ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

Π.Μ.Σ. «Γεωεπιστήμες και περιβάλλον»
Κατεύθυνση: Περιβαλλοντική Ωκεανογραφία

Παλαιογεωγραφική ανάπλαση των αρχαίων λιμένων Ζέας και Μικρολίμανου (Μουνιχία) με εφαρμογή γεωφυσικών μεθόδων

Ζούρα Δέσποινα

Πάτρα, 2013

Εργαστήριο θαλάσσιας Γεωλογίας και Φυσικής Ωκεανογραφίας

Πρόλογος – Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία ειδίκευσης εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Θαλάσσιας Γεωλογίας και Φυσικής Ωκεανογραφίας (ΕΘΑΓΕΦΩ) σε συνεργασία με το Δανέζικο Ινστιτούτο στην Αθήνα και το Zea Harbour Project στο πλαίσιο του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών «Γεωεπιστήμες και Περιβάλλον» του τμήματος Γεωλογίας με κατεύθυνσης «Περιβαλλοντική Ωκεανογραφία».

Με την ολοκλήρωση της συγγραφής αυτής της εργασίας αισθάνομαι την υποχρέωση αλλά και την ανάγκη να ευχαριστήσω θερμά τους ανθρώπους που συνέβαλαν καθοριστικά στην ολοκλήρωσή της:

Τον επιβλέποντα καθηγητή, Γ. Παπαθεοδώρου για την ανάθεση του θέματος, την καθοδήγηση και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε σε όλη αυτή την πορεία.
Την επίκουρο καθηγήτρια Μ. Γεραγά για την βοήθειά της σε όλα τα επίπεδα και για τη συμμετοχή της στην τριμελή εξεταστική επιτροπή.
Την επίκουρο καθηγήτρια Ε. Παπαευθυμίου για την συμμετοχή της στην τριμελή εξεταστική επιτροπή.
Τον Dr. Bjorn Lovén επιστημονικό υπεύθυνο του Zea Harbour Project.
Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω όλα τα μέλη του ΕΘΑΓΕΦΩ. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τους Δρ. Δ. Χριστοδούλου και Δρ. Η. Φακίρη για όλες τις ώρες που διέθεσαν και τις γνώσεις που μου μεταλαμπάδευσαν, την Δρ. Μ. Ιατρού και την Σ. Κορδέλλα για την ιδανική συνεργασία και την πολύτιμη βοήθειά τους στην συλλογή των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για την παρούσα διατριβή.
Ευχαριστίες εκφράζονται επίσης στο πρόγραμμα «Καραθεοδωρή 2010-2013» που χρηματοδοτείται από το Πανεπιστήμιο Πατρών.
Τέλος, ευχαριστώ ιδιαίτερα την οικογένεια μου για την συνεχή στήριξη της στην διάρκεια των σπουδών μου.

Σύνοψη

Η αλλαγή στην στάθμη της θάλασσας καθώς και καταστροφικά φαινόμενα που έχουν συμβεί τα τελευταία 10.000 χρόνια έχουν οδηγήσει στην καταβύθιση αρχαίων λιμενικών εγκαταστάσεων. Μέρος των εγκαταστάσεων των αρχαίων λιμένων Ζέας και Μουνιχίας βρίσκονται σήμερα κάτω από το επίπεδο της θάλασσας. Για την μελέτη αυτών, είναι απαραίτητη η χρήση σύγχρονων συστημάτων θαλάσσιας γεωφυσικής διασκόπισης με σκοπό: (α) την κατασκευή λεπτομερούς βυθομετρικής αποτύπωσης στους αρχαίους λιμένες Ζέας και Μουνιχίας καθώς και των παράκτιων περιοχών πλησίον τους, (β) την μελέτη της στρωματογραφίας της ακολουθίας ιζημάτων (γ) τον προσδιορισμό της παλαιογεωγραφικής εξέλιξης της περιοχής Ζέας – Μουνιχίας και (δ) τον εντοπισμό στόχων, επιφανειακών και υποεπιφανειακών με πιθανό αρχαιολογικό ενδιαφέρον.

Οι θαλάσσιες γεωφυσικές έρευνες πραγματοποιήθηκαν τον Νοέμβριο του 2011 από το Ε.ΘΑ.ΓΕ.Φ.Ω σε συνεργασία με το Danish Institute και το Zea Project. Στην παρούσα διπλωματική αναλύθηκαν και επεξεργάστηκαν τα γεωφυσικά δεδομένα που συλλέχθηκαν με τομογράφο υποδομής πυθμένα 3.5 kHz, ηχοβολιστή πλευρικής σάρωσης (EG&G 272 TD) καθώς και βυθόμετρο (Elac Nautic Hydrostat).

