
Εικόνα 5.2: Αεροφωτογραφία παραλίας Κολυμβαρίου 1973[28].



Εικόνα 5.3: Αεροφωτογραφία παραλίας Κολυμβαρίου 1983[29].



Εικόνα 5.4:Δορυφορική εικόνα παραλίας Κολυμβαρίου 2005[30]



Εικόνα 5.5:Δορυφορική εικόνα παραλίας Κολυμβαρίου 2012[31]

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία τοποθετεί της αεροφωτογραφίες πάνω στην δορυφορική εικόνα του Google Earth. Με βάσει τέσσερα σταθερά σημεία μεταξύ της κάθε αεροφωτογραφίας και των δορυφορικών φωτογραφιών εξήχθηκαν συμπεράσματα για την παραμόρφωση της ακτογραμμής.



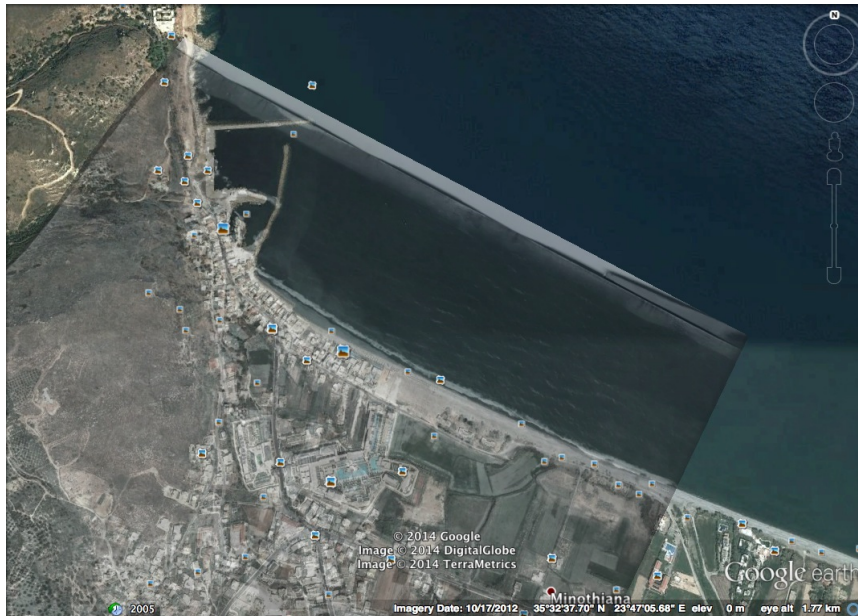
Εικόνα 5.6: Αεροφωτογραφία 1941 τοποθετημένη πάνω στην δορυφορική εικόνα 2012

Όπως φαίνεται από την παραπάνω εικόνα υπάρχει μεγάλη υποχώρηση της ακτογραμμής που κυμαίνεται από τα 67-70 μέτρα στα δυτικά και φτάνει στα 52-56 μέτρα στα ανατολικά.



Εικόνα 5.7: Αεροφωτογραφία του 1973 τοποθετημένη πάνω στην δορυφορική εικόνα του 2012.

Συγκρινόντας τις εικόνες του 1973 και 2013, παρατηρείται υποχώρηση της ακτογραμμής περίπου 35 μετρά στα δυτικά και 25 μετρά στα ανατολικά .



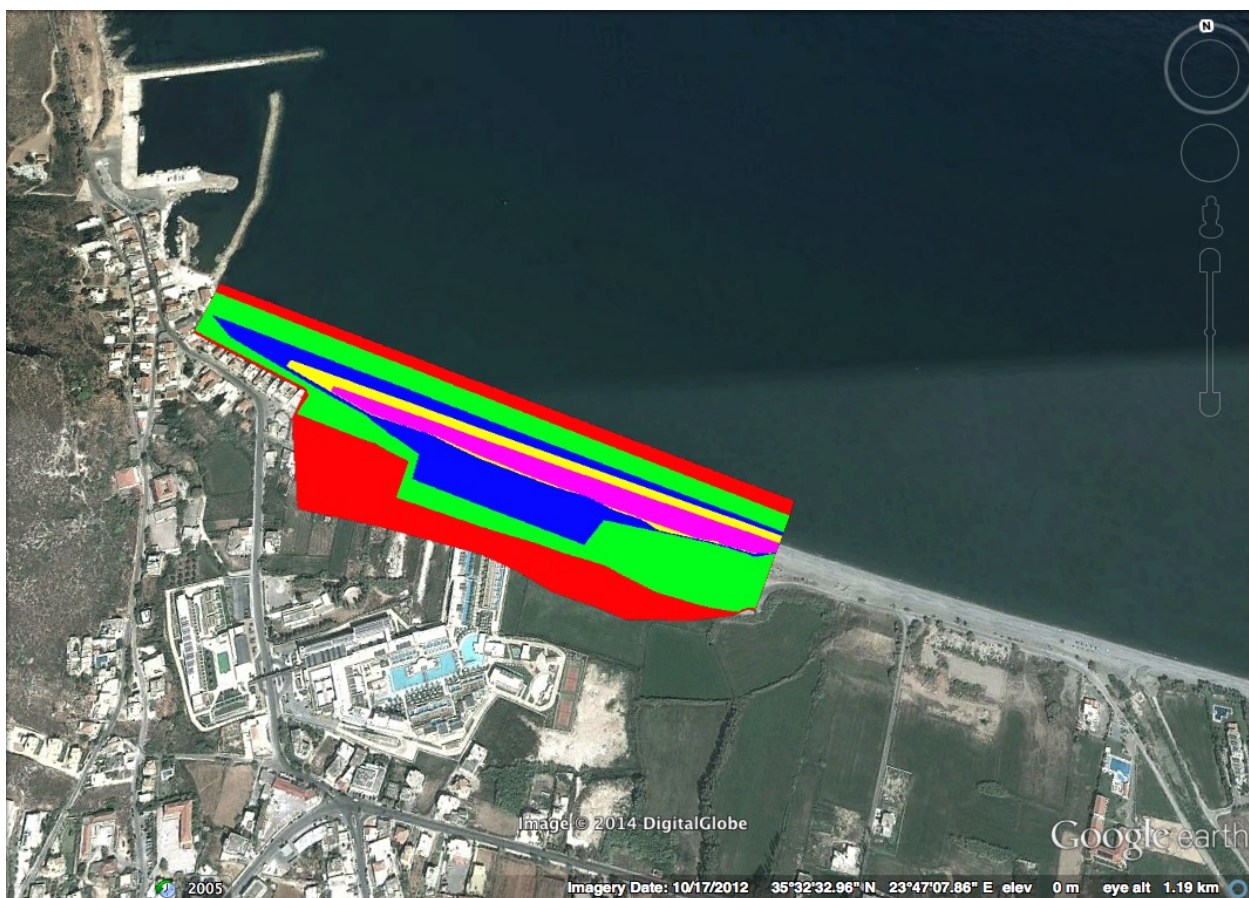
Εικόνα 5.8: Αεροφωτογραφία 1983 τοποθετημένη σε δορυφορική εικόνα του 2012

Στην περίοδο 1983 έως 2012 η σύγκριση δείχνει υποχώρηση κατά 25 μέτρα από τα δυτικά και περίπου 15 μέτρα προς τα ανατολικά



Εικόνα 5.9: Αεροφωτογραφίες 1941, 1973, 1983 τοποθετημένες πάνω στην δορυφορική εικόνα του 2012. Με μπλέ χρώμα αναπαρίσταται η ακτογραμμή της παραλίας του κολυμβαρίου το 1941, με πράσινο του 1973, με κίτρινο του 1983 και με κόκκινο του 2012.

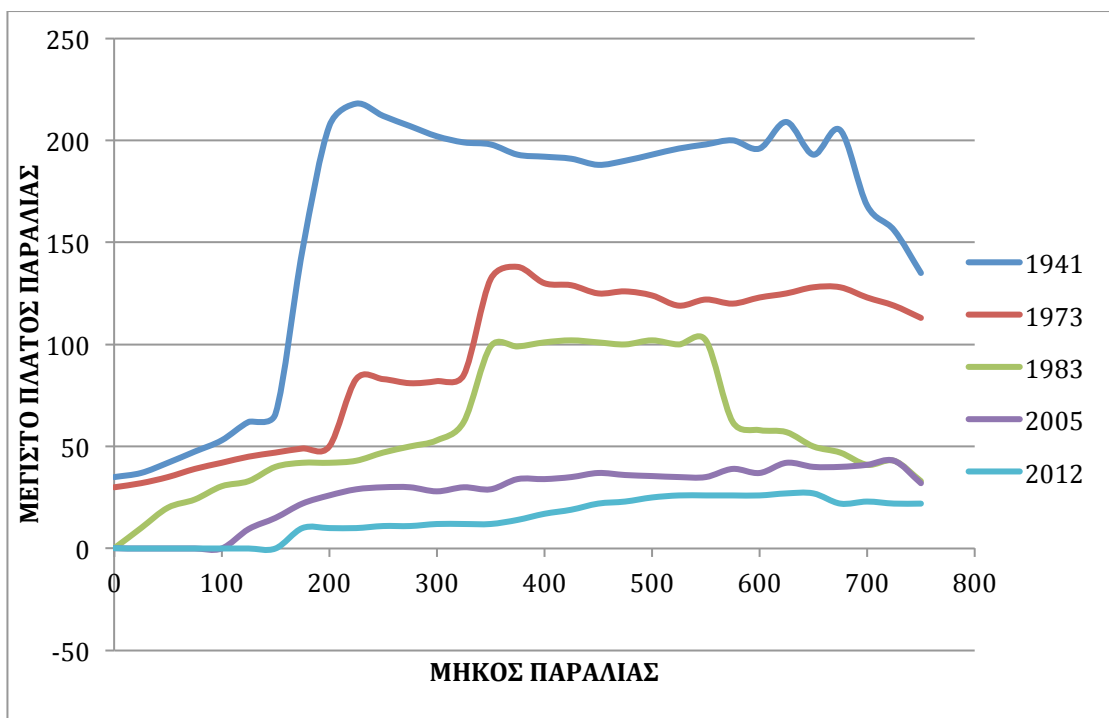
Επιπλέον είναι σημαντικό να εκτιμηθεί η έκταση της αμμώδους παραλίας που χάθηκε. Με την ίδια μέθοδο όπως πριν, χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο του πολυγώνου και εκτιμηθήκε σε κάθε περίπτωση η συνολική έκταση της αμμώδους παραλίας.



Εικόνα 5.10:Με κόκκινο χρώμα είναι η συνολική έκταση της αμμώδους παραλίας του κολυμβαρίου το 1941,με πράσινο χρώμα ,η έκταση του 1973,με μπλέ του 1983,με κίτρινο η έκταση το 2005 και με μώβ η έκταση το 2012

Με αυτο τον τροπο υπολογιστηκέ η εκαστοτε εκτασή [32].

Χρονολογία	Έκταση Km ²	Περιμετρο Km
1941	0.1202	1.804
1973	0.0729	1.710
1983	0.0459	1.586
2005	0.0202	1.284
2012	0.0105	1.136



Εικόνα 5.11: Το μέγιστο πλάτος της παραλίας του Κολυμβαριού σε σχέση με το συνολικό μήκος σε διαφορετικές χρονολογίες.

5. Μεθοδολογία

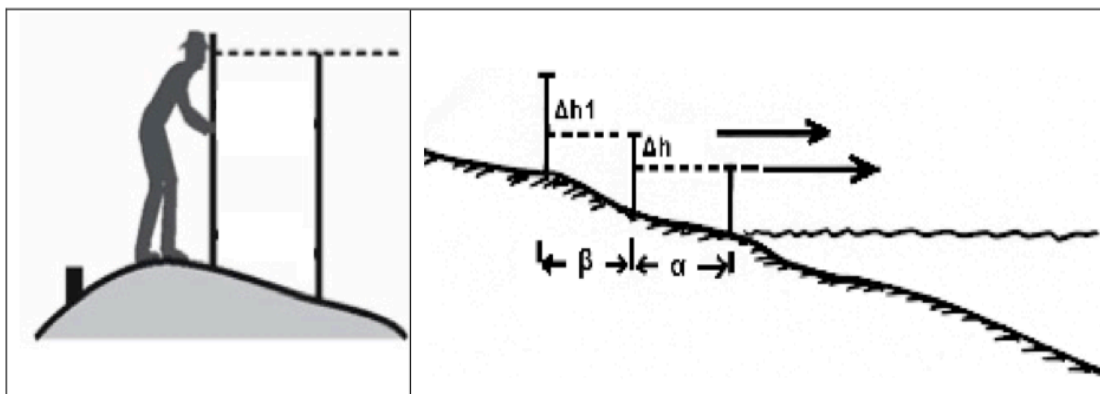
5.1 Μέθοδοι τοπογραφικών αποτυπώσεων στην ακτή

Για την μέτρηση σημείων στο χώρο, γνωστή ως τοπογραφική αποτύπωση, είναι απαραίτητη η χρήση μετρητών υψηλής ακριβείας. Είναι γεγονός ότι, η τεχνολογική ανάπτυξη και η εξέλιξη των τοπογραφικών οργάνων, καθώς και των προγραμμάτων επεξεργασίας μετρήσεων του πεδίου, έχει αυξήσει σε μεγάλο βαθμό την αξιοπιστία και ακρίβεια τόσο των μετρήσεων όσο και των αποτελεσμάτων.

Οι τοπογραφικές έρευνες διαφοροποιούνται από περιοχή σε περιοχή. Η τοπογραφική μέθοδος που επιλέγεται για συγκεκριμένη περιοχή, σχετίζεται με την κλίμακα, το μέγεθος, την προσβασιμότητα της περιοχής και τα αποτελέσματα σχετικών ερευνών. Για άμεση αποτύπωση αλλαγής της μορφής της παράκτιας ζώνης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν η μέθοδος του ορίζοντα, ο χωροβάτης, ο θεοδόλιχος και το Παγκόσμιο Σύστημα Θεσιθεσίας (GPS). Οι τοπογραφικές αποτυπώσεις είναι από τις πιο σημαντικές διαδικασίες για την διερεύνηση της εξέλιξης της ακτογραμμής, του όγκου της παραλίας και αλλαγών στο υποθαλάσσιο μέρος.

5.1.1 Μέθοδος του Ορίζοντα

Τα βαθμονομημένα κοντάρια - Μέθοδος του ορίζοντα (Emery Rods): είναι ο πιο οικονομικός τρόπος για αποτύπωση της παραλίας (Krause 2004). Ο απαραίτητος εξοπλισμός είναι δυο κοντάρια ύψους 2m και μια μετροταινία 50m (εικόνα 5-1). Επάνω σε μια γραμμή που είχε οριστεί, πραγματοποιούνται μετρήσεις κάθε λίγα μέτρα (ή σε αξιοσημείωτες υψομετρικές αλλαγές) και καταγράφεται η διαφορά στο υψόμετρο με χρήση του ορίζοντα, της διακριτής γραμμής θάλασσα – αέρας, ως οριζοντιόμετρο.



Εικόνα 5-1: Μέθοδος ορίζοντα για τοπογραφική αποτύπωση

5.1.2 Μέθοδος Χωροβάτη

Ο Χωροβάτης - rod level - είναι ένα απλό, οικονομικό και αξιόπιστο όργανο για την αποτύπωση υψομετρικών διαφορών σε μια σχεδιασμένη τομή. Το μειονέκτημα είναι ότι οι μετρήσεις είναι χρονοβόρες, γιατί όλες οι αναπαραγωγές και καταγραφές των προφίλ γίνονται χειρωνακτικά (εικόνα 5-2). Ο απαραίτητος εξοπλισμός του χωροβάτη είναι ένα τηλεσκόπιπ που δείχνει οριζοντία κλίση, μια βαθμονομημένη σταδία τουλάχιστον 5m, και μετροταινία 50m. Το σφάλμα του χωροβάτη είναι πολύ μικρό.

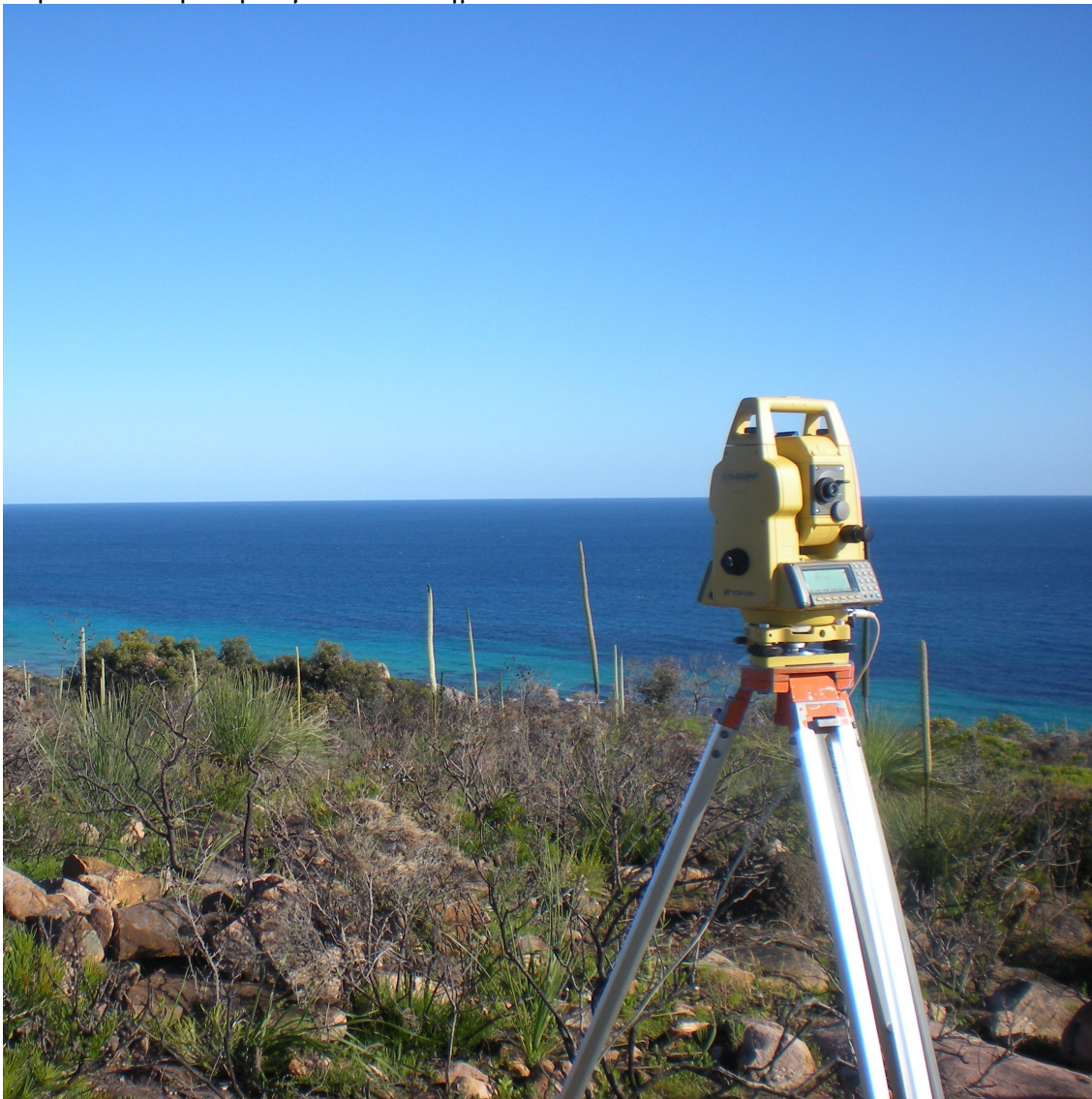


Εικόνα 5-2: Χωροβάτης και στην απέναντι πλευρά ο χρήστης με το κοντάρι

5.1.3 Μέθοδος Θεοδόλιχου

Το πλέον κοινό όργανο που χρησιμοποιείται στην τοπογραφία, τόσο για την αποτύπωση μεσαίας αλλά και μικρής κλίμακας αντικειμένων, είναι ο θεοδόλιχος ή ταχύμετρο (Total Station Theodolite).

Ο θεοδόλιχος (εικόνα 5-3) μετρά με μεγάλη ακρίβεια την οριζόντια και κατακόρυφη γωνία, που σχηματίζεται από τη νοητή οπτική γραμμή που συνδέει ένα χαρακτηριστικό σημείο του οργάνου (κέντρο σκόπευσης) και το σημείο λεπτομέρειας (σημείο σκόπευσης) επί του αντικειμένου που παρατηρείται μέσω του οπτικού συστήματος του. Έμμεσα, με χρήση εξισώσεων τριγωνομετρίας και μέτρησης των κατακόρυφων γωνιών, είναι εφικτή η μέτρηση κατακόρυφων αποστάσεων μεταξύ σημείων στον τρισδιάστατο χώρο. Με την επίλυση των θεμελιωδών θεωρημάτων της τοπογραφίας, οι μετρήσεις των γωνιών που γίνονται μέσω του θεοδόλιχου, μπορούν να οδηγήσουν σε υπολογισμό των τρισδιάστατων συντεταγμένων των παρατηρούμενων σημείων στο επίγειο καρτεσιανό τρισσορθόγωνιο σύστημα.



Εικόνα 5-3:Θεοδολιχος πανω σε τριποδο[23].

5.1.4 Μέθοδος RTK GPS

Ο γεωδαιτικός σταθμός είναι όργανο μεγάλης ακρίβειας, και μπορεί να αποτυπώσει όχι μόνο υψομετρική διαφορά σε συγκεκριμένη τομή, αλλά και σε άλλα σημεία εκτός τομής. Αρχικά για την λειτουργία χρειαζόμαστε ένα σταθερό σύστημα (base) και ένα κινητό (rover). Κατά την λειτουργία τους θα πρέπει η βάση να μεταδίδει πληροφορίες στο κινητό σύστημα. Η επικοινωνία μπορεί να γίνετε ασύρματα (GPRS/GSM/UHF) είτε και ενσύρματα (δεν προτείνεται για εργασία πεδίου)(εικόνα 5-4). Τα αποτελεσματα απεικονίζονται σε PDA(Personal Digital Assistant). Έτσι ο χρήστης έχει το αποτέλεσμα και την ακρίβεια που εργάζεται, καθώς και το σκαρίφημα της εργασίας του.



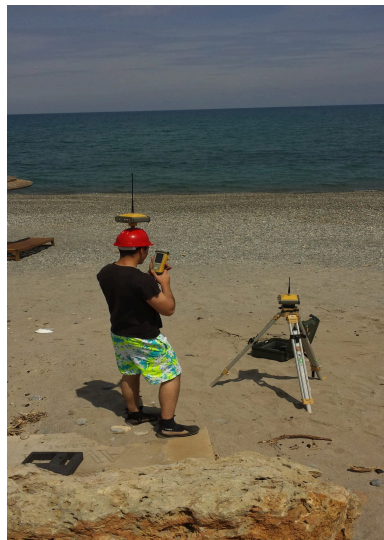
Εικόνα 5-4: Αριστερά απεικονίζεται το BASE το οποίο στήνεται πάνω στο τριποδο, στο κέντρο το PDA και στα δεξιά το ROVER[24].

Το RTK GPS που χρησιμοποιήθηκε για τις τομές και την αποτύπωση της ακτογραμμής στην παρούσα μελέτη είναι όργανο με μεγάλη ακρίβεια σε x,y,z, και επιτρέπει την αναπαράσταση της παραλίας και τα υποθαλάσσια σημεία της ηλεκτρονικά. Έχοντας τις τομές, είναι δυνατή η αναλυτική διαχρονική σύγκριση όγκων και η διαπίστωση αλλαγών. Το GPS είναι ένα παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα προσδιορισμού θέσης (συντεταγμένων), χρόνου και ταχύτητας, οπουδήποτε στην επιφάνεια της γης, σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή και ανεξάρτητα από καιρικές συνθήκες (εικόνα 5-5).

Η συλλογή των αποτελεσμάτων είναι πολύ γρήγορη και έτσι είναι εφικτή η κάλυψη μεγάλων περιοχών. Επίσης απαιτείται μόνο ένας χειριστής. Το κόστος των συσκευών αυτής της μεθόδου είναι ιδιαίτερα υψηλό, αλλά η επεξεργασία των αποτελεσμάτων εύκολη, με την δυνατότητα δημιουργίας τρισδιάστατης απεικόνισης της παραλίας με την χρήση του ArcGIS. Έτσι ήταν δυνατή και η παρατήρηση αλλαγών στην ακτογραμμή και στον όγκο των ιζημάτων της παραλίας (εικόνα 5-6 και 5-7).



Εικόνα 5-6:Χρήστης κατά την διάρκεια λήψης μετρήσεων.Το Rover στήριζεται με κράνος και είναι σταθερά στο κεφάλι του χρήστη, και στο χέρι το PDA.



Εικόνα 5-7:Ο χρήστης κατά την διάρκεια προετοιμασίας του οργάνου για την λήψη μετρήσεων.

Η τεχνολογία του GPS έχει εξελιχθεί ταχύτατα κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών. Το Κινηματικό GPS (Theuerkauf and Rodriguez 2012) παρέχει την ευκαιρία να συλλάβει τα δεδομένα, με μια κάθετη ακρίβεια $\sim \pm 2-3\text{cm}$ και οριζόντια τοποθέτηση περίπου στο διπλάσιο της ακρίβειας. Είναι η ιδανική μέθοδος για τοπογραφική αποτύπωση παραλίας. Ένας χειριστής μπορεί να λειτουργήσει το σύστημα, αν και αυτό δεν είναι συνιστώμενο, σε ένα επικίνδυνο περιβάλλον, όπως η ακτή. Δύο κινητά συστήματα που χρησιμοποιούνται μαζί μπορεί να έχουν σαν αποτέλεσμα να διπλασιαστεί η ταχύτητα απόκτησης δεδομένων. Τα δύο αυτά κινητά συστήματα λειτουργούν από έναν ενιαίο σταθμό βάσης. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται σήμερα, περιλαμβάνουν συλλογή δεδομένων του προφίλ και συνάμα συνεχείς μετρήσεις των σημείων ύψους.