Η μελέτη στης σεισμοστρωματογραφίας με τομογράφο υποδομής πυθμένα έδειξε τρεις σεισμικές ιζητογενείς ακολουθίες για κάθε έναν από τους αρχαίους λιμένες και οδήγησε στην κατασκευή χάρτη ισοπαχών. Οι τρείς ακολουθίες πιθανώς σχετίζονται με διαφορετικές χρονικές περιόδους των λιμένων. Τα δεδομένα του ηχοβολιστή πλευρικής σάρωσης εντόπισαν περιοχές του πυθμένα των λιμένων που πιθανώς σχετίζονται με αρχαίες κατασκευές. Επιπλέον από τα δεδομένα του ηχοβολιστή πλευρικής σάρωσης προέκυψαν χάρτες μορφολογικής αποτύπωσης του πυθμένα καθώς και στόχοι με πιθανό αρχαιολογικό ενδιαφέρον. Συγκεκριμένα εντοπίστηκε ένας μεγάλος αριθμός στόχων που χαρακτηρίζονται από εύρος τιμών όσον αφορά στις γεωμετρικές παραμέτρους και στις παραμέτρους ανακλαστικότητας. Το λογισμικό TargAn εφαρμόσθηκε για την παραμετροποίηση όλων των στόχων ενώ επιπλέον εφαρμόσθηκαν στατιστικές τεχνικές πολυδιάστατης ανάλυσης για την ταξινόμηση των στόχων σε ομάδες με βάση την αρχαιολογική τους σπουδαιότητα.

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή 6

1.1 Σκοπός 9

1.2 Οι θαλάσσιες γεωφυσικές μέθοδοι στην αρχαιολογική έρευνα 9

2. Ιστορικά – αρχαιολογικά στοιχεία 11

2.1 Λιμένας Ζέας και Μικρολίμανου 11

2.2 Αρχαίοι λιμένες Ζέας και Μουνιχίας 13

2.3 Νεώσοικοι 17

3. **Μεθοδολογία 20**

3.1 Εργασίες πεδίου 20

3.1.3 Βαθυμετρική αποτύπωση του πυθμένα 21

3.1.4 Τομογράφος υποδομής πυθμένα 22

3.1.5 Ηχοβολιστής πλευρικής σάρωσης 26

3.2 Επεξεργασία γεωφυσικών δεδομένων 29

3.2.1 Τομογράφος υποδομής πυθμένα 29

3.2.2 Ηχοβολιστής πλευρικής σάρωσης 30

3.2.3 TargAn 32

4. Αποτελέσματα βυθομετρίας ..... Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.

4.1 Λιμένας Μουνιχίας ..... **Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

4.2 Λιμένας Ζέας ..... **Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

4.3 Παράκτια περιοχή μεταξύ των δύο λιμένων ..... **Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

5. Σεισμική στρωματογραφία ..... Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.

5.1 Λιμένας Μουνιχίας ..... **Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

5.2 Λιμένας Ζέας ..... **Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

5.3 Παράκτια περιοχή ανάμεσα στους λιμένες Ζέας και Μουνιχίας**Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

6. Μορφολογική αποτύπωση πυθμένα ..... Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.

7. Παλαιογεωγραφικά στοιχεία των αρχαίων λιμένων Ζέας και ΜουνιχίαςΣφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.

7.1 Λιμένας Μουνιχίας ..... **Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

7.2 Λιμένας Ζέας ..... **Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

8. Ταξινόμηση στόχων με την χρήση του TargAn ..... Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.

8.1 R – τύπου παραγοντική ανάλυση ..... **Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

8.2 Q – τύπου παραγοντική ανάλυση ..... **Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

8.3 Τελική ταξινόμηση στόχων ..... **Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

9. Συμπεράσματα 67

Βιβλιογραφία 68

1. Εισαγωγή

Η Μεσόγειος είναι γνωστή από τα αρχαία χρόνια ως μια μεγάλη, κλειστή θάλασσα ανάμεσα σε τρείς ηπείρους, την Ευρώπη την Αφρική και την Ασία. Δυτικά συνδέεται με τον Ατλαντικό ωκεανό, και ανατολικά με την Ερυθρά θάλασσα (εικ.1.1).