Το πλεονέκτημα των GPS είναι ότι παρέχει μεγάλη ταχύτητα συλλογής δεδομένων. Το Κινηματικό GPS είναι ιδιαίτερα κατάλληλο για επαναλαμβανόμενες έρευνες, δεδομένου ότι μπορούν να ερευνηθούν αρκετά απέραντες ακτές από έναν ενιαίο σταθμό βάσης που έχει συσταθεί. Το σύστημα είναι κατάλληλο για συνθήκες χαμηλού φωτισμού και μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε απόλυτο σκοτάδι. Είναι κατάλληλο για μετρήσεις ευστάθειας πρανών, σε περιοχές με ασταθές έδαφος, δεδομένου ότι κανένας έλεγχος δεν απαιτείται στην ευρύτερη ασταθή ζώνη. Το ίδιο σύστημα μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με έρευνες βαθυμετρικής αποτύπωσης. Εμπειρίες από την περιοχή μελέτης, έδειξαν ότι τα συστήματα GPS είναι πιο περιορισμένα, από την άποψη της κάλυψης, κάτω από την στάθμη του νερού, σε σχέση με την μέθοδο ορίζοντα ή την μέθοδο του γεωδαιτικού σταθμού, δεδομένου ότι τα συστήματα περιέχουν ηλεκτρονικά εξαρτήματα που δεν μπορούν να βυθιστούν.

Τοπογραφικές έρευνες με GPS μπορεί να μην είναι κατάλληλες για κατακόρυφες τοποθεσίες ή κοντά σε βράχια λόγω δυσκολιάς προσβάσης. Αυτά τα προβλήματα μπορούν να υπερνικηθούν, με προσεκτικό χρονικό σχεδιασμό των ερευνών, σε σχέση με τη γεωμετρία των δορυφόρων. Το GPS είναι ευπαθές σε ηλεκτρομηχανολογικά προβλήματα, τα οποία είναι λιγότερο εύκολο να ξεπεραστούν από ό,τι αυτά των εναλλακτικών τεχνολογιών

Στην παρούσα διπλωματική, ενώ χρησιμοποιήθηκαν και δοκιμάστηκαν όλες οι μέθοδοι, για εξοικονόμηση χρόνου και λόγω των καλύτερων ποιοτικά μετρήσεων, επελέγη η μέθοδος RTK GPS, και χρησιμοποιήθηκε ο εξοπλισμός του Εργαστηρίου Φυσικών Καταστροφών και Παράκτιας Μηχανικής του Πολυτεχνείου Κρήτης. Εάν δεν υπήρχε το όργανο αυτό, θα χρησιμοποιείτο η μέθοδος του Χωροβάτη. Η μέθοδος του γεωδαιτικού σταθμού δεν ήταν επιλέξιμη, επειδή η ικανή ακρίβεια για την αποτύπωση της παραλίας δεν δικαιολογεί το υψηλό κόστος του οργάνου. Σαν τελευταία επιλογή, η μέθοδος του ορίζοντα, είναι μεν αξιόπιστη και πολύ οικονομική, αλλά κατάλληλη μόνο όταν το πλάτος της παραλίας είναι μικρό.

5.2 Μέθοδοι υπολογισμού και μέτρησης των κυμάτων

Για την καταγραφή του κυματικού καθεστώτος χρησιμοποιήθηκε υποθαλάσσιο όργανο καταγραφής κυμάτων ονομάζεται AWAC, της εταιρείας Nortek (εικόνα 5-8).



Εικόνα 5-8: Όργανο καταμετρησης κυματων AWAC της NORTEK[26].

Κατασκευάστηκε βάση στήριξης του και ο τρόπος λειτουργίας του έπρεπε να επινοηθεί κατά την εξέλιξη της παρούσης εργασίας. Σχεδιάστηκε τριγωνική βάση από ανοξείδωτο ατσάλι, με κάθε πλευρά της 1.9m μήκος και ύψος 0.51m. Ο λόγος για μια τόσο πλατιά βάση ήταν για να επιτευχθεί σταθεροποίηση του οργάνου στον βυθό, σε μεγάλους κυματισμούς, ώστε να ελαχιστοποιηθεί η πιθανότητα λαθών στις μετρήσεις λόγω κλειδωνισμών (εικόνα 5-9 και 5-10).



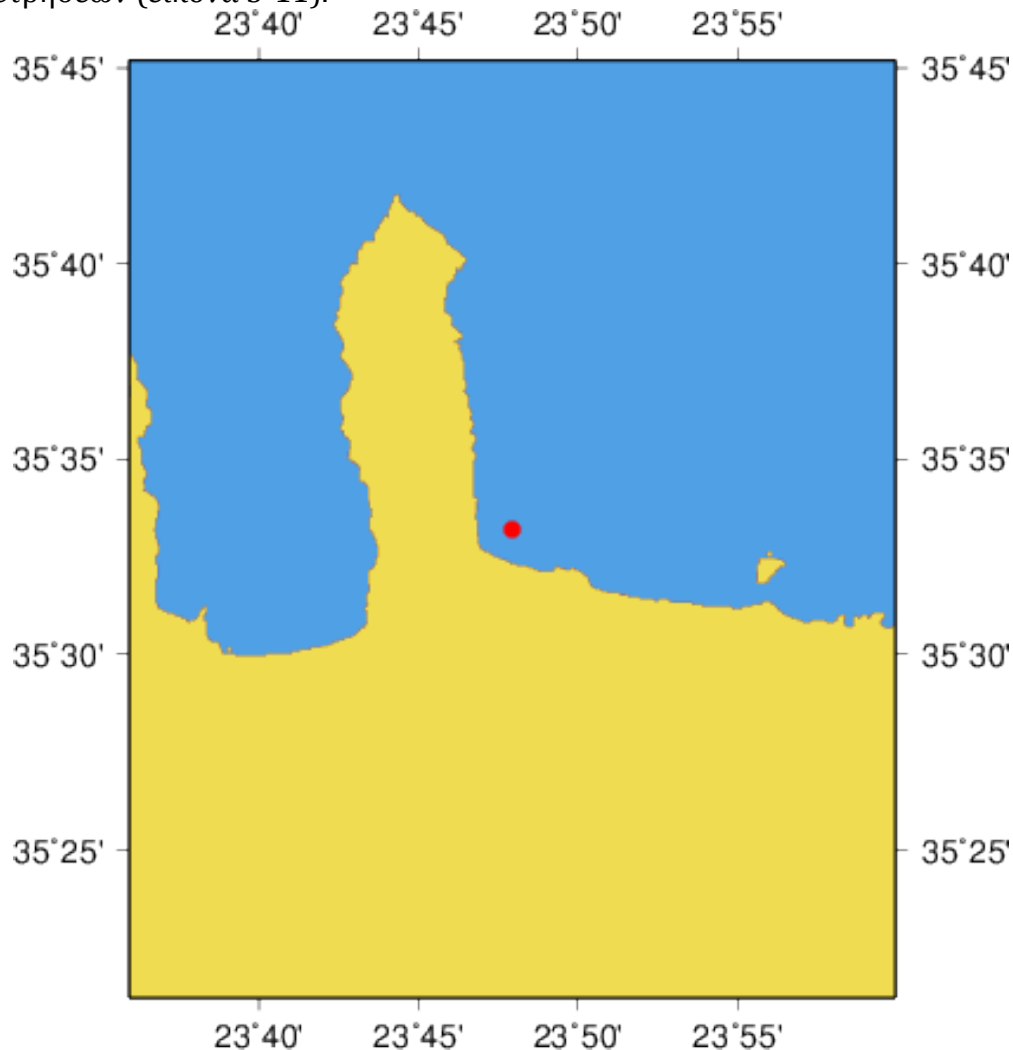
Εικόνα 5-9: Στην Οροφή του αυτοκινήτου φαίνεται η βάση του AWAC στην διαδρομή ποντισή στην περιοχή μελήτης.



Εικόνα 5-10: Σχεδιασμός βάσης τοποθέτησης Awac στο AutoCad

Η μπαταρία που χρησιμοποιήθηκε είναι επαναφορτιζόμενη βαθιάς εκφόρτωσης, και κατασκευάστηκε προστατευτική θήκη, ώστε να αντέχει σε μεγάλες πιέσεις.

Το AWAC έχει την δυνατότητα καταγραφής κυματικών προφίλ και μετρήσεων της ταχύτητας και κατεύθυνσης των κυμάτων. Επίσης έχει την δυνατότητα λήψης και τηλεμετρικής αποστολής των μετρήσεων σε πραγματικό χρόνο, σε επιθυμητές συσκευές και σημεία. Το όργανο βασίζεται στο φαινόμενο Doppler (1842) και λειτουργεί με τέσσερις (4) ακουστικές δέσμες οι οποίες λειτουργούν με ακουστική συχνότητα 400 MHz. Το όργανο έχει δυνατότητα μέτρησης ρευμάτων έως 50 m βάθος, και ρευμάτων μέχρι 80 m, με χωρική συχνότητα μέτρησης μέχρι ανά μέτρο στην στήλη ύδατος. Στην συγκεκριμένη εφαρμογή, το όργανο ποντίζονταν σε βάθος περίπου 19 m , καθ όλη την διάρκεια των μετρήσεων (εικόνα 5-11).



Εικόνα 5-11: Σημείο τοποθέτησης AWAC.

Το εύρος μέτρησης ταχυτήτων των κυμάτων είναι ως 10 m/s οριζόντια και ως 5 m/s κατά μήκος των ακουστικών δεσμών, με ακρίβεια 1% . Το εύρος μέτρησης ύψους κύματος είναι από -20 m έως +20 m, επίσης με ακρίβεια έως 1%. Τέλος το εύρος μέτρησης των περιόδων των κυμάτων είναι από 0.5 sec έως 30 sec. Επιπροσθέτως, με το όργανο μετρήθηκε η θερμοκρασία στο σημείο πόντισης(δυνατότητα μέτρησης της θερμοκρασίας από -4°C έως +40°C, με ακρίβεια 0.1°C) όπως και οι αλλαγές της πίεσης της στήλης του ύδατος (δυνατότητα μέτρησης της πίεσης σε εύρος 0 – 50 m, με ακρίβεια 0.5%) (Nortek, 2013). Η μπαταρία και η μνήμη που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ικανές να υποστηρίξουν την διαρκή λειτουργία του οργάνου για 6 μήνες συνεχόμενων μετρήσεων.

Η διάρκεια των κυματικών μετρήσεων ήταν 8 μηνες. Οι μετρήσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την λήψη σημαντικών αποφάσεων για την προστασία των παράκτιων περιοχών, από ακραίες κυματικές καταιγίδες, και επομένως από την κυματική διάβρωση. Επιπροσθέτως, θα συμβάλλουν στην επιλογή βέλτιστων λύσεων για την εφαρμογή μεθόδων παράκτιας προστασίας. Ιδιαίτερα σημαντική κρίνεται η συλλογή κυματικών δεδομένων, στις περιπτώσεις που θα επιλεχθεί εμπλουτισμός της παραλίας του Κολυμπαριού, η οποία ήδη παρουσιάζει συρρίκνωση, λόγω της παράκτιας διάβρωσης όπως περιγράφηκε στο κεφαλαίο 2. Επιπλέον, η ύπαρξη στοιχείων για το κυματικό καθεστώς είναι απαραίτητη σε περιπτώσεις επέκτασης ή κατασκευής νέων λιμανιών ή παρέμβασης στο υπάρχοντα λιμένα[30]

Η συλλογή δεδομένων που αφορούν το κυματικό καθεστώς και το καθεστώς των ρευμάτων των ακτών του κόλπου Χανίων , πραγματοποιείται για πρώτη φορά. Το όργανο τοποθετήθηκε σε βάθος 19 μέτρων .

6. Αποτελέσματα

6.1 Οι μετρήσεις και τα πειραματικά δεδομένα της παρούσας εργασίας

6.1.2 Μετρήσεις κυμάτων

Οι μετρήσεις των κυμάτων έγιναν από 1/10/2013-4/6/2014. Το όργανο κατεγείψε έναν ολόκληρο κυματικό χειμώνα και κατά την περίοδο αυτή, ο κυματομετρητής ποντίστηκε τρεις φορές καταγράφοντας τρία διαφορετικά χρονικά διαστήματα: 1/10/2013-15/12/2013, 16/12/2013-18/1/2014, 19/1/2014- 2/4/2014.

Οι μετρήσεις από το πρώτο χρονικό διάστημα που διηρκήσε από 1/10/2013-15/12/2013 αποτυπώνονται στην εικόνα 6-1. Τα άλλα χρονικά διαστήματα αποτυπώνονται στα διαγράμματα 6.2 και 6.3.

Οι παραμέτροι που διαφέρονται στα διαγράμματα αφορούν το ύψος του κύματος, την περίοδο, την διεύθυνση, την συχνότητα και επεξηγούνται παρακάτω[33].

Για το ύψος του κύματος:

Hm0: Το σημαντικό υψος κύματος σε μια περιοχή είναι η μέση τιμή ύψους (από κορυφή σε κοιλία) του ενός τρίτου των υψηλότερων κυμάτων. Το πιθανό αναμενόμενο μέγιστο ύψος κύματος μπορεί να φτάσει μέχρι δύο φορές το υπολογιζόμενο σημαντικό ύψος κύματος.

H10: Ορίζεται ως η μέση τιμή των δέκα μεγαλύτερων κυμάτων που έχουν αποτυπωθεί σε μια καταγραφή.

Hmax: Ορίζεται ως το μέγιστο ύψος κύματος σε μια καταγραφή.

Για την περίοδο του κύματος:

Tr Ορίζεται ως η περίοδος του κύματος που αντιστοιχεί στη μέγιστη συχνότητα για το φάσμα κύματος

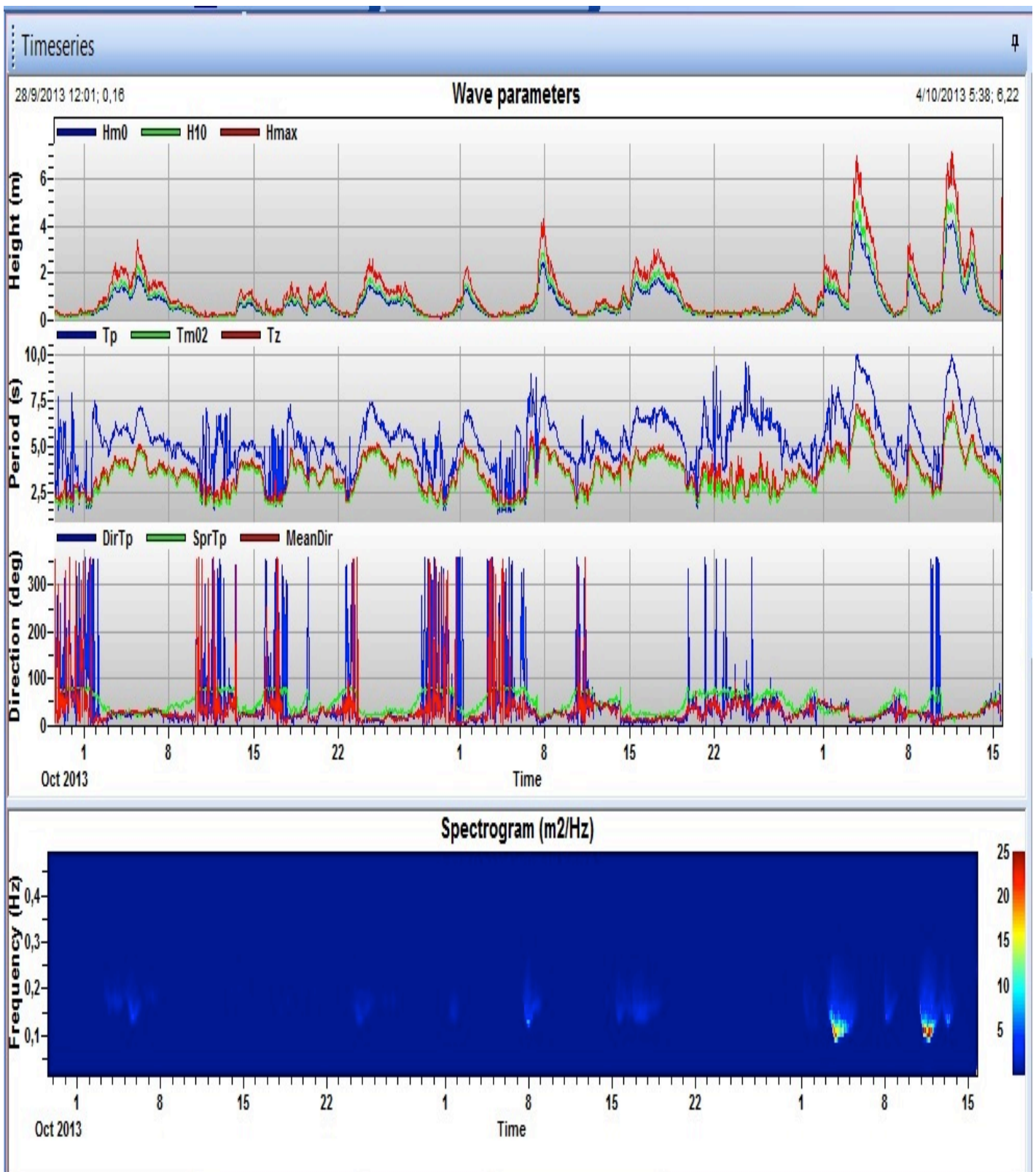
Tm02: Ορίζεται ως η μέση περίοδος για όλα τα κύματα

Tz: Ορίζεται ως μέση τιμή όλων των περιόδων όταν σκάνε τα κύματα

Για την διεύθυνση του κύματος:

DirTip: Ορίζεται ως η διεύθυνση του κύματος που αντιστοιχεί στη μέγιστη περίοδο

Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται αναφορά και σχολιασμός στις παραμέτρους που αφορά το σημαντικό ύψος κύματος(Hm0),στην μέγιστη συχνότητα που αφορούν το φάσμα του κύματος(Tr) και στην διεύθυνση του κύματος που αντιστοιχεί στην μέγιστη περίοδο(DirTip).



Εικόνα 6-1: Στο πρώτο διάγραμμα απεικονίζεται η σχέση ύψους κύματος και χρονικής περιόδου. Στο δεύτερο απεικονίζεται η σχέση περιόδου κύματος και χρονικής περιόδου. Στο τρίτο η διεύθυνση κύματος και χρονικής περιόδου και στο τέταρτο διάγραμμα(spectrogram) απεικονίζεται η ενέργεια σε m^2/Hz για το χρονικό διάστημα 1/10/2013- 15/12/2013.

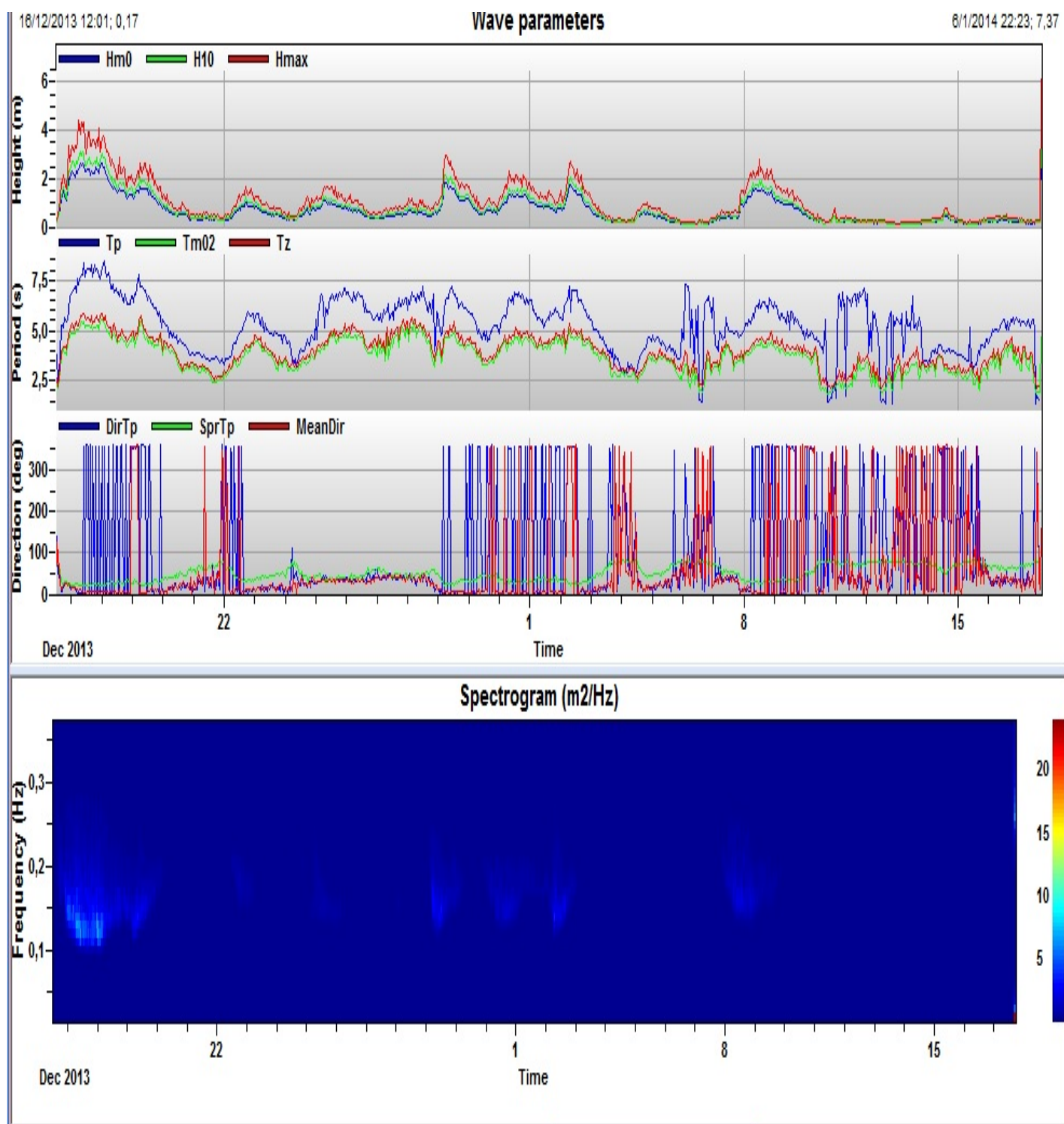
Στο διαστημα 3/10/2013-8/10/2013 παρατηρείται ένα κυματικό γεγονός μέτριας έντασης με σημαντικό ύψος κύματος (H_{m0}) 1,8m, περίοδο(T_p) 6,5 sec και διεύθυνση 50°. Παρόμοιο γεγονός παρατηρείται στην περίοδο από 23/10/2013-28/10/2013 με ύψος κύματος 1,5 m, περίοδο 7 sec και διεύθυνση 50°. Στις 7-8 Νοεμβρίου καταγράφηκε κακοκαιρία με ύψος κύματος 2m, περίοδο 7,5 sec και κατεύθυνση 30°. Το επόμενο "ακραίο" φαινόμενο πραγματοποιήθηκε 15/11/2013-19/12/2013 με σημαντικό ύψος 1,9 m, περίοδο 7,3 sec και κατεύθυνση 30°. Ακραία φαινόμενα παρατηρούνται απο 3-5 Δεκεμβρίου με σημαντικό ύψος κύματος 4m, μέγιστο ύψος κύματος 6,5m με περίοδο 10sec και κατεύθυνση 20°.Στις 11-14/12/2013 παρατηρείται σημαντικό ύψος κύματος 4m, μέγιστο ύψος κύματος 6,5m , περίοδο 10 sec και κατεύθυνσης 50°.Η διαχρονική εξέλιξη της φασματικής ενέργειας αποτυπώνεται κάθε φορά στο σπεκτόγραμμα με μονάδα μέτρησης της ενεργίας m^2/Hz .

Στο δεύτερο χρονικό διάστημα απο 16/12/2013-18/1/2014 παρατηρούνται σχετικά πιο ήπια κυματικά γεγονότα όπως αποκαλύπτεται και απο τα διαγράμματα της εικονα 6-2.