Ο Στράβων την ονομάζει: «η εντός και καθ΄ ημάς λεγόμενη θάλασσα», προσδιορισμό που πιστά μιμήθηκαν αργότερα και οι Ρωμαίοι και την μετέφρασαν σε «mare nostrum» (= ημέτερη θάλασσα). Άλλοι Ρωμαίοι χρησιμοποιούν τον όρο «mare internum» ή «mare insentinum» (= εσωτερική θάλασσα) καθώς και «Mare magnum» (=Μεγίστη θάλασσα). Η πατρότητα του όρου «Μεσόγειος θάλασσα» ανήκει ιστορικά στους Λατίνους και μάλιστα περί τα μέσα του 3ου αιώνα που πρώτος ο Σολίνος τη ονομάζει χαρακτηριστικά «Mare Mediterraneum». Ο 16ος και 17ος αιώνας βρίσκει τη θάλασσα αυτή να ονομάζεται Λευκή θάλασσα, ή θάλασσα των Ελλήνων.

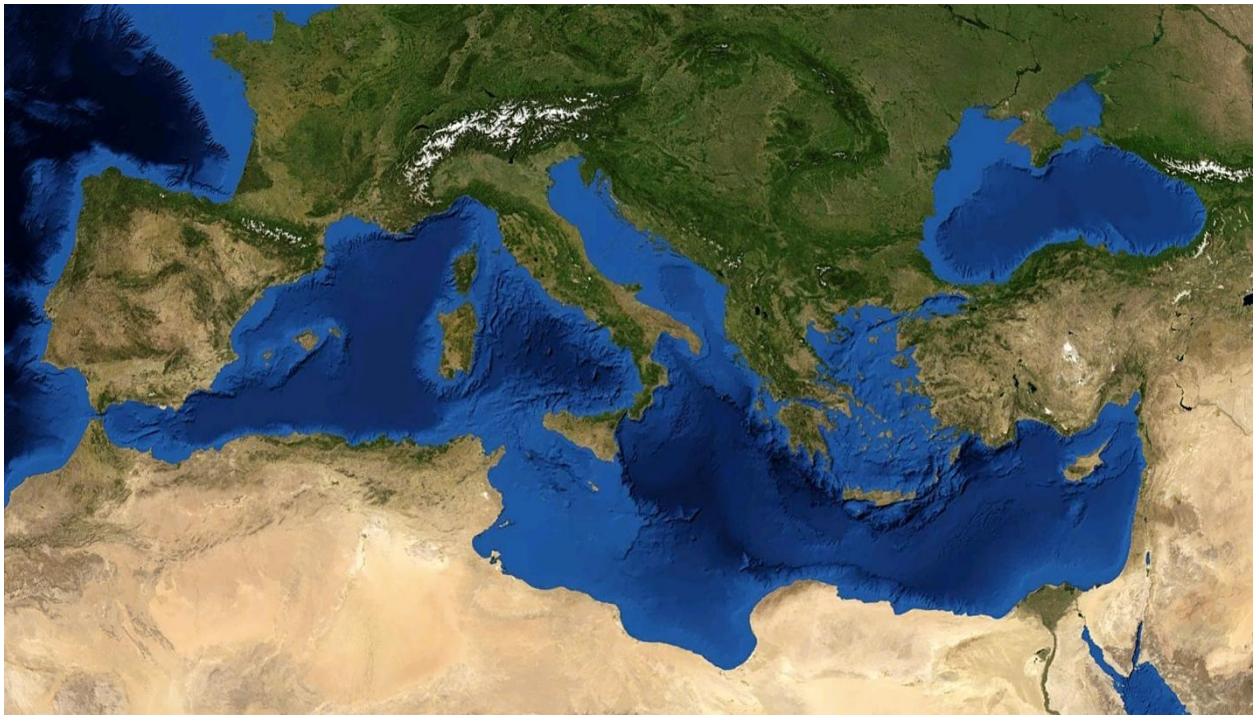
Η γεωγραφική θέση της Μεσογείου προσδιορίζεται με γεωγραφικό πλάτος 30° 15’ Β. έως 45° 50’ Β. και γεωγραφικό μήκος 05° 21’ Δ. μέχρι 36° 10’ Α. Έχει έκταση περίπου 800.000 τετραγωνικά μίλια. Το μέγιστο μήκος της είναι 3.860 χλμ., και το μέγιστο πλάτος της 1.800 χλμ. ενώ το μέγιστο βάθος είναι 5.120 μ. σε απόσταση 62 μιλίων νοτιοδυτικά από το ακρωτήριο Ταίναρο. Το μέσο πλάτος είναι 600 χλμ. και το μέσο βάθος 1.500 μ. Γενικά η Μεσόγειος Θάλασσα είναι η μεγαλύτερη κλειστή θάλασσα της Γης.