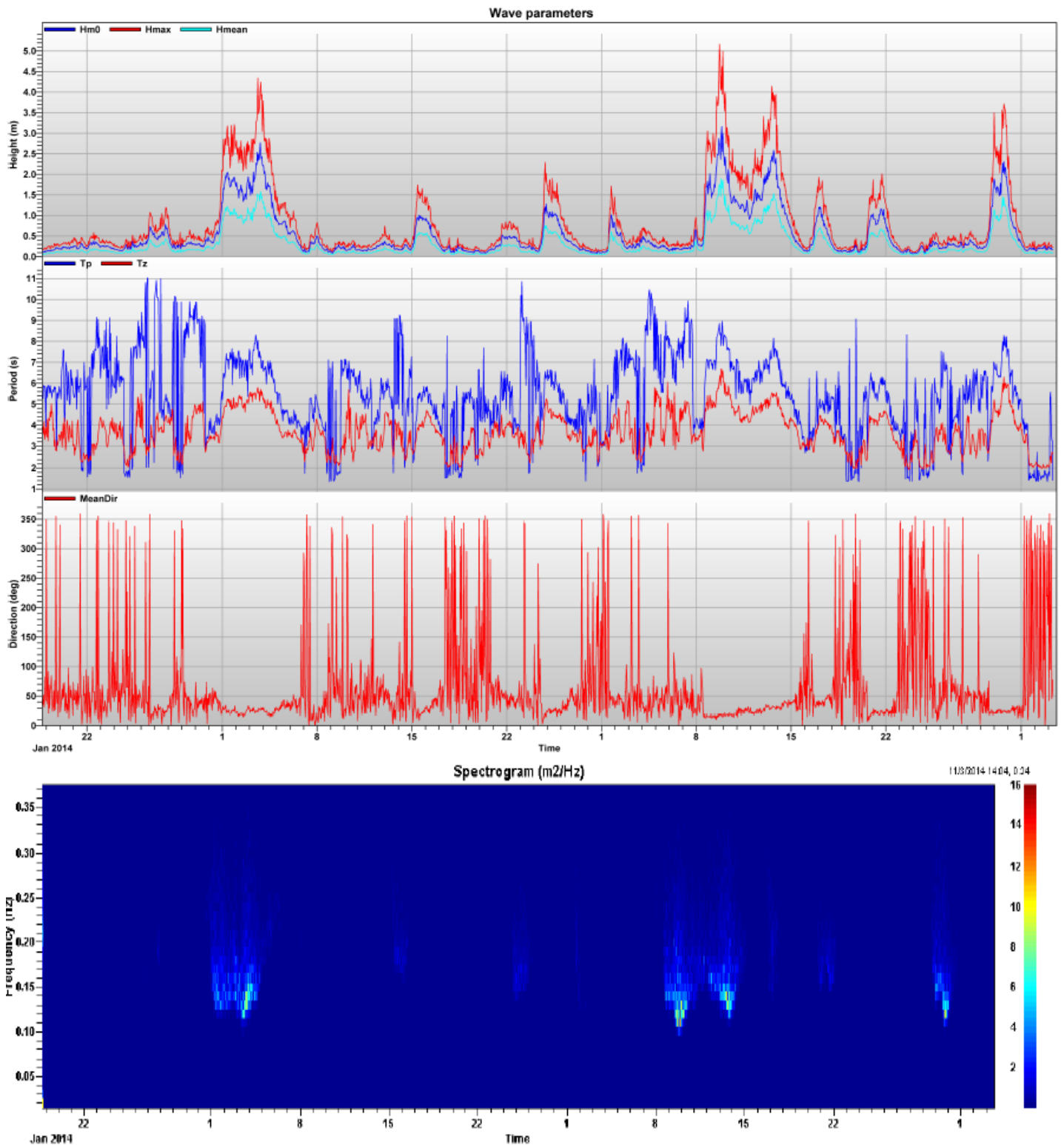
Πιο συγκεκριμένα. έντονο κυματικό γεγονός παρατηρείται απο 16/12/2013-20/12/2013 με σημαντικό ύψος κύματος 2,5 m, μέγιστο ύψος κύματος 4m, περίοδο 7,5 sec και κατεύθυνση 360°. Απο 23-29/12/2013 παρατηρείται μέτριας έντασης κακοκαιρία με σημαντικό ύψος κύματος 1,5 m, περίοδο 7m, και κατεύθυνση 70. Απο 29/12/2013 -4/1/2014 παρατηρείται πιο έντονο κυματικό γεγονός με σημαντικό ύψος κύματος 2m, περίοδο 7 sec και κατεύθυνση 360°.Τελευταίο γεγονός που αξίζει να αναφερθεί για αυτήν την περίοδο καταγραφής (εικονά 6.2) είναι χρονικό διάστημα 8/1/ 2014 -11 /1/2014 όπου το ύψος κύματος φτάνει τα 2 m, περίοδος 7 sec και κατεύθυνση 360°.Το σπεκτόγραμμα παρουσιάζει την εξέλιξη ενέργειας του φάσματος

Κατά την τρίτη περίοδο καταγραφής των κυμάτων, 19 /1/2014 -2/4/2014 ακραία κυματικά γεγονότα που διαφέρονται στην εικόνα 6-3.

Σημαντικό γεγονός καταγράφηκε απο 1-7/2/2014 με σημαντικό ύψος κύματος 2,7 m, περίοδο 8 sec και κατεύθυνση 25°.Κυματικό γεγονός μέτριας έντασης παρατηρήθηκε στις 15-17/2/ 2014 με σημαντικό ύψος κύματος 1m, περίοδο 6sec, και κατεύθυνση 50°. Παρόμοιο κυματικό συμβάν καταγράφηκε στις 24-27/2/2014 περιόδου 7sec, και κατεύθυνσης 70°.Ακραίο κυματικό γεγονός παρατηρήθηκε στις 9-15/3/2014 με σημαντικό ύψος κύματος 3,5m , μέγιστο ύψος κύματος 5m , περίοδο 8 sec και κατεύθυνση 50°.Σχετικά μέτριας έντασης κυματικά συμβάντα πραγματοποιήθηκαν στις 17/3/2014 και 19-22/3/ 2014 με σημαντικό ύψος κύματος 1,5 m, περίοδο 7 sec και κατεύθυνση 50°.Το τελευταίο σημαντικό γεγονός όλων των κυματικών καταγραφών πραγματοποιήθηκε 28/3/2014-1/4/2014 με σημαντικό ύψος κύματος 2m, μέγιστο ύψος κύματος 3,8 m, περίοδο 9 sec και κατεύθυνση 50°.Το σπεκτόγραμμα παρουσιάζει την εξέλιξη της ενέργειας του φάσματος.

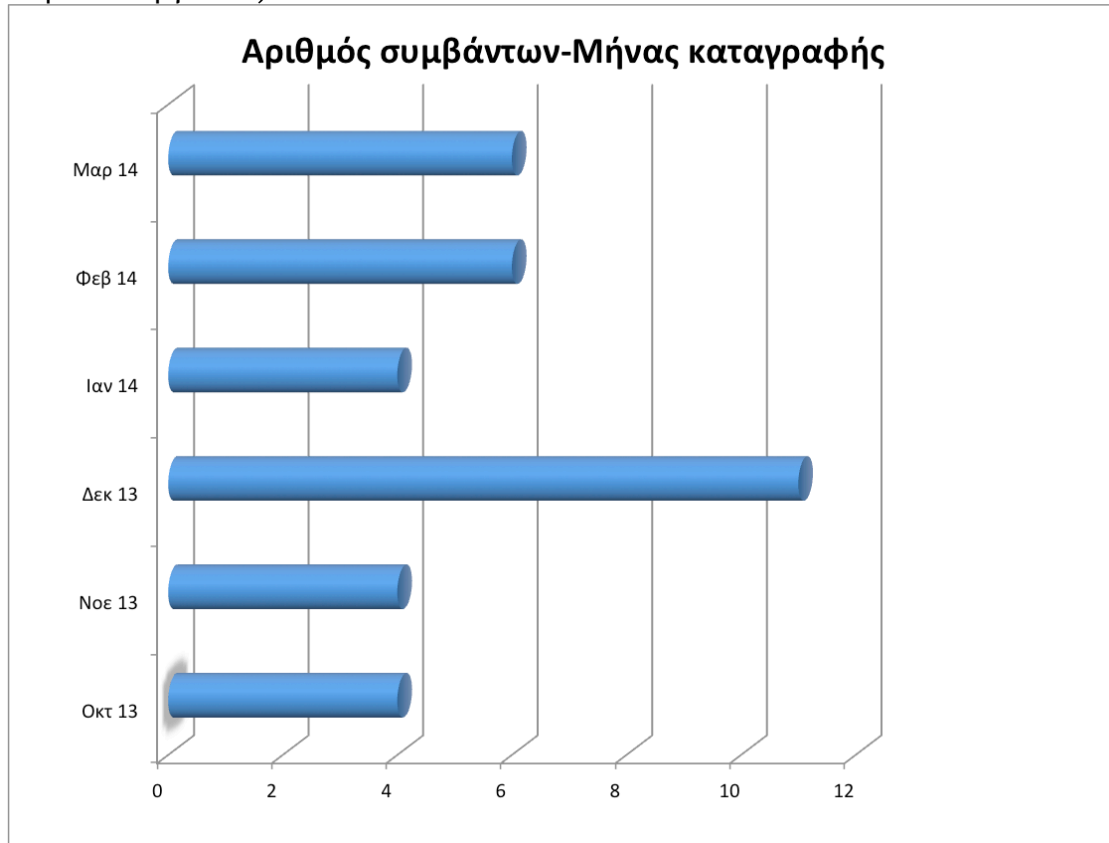


Εικόνα 6-2: Στο πρώτο διάγραμμα απεικονίζεται η σχέση ύψους κύματος και χρονικής περιόδου. Στο δεύτερο, η σχέση περιόδου κύματος και χρονικής περιόδου. Στο τρίτο, η διεύθυνση κύματος και χρονικής περιόδου και στο τέταρτο διαγραμμα(spectrogram) απεικονίζεται η ενεργεια σε m^2/Hz για το χρονικο διάστημα 16/12/2013 – 18/1/2014.



Εικόνα 6-3: Στο πρώτο διάγραμμα απεικονίζεται η σχέση ύψους κύματος και χρονικής περιόδου. Στο δεύτερο η σχέση περιόδου κύματος και χρόνου. Στο τρίτο η διεύθυνση κύματος και χρονικής περιόδου και στο τέταρτο διαγραμμα(spectrogram) απεικονίζεται η ενεργεια σε m^2/Hz για το χρονικο διαστημα 18/1/2014 -3/4/2014.

Συνοπτικά οι μετρήσεις έδειξαν ότι η παραλία του Κολυμβαρίου δέχεται την δράση έντονων κυματισμών καθ'όλη την διάρκεια του χρόνου στις οποίες έγιναν μετρήσεις.Επίσης παρατηρείται ότι οι έντονοι κυματισμοί που καταυθάνουν στην παραλία του Κολυμβαρίου είναι βόρειοι. Στο παρακάτω διάγραμμα αποτυπώνεται η μηνιαία εμφάνιση εντόνων κυματικών συμβάντων για την περίοδο εκτέλεσης των πειραματικών μετρήσεων που έγιναν στα πλαίσια της παρούσα εργασίας.



Εικόνα 6-4:Διαγραμμα που απεικονίζεται ο αριθμός των κυματικών συμβάντων για κάθε μήνα καταγραφής δεδομένων.

6.2 Κοκκομετρία-Κοκκομετρική ανάλυση

Με σκοπό την κατανόηση των παράκτιων διεργασιών που είναι υπεύθυνες για το σχηματισμό συγκεκριμένων γεωμορφών απαιτείται η λήψη δειγμάτων ιζήματος από τα περιβάλλοντα απόθεσης και η κοκκομετρική τους ανάλυση. Κατά την δειγματοληψία, το δείγμα θα πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικό του ιζήματος της περιοχής από την οποία λαμβάνεται, από την άλλη όμως να απλοποιεί όσο είναι δυνατό την τεχνική της κοκκομετρικής ανάλυσης. Για την διαδικασία του κοσκινίσματος, όσο μικρότερη είναι η ποσότητα του δείγματος, τόσο περισσότερο ακριβής είναι η τεχνική, λιγότερο όμως αντιπροσωπευτικό το δείγμα. Για κόκκους άμμου, θεωρείται επαρκές ένα δείγμα 100 gr ενώ για περισσότερο χονδρόκοκκο υλικό, ειδικά όταν περιλαμβάνει μεγάλο εύρος μεγέθους κόκκων, η κοκκομετρική ανάλυση απαιτεί τη λήψη μεγαλύτερης ποσότητας ιζήματος. Πρίν τη διαδικασία του κοσκινίσματος είναι απαραίτητη η ξήρανση και ο προσεκτικός διαχωρισμός των κόκκων του ιζήματος. Το δείγμα ξεπλένεται με γλυκό νερό αναδεύεται και στη συνέχεια ξηραίνεται σε φούρνο για να απομακρυνθεί η υγρασία.

Η κοκκομετρική ανάλυση για ίζημα με κόκκους διαμέτρου μεγαλύτερης των 0,063 mm, δηλαδή για το μέρος του δείγματος που ονομάζεται άμμος, πραγματοποιείται με κόσκινα. Τα κόσκινα τοποθετούνται διαδοχικά έτσι ώστε να σχηματίζουν μία κατακόρυφη στήλη των οποίων η διάμετρος των ανοιγμάτων ελαττώνεται, από την κορυφή προς τη βάση κατά γεωμετρική πρόοδο με ορισμένο λόγο. Οι διαστάσεις των ανοιγμάτων στα κόσκινα δεν ακολουθούν αριθμητική, αλλά γεωμετρική πρόοδο, γιατί για την ανάλυση του δείγματος ενδιαφέρουν οι σχετικές διαφορές και όχι οι απόλυτες τιμές των διαμέτρων των κόκκων. Έτσι τα κόσκινα τοποθετούνται κατά σειρά μειούμενου μεγέθους με το κόσκινο μεγαλύτερης διαμέτρου (που κατακρατά το περισσότερο χονδρόκοκκο κλάσμα) στην κορυφή της διάταξης.

Το ξηρό δείγμα του ιζήματος ζυγίζεται και τοποθετείται στο πάνω κόσκινο. Στο κάτω μέρος της στήλης τοποθετείται πιάτο (τάσι) που συλλέγει το λεπτόκοκκο κλάσμα που διέρχεται από το κατώτερο, μικρότερων ανοιγμάτων κόσκινο, που συνήθως έχει διάμετρο ανοίγματος 0,063 mm που αποτελεί το όριο ιλύος – άμμου. Η σειρά των κοσκίνων τοποθετείται στη συσκευή δόνησης η οποία τίθεται σε λειτουργία ρυθμίζοντας τον χρονοδιακόπτη για 10 min (εικόνα 6.5). Μετά την παύση της λειτουργίας της συσκευής τα κόσκινα απομακρύνονται προσεκτικά ώστε να περιοριστούν κατά το δυνατόν οι απώλειες σε ίζημα. Το ίζημα που έχει κατακρατηθεί σε κάθε κόσκινο συλλέγεται προσεκτικά και ζυγίζεται με ζυγό ακριβείας και το βάρος του ιζήματος κάθε κόσκινου ανάγεται σε % του βάρους του αρχικού δείγματος [34].