Υπήρξε σημαντικό εμπορικό και ταξιδιωτικό πέρασμα από τα αρχαία χρόνια, καθώς στην ευρύτερη περιοχή της αναπτύχθηκαν πολλοί σημαντικοί παράκτιοι πολιτισμοί. Αποτέλεσμα αυτής της ανάπτυξης ήταν η δημιουργία λιμενικών εγκαταστάσεων. Σήμερα, πολλές από αυτές τις λιμενικές εγκαταστάσεις παραμένουν ανεξερεύνητες καθώς έχουν καταβυθιστεί. Αυτό οφείλεται στις κλιματικές αλλαγές τα τελευταία 18.000 χρόνια που προκάλεσαν μεγάλες μεταβολές στη στάθμη της θάλασσας με συνέπεια μεταβολές και στην παράκτια παλαιογεωγραφία (Fairbanks, 1989). Συγκεκριμένα 18.000 πριν από σήμερα κατά το τελευταίο μέγιστο της παγετώδους περιόδου (Last Glacial Maximum), η στάθμη της θάλασσας βρισκόταν περίπου στα 120 μέτρα χαμηλότερα της σημερινής. Αυτό δείχνει ότι πολλές περιοχές του σημερινού πυθμένα στα 18.000 χρόνια πριν από σήμερα ήταν χερσαίες. Με την τήξη των παγετώνων που ακολούθησε την παγετώδη περίοδο, η στάθμη της θάλασσας παρουσίασε άνοδο με αποτέλεσμα σε πολλές παράκτιες περιοχές να έχουμε επίκληση της θάλασσας στη χέρσο. Συνέπεια του φαινομένου αυτού ήταν η καταβύθιση αρχαίων πόλεων, οικισμών και λιμενικών εγκαταστάσεων (Papatheodorou and Ferentinos, 1997, Marriner et al., 2008) (εικ. 1.2).

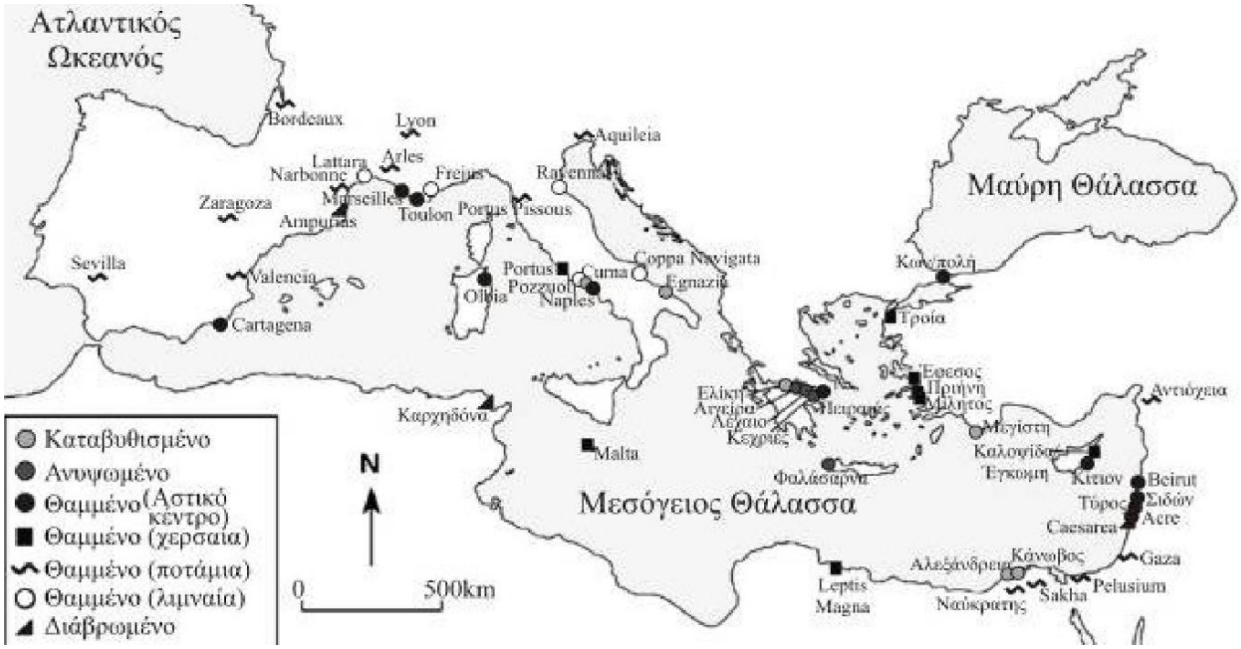
Στην Μεσόγειο, υπάρχουν 1189 καταγεγραμμένα ναυάγια που το νεότερο εξ αυτών χρονολογείται από το 1500 μ. Χ. (Parker, 1992). Ο αριθμός αυτός αναμένεται να αυξηθεί λόγω των εξειδικευμένων θαλάσσιων γεωφυσικών μεθόδων που έχουν αναπτυχθεί καθώς και την αρχή ερευνών σε περιοχές που στο παρελθόν δεν είχαν εξερευνηθεί.

Στον χώρο του Αιγαίου η ανάπτυξη του θαλάσσιου εμπορίου είχε ξεκινήσει από το 8.000 π. Χ. (Dixon & Renfrew, 1973). Εξαιτίας αυτής της ανάπτυξης δημιουργήθηκε πλειάδα παράκτιων οικισμών και πολιτισμών που η οικονομία τους στηριζόταν στο εμπόριο όπως φαίνεται στον χάρτη της εικ.1.3.

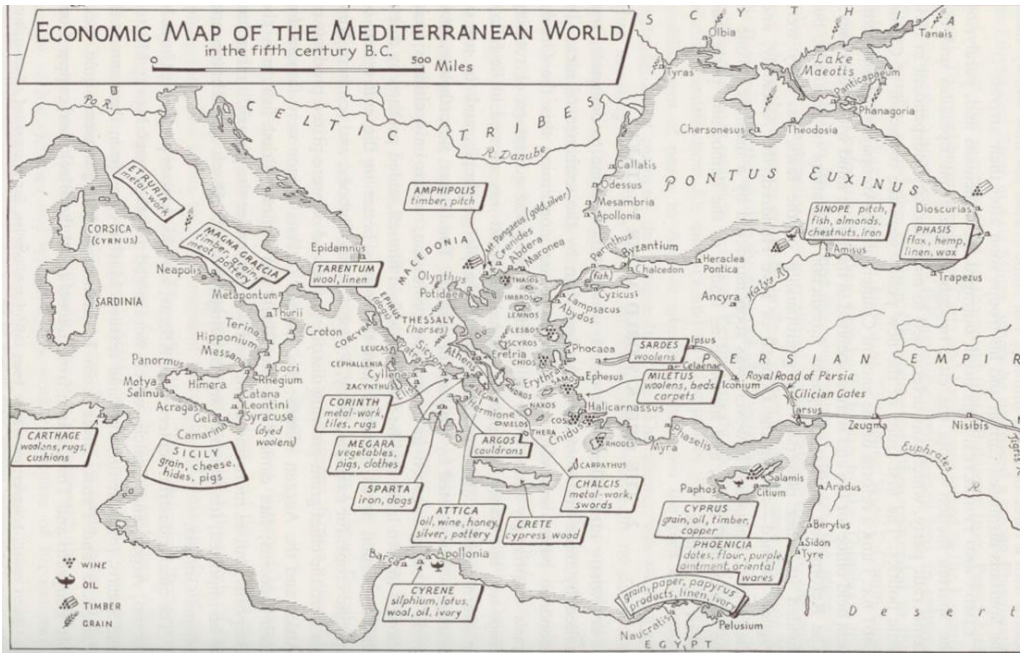
Στην Ελλάδα μεγάλες περιοχές πλησίον της ακτογραμμής έχουν εξερευνηθεί από δύτες και οι αρμόδιες υπηρεσίες έχουν μια βάση δεδομένων για περίπου 1000 ναυάγια σε ρηχά νερά (Delaporta, 2006).



Εικ. 1.1: Δορυφορική εικόνα της Μεσογείου



Εικ. 1.2: Χάρτης με τις θέσεις αρχαίων λιμένων στην Μεσόγειο. (Chalari 2007, after Marriner & Morhange, 2007).



Εικ. 1.3: Οικονομικός χάρτης της Μεσογείου του 5^{ου} αιώνα π. Χ.(Morris & Manning, 2005).

Το Εργαστήριο θαλάσσιας γεωλογίας και φυσικής ωκεανογραφίας (ΕΘΑΓΕΦΩ) εκτέλεσε θαλάσσιες γεωφυσικές έρευνες στην περιοχή των αρχαίων λιμένων Ζέας και Μουνιχίας (εικ.4) από 13-14 και 18-20 Οκτωβρίου 2011 με την συνεργασία του Zea Harbour Project το οποίο λειτουργεί υπό την αιγίδα του Δανέζικου Ινστιτούτου στην Αθήνα.