Στην περίπτωση που έχει συλλεχθεί δείγμα με διάμετρο μεγαλύτερη των 65mm τότε χρησιμοποιούμε το παχύμετρο (εικόνα 6.6).



Εικόνα 6.5:κοσκίνα και συσκευή δονησεως[35].



Εικόνα 6.6: ψηφιακο Παχύμετρο[36].

Για την παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκαν τέσσερις κοκκομετρικές αναλύσεις. Οι ημερομηνίες δειγματοληψίας επιλέχθηκαν να γίνουν μετά από έντονα κυματικά συμβάντα ώστε να μπορέσουμε να διαπιστώσουμε αλλαγές στην μεταφορά του ιζηματός. Στην εικόνα 6.7 φαίνονται τα σημεία δειγματοληψίας.



Εικόνα 6.7: Σημεία δειγματοληψίας.

Στα μέσα Μαΐου 2014 τοποθετήθηκε στην παραλία του Κολυμβαριού ένας γεωσωλήνας και για αυτόν τον λόγο έγινε δειγματοληψία αματολικά και δυτικά του γεωσωλήνα ώστε να συγκριθούν οι διαφορές.

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΔΕΙΓΜΑ	A1	B1	Γ1	Δ1	Ε1
16/12/13	ΑΜΜΟΣ		d50=0.23mm			d50=0.25mm
	ΧΑΛΙΚΙ	d50=27mm	d50=64mm		d50=3mm	d50=2mm
	ΚΡΟΚΑΛΑ	d50=150mm	d50=150mm		d50=85mm	
14/2/2014	ΑΜΜΟΣ		d50=0.25mm			d50=0.26mm
	ΧΑΛΙΚΙ	d50=25mm	d50=65mm		d50=2.5mm	d50=2mm
	ΚΡΟΚΑΛΑ	d50=150mm	d50=150mm		d50=80mm	
15/4/14	ΑΜΜΟΣ		d50=0.25mm			d50=0.19mm
	ΧΑΛΙΚΙ	d50=22mm	d50=1.58mm		d50=2.7mm	d50=1.3mm
	ΚΡΟΚΑΛΑ	d50=150mm	d50=67mm		d50=78mm	
13/6/2014	ΑΜΜΟΣ		d50=0.25mm	d50=0.25mm		d50=0.19mm
	ΧΑΛΙΚΙ	d50=20mm	d50=65mm	d50=1.5mm	d50=2.5mm	d50=1mm
	ΚΡΟΚΑΛΑ	d50=150mm	d50=150mm	d50=75mm	d50=80mm	

Εικόνα 6.8: Αποτελέσματα κοκκομετρίας για τα δείγματα πάνω στην παραλία ανα ημερομηνία και είδος δείγματος.

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΔΕΙΓΜΑ	A2	B2	Γ2	Δ2	Ε3
16/12/13	ΑΜΜΟΣ				d50=0.25mm	d50=0.25mm
	ΧΑΛΙΚΙ	d50=25mm	d50=3mm			d50=3mm
	ΚΡΟΚΑΛΑ	d50=120mm	d50=65mm		d50=70mm	
14/2/2014	ΑΜΜΟΣ				d50=0.23mm	d50=0.24mm
	ΧΑΛΙΚΙ	d50=24mm	d50=58mm			d50=3mm
	ΚΡΟΚΑΛΑ	d50=125mm	d50=68mm		d50=68mm	
15/4/14	ΑΜΜΟΣ				d50=0.18mm	d50=0.2mm
	ΧΑΛΙΚΙ	d50=22mm	d50=2.7mm			d50=2.6mm
	ΚΡΟΚΑΛΑ	d50=100mm	d50=66mm		d50=63mm	
13/6/2014	ΑΜΜΟΣ			d50=0.2mm	d50=0.15mm	d50=0.19mm
	ΧΑΛΙΚΙ	d50=15mm	d50=2.3mm	d50=30mm		d50=2.5mm
	ΚΡΟΚΑΛΑ	d50=140mm	d50=66mm		d50=64mm	

Εικόνα 6.9: Αποτελέσματα κοκκομετρίας για τα δείγματα πάνω στην ακτογραμμή ανα ημερομηνία και είδος δείγματος.

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΔΕΙΓΜΑ	A3	B3	Γ3	Δ3	E4
16/12/13	ΑΜΜΟΣ	d50=0.3mm				d50=0.3mm
	ΧΑΛΙΚΙ		d50=55mm		d50=30mm	
	ΚΡΟΚΑΛΑ	d50=80mm			d50=100mm	d50=150mm
14/2/2014	ΑΜΜΟΣ	d50=0.25mm				d50=0.27mm
	ΧΑΛΙΚΙ		d50=60mm		d50=28mm	
	ΚΡΟΚΑΛΑ	d50=80mm			d50=68mm	d50=150mm
15/4/14	ΑΜΜΟΣ	d50=0.21mm				d50=0.23mm
	ΧΑΛΙΚΙ		d50=57mm		d50=28mm	
	ΚΡΟΚΑΛΑ	d50=77mm			d50=100mm	d50=150mm
13/6/2014	ΑΜΜΟΣ	d50=0.2mm		d50=0.18mm		d50=0.2mm
	ΧΑΛΙΚΙ		d50=50mm		d50=25mm	
	ΚΡΟΚΑΛΑ	d50=75mm			d50=100mm	d50=150mm

Εικόνα 6.10:Αποτελέσματα κοκκομετρίας για τα δείγματα μέσα στην παραλία ανα ημερομηνία και είδος δειγματος.

Απότι φαίνεται, η παραλία του Κολυμβαρίου είναι διτροπική που σημαίνει ότι υπάρχει άμμος αλλά και βότσαλα-κροκάλες που συντελούν στην διαμόρφωση της.

Στο σημείο Γ έγινε δειγματοληψία στις 13/6/2014 μετά από την τοποθέτηση του γεωσωλήνα. Αξίζει να σημειωθεί ότι έχει κάποια λειτουργικότητα όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα, το B2 έχει πιο χοντρόκοκκο ίζημα από το Γ2 και το σημείο Γ3 έχει μαζέψει λεπτόκοκη άμμο σε σχέση με το B2 όπου παρατηρούνται κροκκάλες.

Το σημείο δειγματοληψίας Ε θεωρείται “παρθένο” από άποψη ανθρωπογενών παρεμβάσεων και παρατηρείται πιο ομοιόμορφη κατανομή του ιζήματος. Επιπλέον στο σημείο Ε έγινε δειγματοληψία στο (Ε2) αφού το μήκος της Ε ήταν πολύ μεγαλύτερο από των υπολοίπων .

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΔΕΙΓΜΑ	E2
16/12/13	ΑΜΜΟΣ	
	ΧΑΛΙΚΙ	d50=25mm
	ΚΡΟΚΑΛΑ	d50=100mm
14/2/2014	ΑΜΜΟΣ	
	ΧΑΛΙΚΙ	d50=24mm
	ΚΡΟΚΑΛΑ	d50=100mm
15/4/14	ΑΜΜΟΣ	
	ΧΑΛΙΚΙ	d50=24mm
	ΚΡΟΚΑΛΑ	d50=100mm
13/6/2014	ΑΜΜΟΣ	
	ΧΑΛΙΚΙ	d50=12mm
	ΚΡΟΚΑΛΑ	d50=100mm

Εικόνα 6.10:Αποτελέσματα κοκκομετρίας για το δείγμα στο σημείο E2 ανά ημερομηνία και είδος δείγματος.

Σαν γενικότερο συμπέρασμα, αυτό που αξίζει να σημειωθεί είναι ότι στην τελευταία κοκκομετρική ανάλυση παρατηρείται ότι το d50 είναι συγκριτικά μικρότερο απο αυτο των άλλων ημερομηνιών και αυτό οφείλεται στο μηχανισμό εναπόθεσης ιζήματος όπως περιγράφηκε στην ενότητα 2.3.3 .

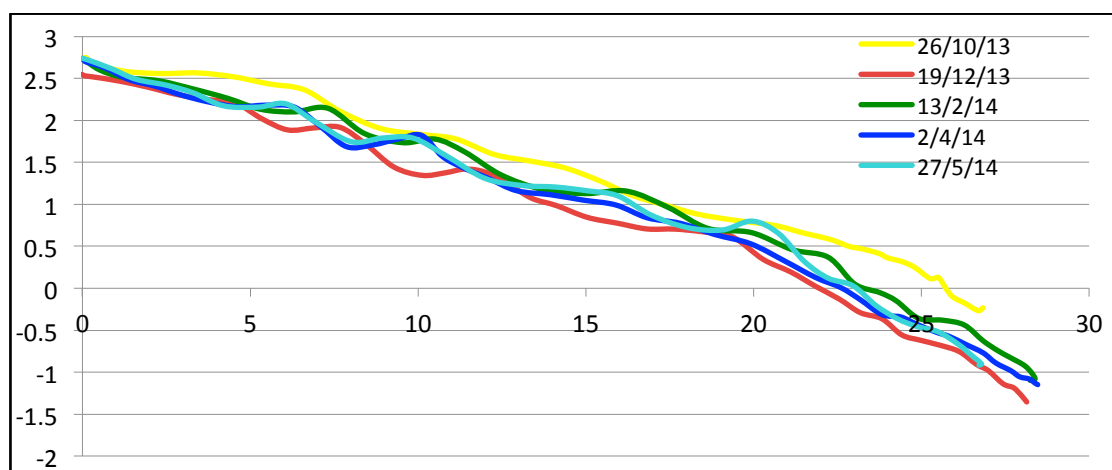
6.3 Τοπογραφικές μεταβολές μετά από έντονα κυματικά συμβάντα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκαν συνολικά τρεις εγκάρσιες τομές ώστε να γίνουν συγκρίσεις.



Εικόνα 6.11.Κάθετες τομές στην παραλία Κολυμβαρίου

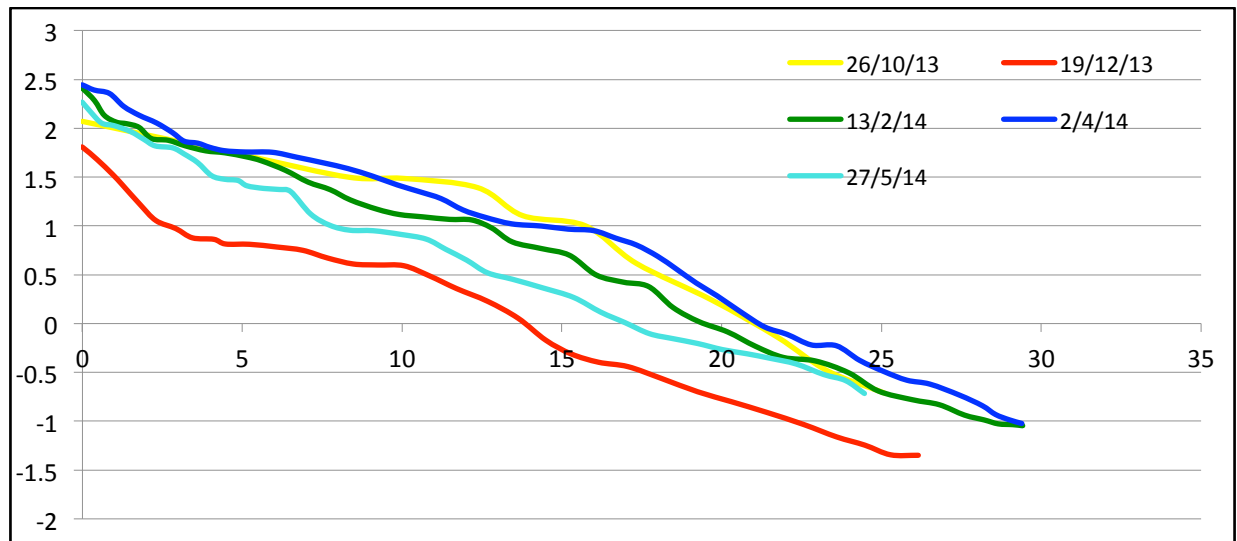
Συνολικά πήραμε πέντε τοπογραφικές μετρήσεις στις 26/10/13, 29/12/13, 13/2/14, 2/4/14 ,27/5/14



Εικόνα 6.12:Τομή 1 από την εικόνα 6.11

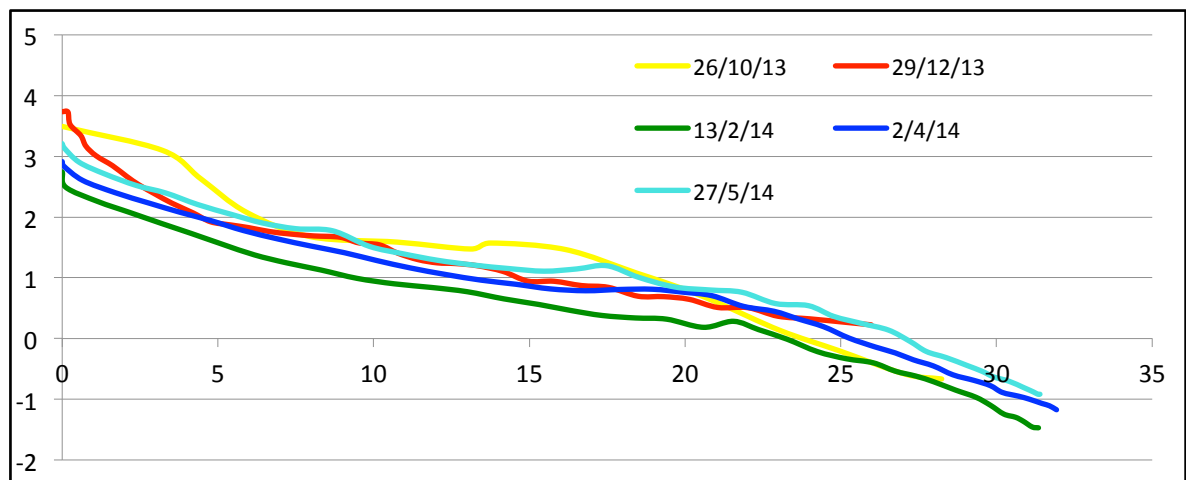
Κατά την περίοδο 26/10/2013 και 19/12/2013 υπάρχει εμφανή μείωση του όγκου της παραλίας. Αυτό οφείλεται κυρίως στις πολύ έντονες καταιγίδες που υπήρχαν κατά την διάρκεια αυτού του χρονικού διαστήματος με κύματα που ξεπερνούσαν τα 6 μέτρα. Απο 19/12/2013 εως 27/5/2014 το προφίλ της παραλιας αλλάζει ελάχιστα λόγω των μειωμένων σε ένταση καταιγίδων καθόλη την χρονική περίοδο. Επίσης, πριν της

26/10/3013 επικρατούσε ακόμα το θερινό προφίλ της παραλίας και αυτός είναι και ο λόγος που είχε τόσο απότομη διάβρωση σε αυτό το δίμηνο.



Εικόνα 6.13:Τομή 2

Παρομοίως έντονη διάβρωση την παρατηρείται κατά το χρονικό διάστημα 26/10/2013 έως 19/12/2013 λόγω ισχυρών κυματικών καταιγίδων.Καθως πραγματοποιήθηκαν λιγότερο έντονα φαινόμενα κατά την περίοδο 19/12/2013 με 13/2/2014 η παραλία παρουσιάζει πρόσχωση σε αυτήν την τομή.Στις 2/4/2014 ανατολικά απο την τομη 2 τοποθετήθηκε ένας γεώσωληνας κάθετα στην παραλία.Ο όγκος της άμμου που υποσκάφθηκε βρέθηκε ανατολικά και δυτικά απο το γεωσωλήνα με αποτέλεσμα να να παρατηρείται πρὸς το παρὸν αυξημένος όγκος παραλίας στην τομή 2 εκείνη την ημερομηνία.



Εικόνα 6.14:Τομή 3

Το πρώτο δίμηνο 26/10/2013 εως 29/12/2013 εμφανίζεται διάβρωση.Απο 29/12/2013-13/2/14 παρατηρείται επιπλέον μικρής κλίμακας διάβρωση.Από 13/2/2014 - 2/4/2014 υπάρχει πρόσχωση παραλίας και το προφίλ της κατά της 27/5/2014 δείχνει οτι επανέρχεται προς το θερινό. Η τομή 3 δεν έχει επηρεαστεί τόσο απο ανθρωπογενείς παρεμβασείς και ακολουθεί το εποχιακό προφίλ λειτουργείας της παραλιας.

7.Συμπέρασμα

Η διάβρωση απειλεί ένα μεγάλο ποσοστό απο τις παραλίες της Ελλάδας. Μια ολοκληρωμένη εκτίμηση του προβλήματος θα περιελάμβανε την χρήση υπερ-υπολογιστικών προσομοιώσεων που με δεδομένα κλιματικά σενάρια για δεκαετίες στο μέλλον θα υπολογίζουν την διαχρονική εξέλιξη των ακτογραμμών. Εν απουσία τέτοιων ολοκληρωμένων μοντέλων, η συλλογή στοιχείων για την διαχρονική εξέλιξη σε προηγούμενες δεκαετίες μπορεί να βοηθήσει και στην βαθμονόμηση υπολογιστικών μεθόδων, όταν προκύψουν, και, επίσης, σε ποιοτικές εκτιμήσεις μελλοντικών παραμορφώσεων της παράκτιας γεωμορφολογίας.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας μελετήθηκαν οι μεταβολές στην γεωμορφολογία των ακτών αλλά και οι μεταβολές στη γεωμορφολογική σύσταση της παραλίας του Κολυμβαριού, Χανίων. Οι τοπογραφικές αποτυπώσεις που έγιναν στην παραλία, μετά από κάθε κυματική καταιγίδα, αποτύπωσαν τις μεταβολές που υπέστη λόγω κυματικών συμβάντων. Οι κοκκομετρικές μετρήσεις ανέδειξαν τις μεταβολές που υφίσταται το ίζημα της παραλίας, μετά από κάθε συμβάν. Οι μετρήσεις, που έγιναν με την χρήση του κυματομετρητή Nortek Awac, παρήγαγαν σημαντικά δεδομένα για το κυματικό καθεστώς της περιοχής. Παρά του ότι κατέστη αδύνατον να συνδεθούν τα διάφορα πρωτογενή στοιχεία μεταξύ τους ώστε να γίνουν ποσοτικές εκτιμήσεις για τους συσχετισμούς ανθρωπογενών και φυσικών αιτών διάβρωσης, τα δεδομένα επιτρέπουν μερικά συμπεράσματα.

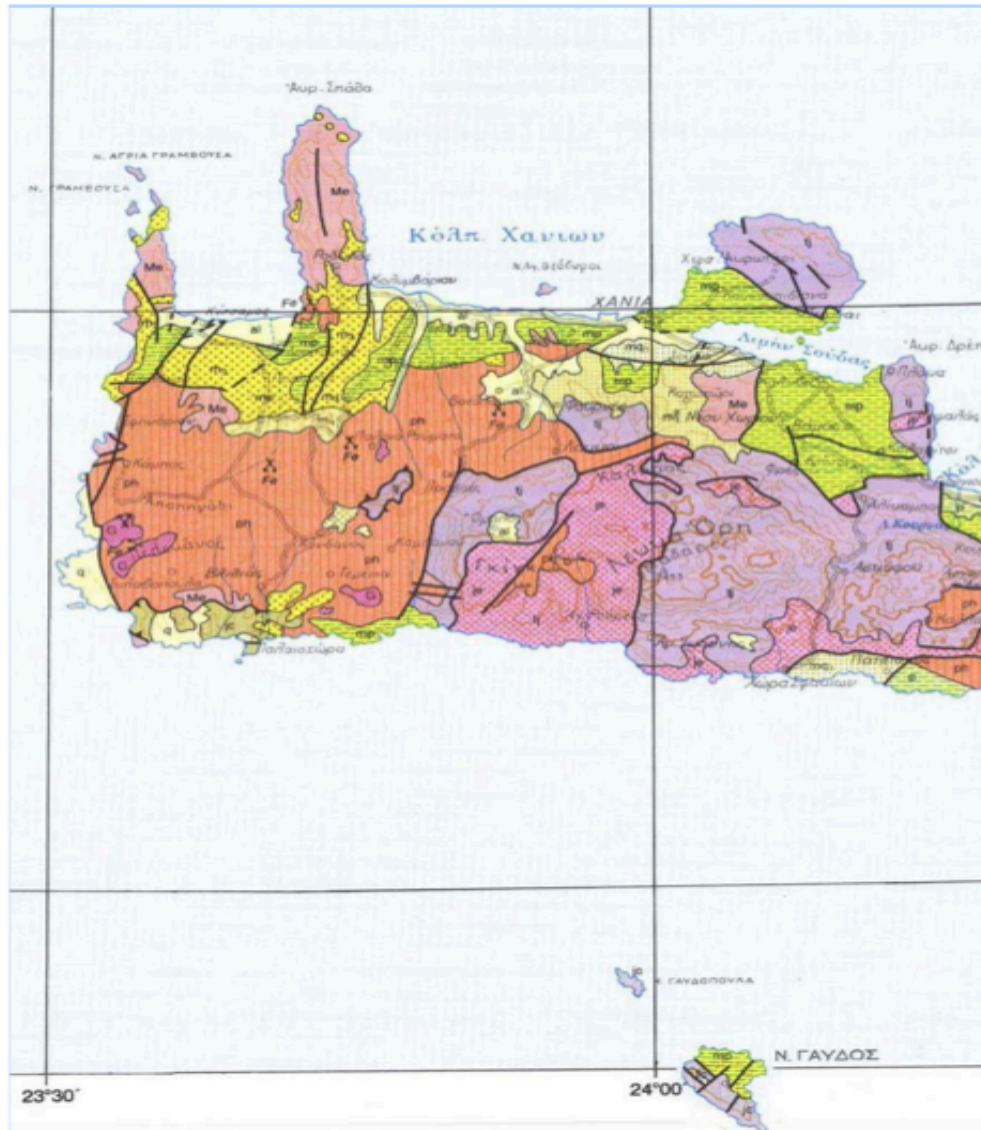
Το δυτικό τμήμα της παραλίας, στην σημερινή του μορφή, διαβρώνεται, και τα υλικά μετακινούνται κυρίως ανατολικά. Στο ανατολικότερο σημείο παρατηρείται πρόσχωση με λεπτόκοκκο υλικό, μάλλον λόγω των μειωμένων ανθρωπογενών παρεμβάσεων .

Η διαχρονική μέσω αεροφωτογραφιών σύγκριση υπέδειξε την δυναμική εξέλιξη της παραλίας τα τελευταία 70 χρονιά, και παρατηρήθηκε ότι σε μερικά σημεία η ακτογραμμή υπεχώρησε μέχρι 70m. Το μεγαλύτερο σημαντικό ύψος κύματος που παρατηρήθηκε κατά την περίοδο των μετρήσεων ήταν 6,5m με περίοδο 10sec, αλλά μάλλον αυτές δεν είναι ακραίες τιμές, αν αναλογιστεί κανείς την μέση απόκλιση από λιγότερο ακραίους κυματισμούς. Αρνητικά έδρασαν οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες της αμμοληψίας από τις παραλίες κατά την δεκαετία του 70, όταν αναπτυσσόταν η περιοχή και έγινε διευθέτηση των ποταμών και επέκταση της παραλιακής οδού η κατασκευή του λιμάνιου και των ξενοδοχειακών εγκαταστάσεων. Η κατασκευή του λιμένα ορειοθετεί χρονικά μεγάλη υποχώρηση του δυτικού τμήματος, κυρίως μέσω κυματικής ανάκλασης.

Το γενικό συμπέρασμα είναι ότι η παράλια του Κολυμβαριού βρίσκεται υπό έντονη διαβρωση . Ο συνδυασμός μετρήσεων κύματος με μικρο τοπογραφικές μεταβολές και μετρήσεις κοκκομετρικών μεταβολών παρέχει ικανή εικόνα της δυναμικής μια προσχογενούς παραλίας. Τα αποτελέσματα της εργασίας θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και για την αξιολόγηση ήπιων παρεμβάσεων στην δυναμική των ακτών.