Εικ. 1.4: Δορυφορικός χάρτης της περιοχής μελέτης.

1.1 Σκοπός

Σκοπός της Μεταπτυχιακής εργασίας ειδίκευσης είναι:

- Η κατασκευή λεπτομερούς βαθυμετρικής αποτύπωσης στους αρχαίους λιμένες Ζέας και Μουνιχίας καθώς και των περιοχών πλησίον στους δύο αυτούς λιμένες.
- Η μελέτη της στρωματογραφίας της ακολουθίας ιζημάτων.
- Ο προσδιορισμός της παλαιογεωγραφικής εξέλιξης της περιοχής Ζέας – Μουνιχίας.
- Η ανίχνευση στόχων, τόσο επιφανειακών όσο και υποεπιφανειακών με πιθανό αρχαιολογικό ενδιαφέρον.

1.2 Οι θαλάσσιες γεωφυσικές μέθοδοι στην αρχαιολογική έρευνα

Οι θαλάσσιες γεωφυσικές μέθοδοι έχουν γίνει εργαλείο στα χέρια των ενάλιων αρχαιολόγων καθώς πρόκειται για αποτελεσματικές μεθόδους που μπορούν να καλύψουν μεγάλες περιοχές σε μικρό χρόνο και ανεξαρτήτως του βάθους του νερού και να εντοπίσουν στόχους όχι μόνο στην επιφάνεια του πυθμένα αλλά και κάτω από αυτόν. Επιπλέον εντοπίζουν και χαρτογραφούν συγκεκριμένα γεωλογικά χαρακτηριστικά με απώτερο σκοπό την αναπαράσταση της εξέλιξης της παράκτιας παλαιογεωγραφίας. Επιπλέον με την χρήση των μεθόδων αυτών μπορούμε να προχωρήσουμε στον εντοπισμό ναυαγίων (Papatheodorou et al., 2005, 2008). Πρόκειται για έναν νέο κλάδο που ονομάζεται θαλάσσια γεωαρχαιολογία.

Για πάνω από έναν αιώνα οι αρχαιολόγοι που δουλεύουν σε παράκτιες περιοχές σε όλο τον κόσμο, χρησιμοποιούσαν στοιχεία από τις χερσαίες αρχαιολογικές περιοχές για να αναπλάσουν την ιστορία ή την εξέλιξη των παράκτιων και των θαλάσσιων περιβαλλόντων χωρίς να λαμβάνουν υπ' όψιν τους, τους διαφορετικούς ρυθμούς διάβρωσης σε κάθε περιοχή και τον διαφορετικό ρυθμό ανόδου της στάθμης της θάλασσας σε κάθε μια από τις περιοχές (Flemming, 2006). Έτσι οι θεωρίες για την εξέλιξη της παράκτιας ζώνης εμπεριείχαν σφάλματα. Για την αποφυγή αυτών των σφαλμάτων αλλά και για την καλύτερη κατανόηση της παλαιογεωγραφίας, οι ενάλιοι αρχαιολόγοι αλλά και πολλοί από τους κλασσικούς χρησιμοποίησαν νέες τεχνικές. Αποτέλεσμα αυτού ο εμπλουτισμός των γνώσεών τους ως προς τα πλοία, το θαλάσσιο εμπόριο, τις παράκτιες και τις λιμενικές εγκαταστάσεις.

Οι νέες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στηρίζονται σε νέες τεχνολογίες που έχουν αναπτυχθεί κυρίως για στρατιωτικούς σκοπούς αλλά πλέον χρησιμοποιούνται ολοένα και περισσότερο στις υποθαλάσσιες έρευνες (Quinn et al.,2000).

Η δουλειά των ενάλιων αρχαιολόγων σε καταβυθισμένες περιοχές έχει δείξει ξεκάθαρα ότι η ενάλια αρχαιολογία δεν αφορά μόνο τα ναυάγια και τις λιμενικές εγκαταστάσεις αλλά μπορεί να εντοπίσει πολύ καλά διατηρημένα τμήματα χερσαίων εγκαταστάσεων σε μια πλειάδα διαφορετικών παράκτιων περιβαλλόντων που έχουν την δυνατότητα να αλλάξουν το πώς βλέπαμε μέχρι σήμερα το ρόλο της θάλασσας στην ανθρώπινη προϊστορία (Flemming, 1983, Fischer, 1995, Flemming, 2006). Επιπλέον αυτό που ενισχύει αυτή την άποψη είναι ότι τα τελευταία χρόνια έχει γίνει εμφανές ότι η αρχαιολογική

έρευνα μπορεί να γίνει δυνατή ακόμα και στα βαθύτερα τμήματα του ωκεανού. Μια σειρά από ανακαλύψεις και εξερευνήσεις που ξεκίνησαν την δεκαετία του ’90 έδειξαν στην επιστημονική κοινότητα ότι η ενάλια αρχαιολογία ακόμα και στα βαθιά νερά, όπου η έρευνα με ανθρώπινο δυναμικό είναι είτε ασύμφορη ή αδύνατη, μπορεί να χρησιμεύσει στην κατανόηση του παρελθόντος (Mindell and Croff, 2002).