Υπόμνημα

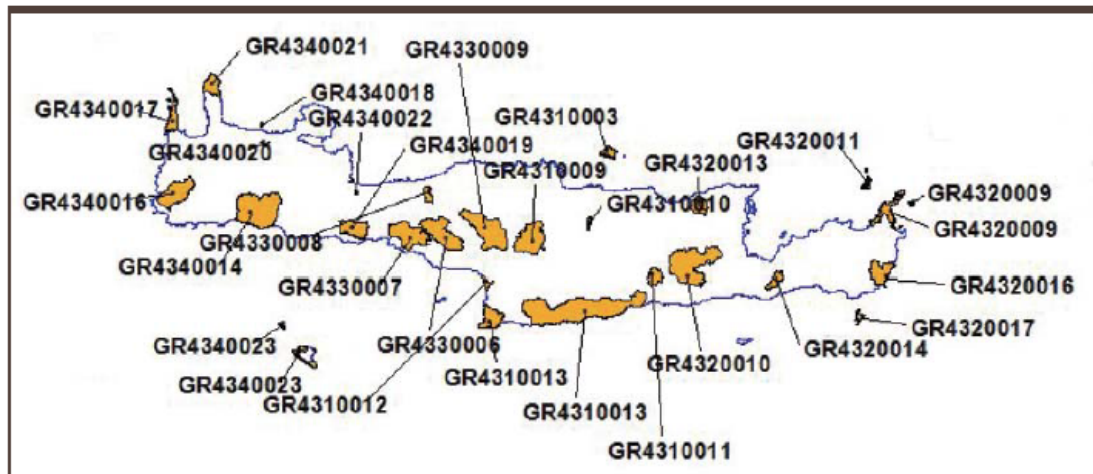
Απόσπασμα γεωλογικού χάρτη του ΙΓΜΕ κλίμακας 1:500.000 και απόσπασμα γεωτεχνικού χάρτη του ΙΓΜΕ κλίμακας 1:500.000 για την περιοχή μελέτης[16]



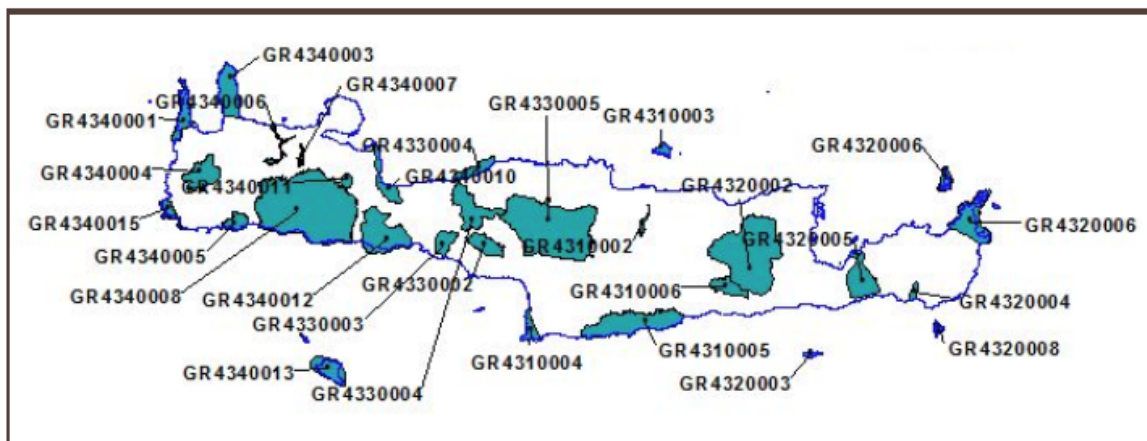
Εικόνα 3-7: Γεωλογικός χάρτης Χανίων-Απόσπασμα γεωλογικού χάρτη ΙΓΜΕ αρχικής κλίμακας 1:500.000

59

Ζώνες Εδικής Προστασίας σύμφωνα και με το ΦΕΚ 1495/Β /06.09.2010 και στην εικόνα 3-13 οι Τοποι Κοινοτικής Σημασίας στην Περιφέρεια Κρήτης



Εικόνα 3-12 : Ζώνες Ειδικής Προστασίας (ΖΕΠ)περιφέρειας Κρήτης



Εικόνα 3-13:Τοποι Κοινοτικής Σημασίας(ΤΚΣ) Περιφέρειας Κρήτης

Όπως είναι εμφανές από τις εικόνες 3-11 και 3-12 η περιοχή μελέτης γειτνιάζει με προστευόμενες περιοχές

3.2.6.1 Νομος Χανίων

Στον πίνακα που ακολουθεί παρατίθενται οι περιοχές του νομού Χανίων που έχουν ενταχθεί στο πρόγραμμα Natura 2000, μετά από τις τελευταίες ενσωματώσεις νέων περιοχών στον κατάλογο των προστατευομένων τοπών[22].

Α/Α	ΚΩΔΙΚΟΣ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΤΟΠΟΥ	ΕΚΤΑΣΗ (ha)
398	GR4340001	ΤΚΣ	ΗΜΕΡΗ & ΑΓΡΙΑ ΓΡΑΜΒΟΥΣΑ - ΤΙΓΑΝΙ & ΦΑΛΑΣΑΡΝΑ - ΠΟΝΤΙΚΟΝΗΣΙ, ΟΡΜΟΣ ΛΙΒΑΔΙ - ΒΙΓΛΙΑ	5781,32
399	GR4340002	ΤΚΣ	ΝΗΣΟΣ ΕΛΑΦΟΝΗΣΟΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΖΩΝΗ	271,75
400	GR4340003	ΤΚΣ	ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΣ ΡΟΔΟΠΟΥ - ΠΑΡΑΛΙΑ ΜΑΛΕΜΕ	8797,27
401	GR4340004	ΤΚΣ	ΕΛΟΣ - ΤΟΠΟΛΙΑ - ΣΑΣΑΛΟΣ - ΑΓΙΟΣ ΔΙΚΑΙΟΣ	7351,95
402	GR4340005	ΤΚΣ	ΟΡΜΟΣ ΣΟΥΓΙΑΣ - ΒΑΡΔΙΑ - ΦΑΡΑΓΓΙ ΛΙΣΣΟΥ ΜΕΧΡΙ ΑΝΥΔΡΟΥΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΖΩΝΗ	3039,87
403	GR4340006	ΤΚΣ	ΛΙΜΝΗ ΑΓΙΑΣ - ΠΛΑΤΑΝΙΑΣ - ΡΕΜΑ ΚΑΙ ΕΚΒΟΛΗ ΚΕΡΙΤΗ - ΚΟΙΛΑΔΑ ΦΑΣΑ	1211,83
404	GR4340007	ΤΚΣ	ΦΑΡΑΓΓΙ ΘΕΡΙΣΣΟΥ	497,73
405	GR4340008	ΤΚΣ	ΛΕΥΚΑ ΟΡΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΖΩΝΗ	53363,6
406	GR4340010	ΤΚΣ	ΔΡΑΠΑΝΟ (ΒΟΡΕΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΕΣ ΑΚΤΕΣ) - ΠΑΡΑΛΙΑ ΓΕΩΡΓΙΟΥΠΟΛΗΣ - ΛΙΜΝΗ ΚΟΥΡΝΑ	4511,13
407	GR4340011	ΤΚΣ	ΦΡΕ - ΤΖΙΤΖΙΦΕΣ - ΝΙΠΟΣ	1217,6
408	GR4340012	ΤΚΣ	ΑΣΦΕΝΔΟΥ - ΚΑΛΛΙΚΡΑΤΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΖΩΝΗ	14022,5
409	GR4340013	ΤΚΣ	ΝΗΣΟΙ ΓΑΥΔΟΣ ΚΑΙ ΓΑΥΔΟΠΟΥΛΑ	6290,57
410	GR4340014	ΖΕΠ	ΕΘΝΙΚΟΣ ΔΡΥΜΟΣ ΣΑΜΑΡΙΑΣ - ΦΑΡΑΓΓΙ ΤΡΥΠΗΤΗΣ - ΨΙΛΑΦΙ - ΚΟΥΣΤΟΓΕΡΑΚΟ	13979,8
411	GR4340015	ΤΚΣ	ΠΑΡΑΛΙΑ ΑΠΟ ΧΡΥΣΟΣΚΑΛΙΤΙΣΣΑ ΜΕΧΡΙ ΑΚΡΩΤΗΡΙΟ ΚΡΙΟΣ	2202,53
412	GR4340016	ΖΕΠ	ΜΕΤΕΡΙΣΙΑ ΑΓΙΟΣ ΔΙΚΑΙΟΣ - ΤΣΟΥΝΑΡΑ - ΒΙΤΣΙΛΙΑ ΛΕΥΚΩΝ ΟΡΕΩΝ	6875,01
413	GR4340017	ΖΕΠ	ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΣ ΓΡΑΜΒΟΥΣΑΣ ΚΑΙ ΝΗΣΙΔΕΣ ΗΜΕΡΗ ΚΑΙ ΑΓΡΙΑ ΓΡΑΜΒΟΥΣΑ, ΠΟΝΤΙΚΟΝΗΣΙ	2839,56
414	GR4340018	ΖΕΠ	ΝΗΣΙΔΑ ΑΓΙΟΙ ΘΕΟΔΩΡΟΙ	81,52
415	GR4340019	ΖΕΠ	ΦΑΡΑΓΓΙ ΚΑΛΛΙΚΡΑΤΗΣ-ΑΡΓΟΥΛΙΑΝΟ ΦΑΡΑΓΓΙ-ΟΡΟΠΕΔΙΟ ΜΑΝΙΚΑ	4232,53
416	GR4340020	ΖΕΠ	ΛΙΜΝΗ ΑΓΙΑΣ (ΧΑΝΙΑ)	66,71
417	GR4340021	ΖΕΠ	ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΣ ΡΟΔΟΠΟΥ	2920,24
418	GR4340022	ΖΕΠ	ΛΙΜΝΗ ΚΟΥΡΝΑ ΚΑΙ ΕΚΒΟΛΗ ΑΛΜΥΡΟΥ	199,7
419	GR4340023	ΖΕΠ	ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΗ ΓΑΥΔΟΣ ΚΑΙ ΓΑΥΔΟΠΟΥΛΑ	1563,73

* ΤΚΣ: Τόποι Κοινοτικής Σημασίας. ΖΕΠ: Ζώνες Ειδικής Προστασίας

Πίνακας 2: Περιοχές Nature 2000 Νομού Χανίων

Βιοβλιογραφία

1. Εφημερίς της Κυβερνήσεως
www.yen.gr/php/download_xitem.php?xitem=29892/ya_fek1393_05.pdf
2. **University of Florida, Outreach Engineering Education Program- Bob Dean Lectures**
3. **University of Florida, Outreach Engineering Education Program- Bob Dean Lectures**
4. Ηλεκτρονική έκδοση βιβλίου ιζηματολογίας
www.geo.auth.gr/647/
5. Coastal Engineer Manual (CEM)
<http://chl.erdc.usace.army.mil/cemtoc>
6. http://coastalchange.ucsd.edu/st3_basics/waves.html
7. http://coastalchange.ucsd.edu/st3_basics/waves.html
8. http://coastalchange.ucsd.edu/st3_basics/waves.html
9. http://coastalchange.ucsd.edu/st3_basics/waves.html
10. <http://www.coastalchange.ucsd.edu/index.html>
11. http://coastalchange.ucsd.edu/st3_basics/waves.html
12. http://www.experttravel.gr/Photo/Original/1194_4.jpg
13. <http://webserver.math.uoc.gr:1080/syndesmoi/topikou/crete-map-gif.gif>
14. http://www.ims.forth.gr/joint_projects/emeric/emeric-gr.html
15. http://www.ims.forth.gr/joint_projects/emeric/emeric-gr.html
16. Εγκεκριμένο Περιφερειακό σχέδιο Διαχείρισης Στερεών αποβλήτων Περιφέρειας Κρήτης, 2006

17. Περλeros Β., Παπαμαστορακης Δ., Κριτσωτακης Μ., Δρακοπουλου Ε. και Παναγοπουλος Α. Υπογειο υδατικο δυναμικο Κρητης, προβληματα και προοπτικες, Δελτιο Ελληνικης Γεωλογικης Εταιρειας τομ. XXXVI, 2004, Πρακτικα 10^{ου} Διεθνους Συνεδριου, Θεσσ/νικη 2004
18. Περλeros Β., Παπαμαστορακης Δ., Κριτσωτακης Μ., Δρακοπουλου Ε. και Παναγοπουλος Α. Υπογειο υδατικο δυναμικο Κρητης, προβληματα και προοπτικες, Δελτιο Ελληνικης Γεωλογικης Εταιρειας τομ. XXXVI, 2004, Πρακτικα 10^{ου} Διεθνους Συνεδριου, Θεσσ/νικη 2004:
19. Εθνικο μετσοβιο πολυτεχνειο. Τομεας υδατικων πορων και περιβαλλοντος. Υπουργειο Περιβαλλοντος, χωροταξιας και Δημοσιων εργων. Κεντρικη υπηρεσια υδατων, Εθνικο προγραμμα διαχειρισης και Προστασιας των υδατικων πορων, ΕΜΠ. 2008
20. Περιφερεια Κρητης, Γενικη Διευθυνση Περιφερειας, Διευθυνση Υδατων, Τμημα Παρακολουθησης και ελεγχου της ποιτητας των Υδατων, κατασταση Υπογειων υδροφορεων Κρητης)
21. Περιφερεια Κρητης, Γενικη Διευθυνση Περιφερειας, Διευθυνση Υδατων, Τμημα Παρακολουθησης και ελεγχου της ποιτητας των Υδατων, κατασταση Υπογειων υδροφορεων Κρητης
22. ΥΠΕΚΑ, 2010
23. <http://souwest.files.wordpress.com/2011/11/dscn27931.jpg>
24. <http://www.metricanet.gr>
25. <http://www.marktopo.com/index.php?page=rtk>

26. <http://www.ageotec.com/cms/index.php/en/products/100-nortek-awac>
27. Αγγλική πολεμική αεροπορία
28. Γεωγραφική υπηρεσία στρατού
29. Γεωγραφική υπηρεσία στρατού
30. Google earth 2014
31. synolakis et al,2008
32. Google earth 2014
33. <http://earthpoint.us/Shapes.aspx>
34. <http://www.nortek-as.com/en/products/wave-systems/nortek-primers-gettingstarted-with-wave-1>
35. Παρακτια γεωμορφολογία Ευθύμιος Θ.Καρυμπαλής, Εκδόσεις ίων 2010
36. http://remont.en.alibaba.com/product/1284731078-220574349/Used_grain_analysis_test_sieve_shaker.html
37. http://www.analytika.gr/index.asp?mod=eshop_item&ID=173&p=1820