Ωστόσο αυτό που παίζει μείζονα ρόλο είναι ότι η επιτυχία κάθε γεωαρχαιολογικής έρευνας βασίζεται σε πολύ μεγάλο ποσοστό στην εμπειρία του ερευνητή στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων (Quinn et al., 2002). Παρότι κάποιοι ερευνητές έχουν εστιάσει την έρευνά τους στις γεωφυσικές «υπογραφές» ανθρωπογενών θαμμένων ή επιφανειακών υλικών στο θαλάσσιο περιβάλλον (Quinn et al., 1997a, Bull et al., 1998, Newell, 1999), αυτό παραμένει ένα ανεπαρκώς κατανοητό θέμα. Αυτό οδηγεί συχνά σε λάθος ερμηνείες των ακουστικών δεδομένων (Quinn et al., 2002).

Παρόλα αυτά το πιο συναρπαστικό στοιχείο αυτού του νέου επιστημονικού κλάδου είναι ότι ίσως τα πιο σημαντικά κομμάτια της ιστορίας βρίσκονται σε περιοχές που επί του παρόντος δεν μπορούμε να προβλέψουμε (Mindell and Croff, 2002).

2. Ιστορικά – αρχαιολογικά στοιχεία

2.1 Λιμένας Ζέας και Μικρολίμανου

Η Ζέα είναι το δεύτερο από τα τρία λιμάνια του Πειραιά (καλείται επίσης Πασαλιμάνι ή Στρατιωτική). Ο λιμένας Ζέας βρίσκεται στην Ανατολική ακτή της Πειραϊκής Χερσονήσου. Η θαλάσσια περιοχή της είναι φτιαγμένη από δύο λεκάνες, το εσωτερικό λιμάνι – το λεγόμενο Πασαλιμάνι ή αλλιώς λιμάνι Κανάρη - που είναι φυσικό και το εξωτερικό λιμάνι που καλείται Φρεατίδα και είναι τεχνητό (εικ.2.1.1).
Το Μικρολίμανο ή Φανάρι, ή λιμένας Κουμουνδούρου, πρώην Τουρκολίμανο και στην αρχαιότητα Λιμένας Μουνιχίας αποτελεί σήμερα τουριστική τοποθεσία και περιλαμβάνεται στην ευρύτερη συνοικία της Καστέλλας. Βρίσκεται στα βορειοανατολικά της Πειραϊκής χερσονήσου συνορεύοντας με την συνοικία του Νέου Φαλήρου.
Με το όνομα Φανάρι φέρονταν κατά τους βυζαντινούς χρόνους πιθανώς από την ύπαρξη φάρου ή φανού στην είσοδό του. Τουρκολίμανο λέγονταν από τους χρόνους της ελληνικής επανάστασης του 1821 και μετά, ενώ λιμένας Κουμουνδούρου λεγόταν στους νεότερους χρόνους επειδή στο νότιο άκρο του υπήρχε η έπαυλη του Κουμουνδούρου μετά την κατεδάφιση της οποίας ανεγέρθηκε ο Ναυτικός Όμιλος Ελλάδος (εικ.2.1.2). Τα βασικά χαρακτηριστικά και των δύο λιμένων περιγράφονται στον πίνακα 2.1.1.

Χαρακτηριστικά	Μικρολίμανο	Ζέα
Περιοχή	Σαρωνικός κόλπος	Σαρωνικός κόλπος
Σε λειτουργία	Ναι	Ναι
Διαμόρφωση λιμένα	Εσωτερικός – φυσικός	Εσωτερικός φυσικός, εξωτερικός τεχνητός
Μέγεθος λιμνολεκάνης	0,05 km^2	Εσωτερική 0,11 km^2 εξωτερική 0,09 km^2
Είσοδος λιμένα	70 m	Εσωτερικός 50 m, εξωτερικός 100 m
Λιμενικές κατασκευές	Μώλοι, προκυμαίες	Μώλοι, προκυμαίες, εξωτερικός λιμένας
Χωρητικότητα σκαφών	---	670
Μέγιστο μέγεθος σκαφών	---	80 m

Πίνακας 2.1.1 : Βασικά και τεχνικά χαρακτηριστικά της μαρίνας Ζέας και του Μικρολίμανου.

Εικ. 2.1.1 : Δορυφορική εικόνα του λιμένα Ζέας. Διακρίνονται δύο τμήματα - λεκάνες. Α: εσωτερικό λιμάνι και Β: εξωτερικό λιμάνι.

Εικ. 2.1.2 : Δορυφορική εικόνα του Μικρολίμανου.

2.2 Αρχαίοι λιμένες Ζέας και Μουνιχίας

Ο λιμένας Ζέας στην αρχαιότητα αποτελούσε τον μεγαλύτερο πολεμικό λιμένα της Αθήνας και γενικότερα της Ελλάδας καθώς ξεπερνούσε σε μέγεθος τους λιμένες Μουνιχίας και Κανθάρου (εικ.2.2.1).

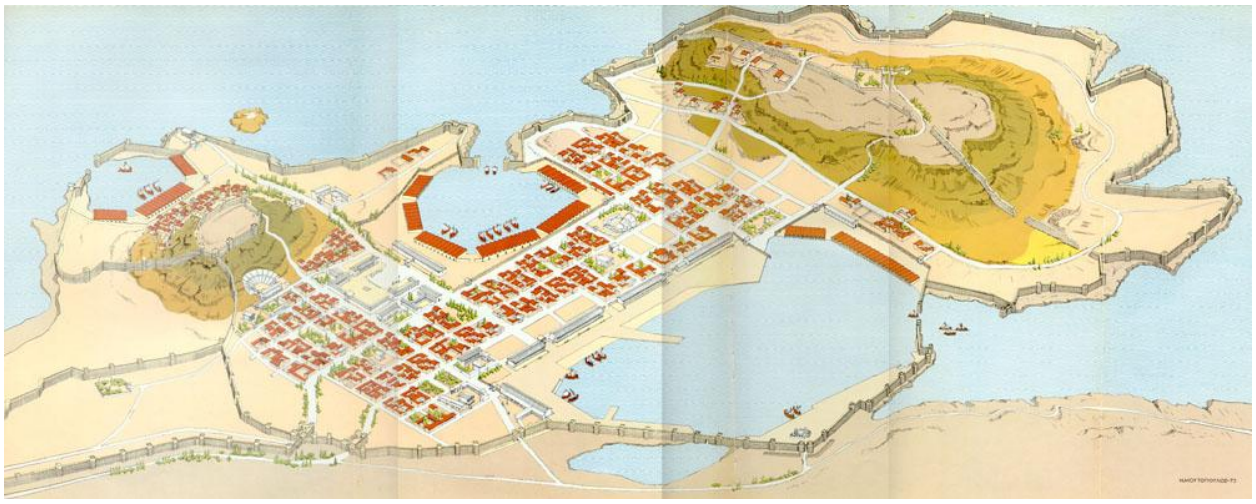
Το όνομα Ζέα είναι ένα άλλο όνομα της Εκάτης ή αλλιώς της Μουνιχίας Αρτέμιδος που το Ιερό της βρισκόταν δίπλα από την παραλία του λιμένα (Ulrichs, 1842). Ο λιμένας της Ζέας ήταν ο κύριος πολεμικός ναύσταθμος της Αθήνας. Πιθανότατα ήταν ο πρώτος από τους τρεις όρμους του Πειραιά (Μουνιχία, Ζέα, Κάνθαρος), ο οποίος διαμορφώθηκε κατάλληλα για την εξυπηρέτηση του αθηναϊκού στόλου, αμέσως μετά την αρχή του Θεμιστοκλή (493-492 π.Χ.), που συνέλαβε το σχέδιο της ανάπτυξης της ναυτικής δύναμης των Αθηνών και συνεπώς των λιμένων του Πειραιά (πινακας 2.2.1). Δέχθηκε τους πρώτους εργάτες με σκοπό την ανέγερση λιμενικών εγκαταστάσεων και την περάτωση λιμενικών έργων. Στην παραλία του λιμένα Ζέας υπήρχε ο μεγαλύτερος αριθμός νεωσοίκων από οποιονδήποτε άλλο πολεμικό λιμένα της αρχαιότητας. Οι νεώσοικοι της Ζέας, 196 στον αριθμό, ήταν μεγαλύτεροι εκείνων της Μουνιχίας με μήκος 40 μέτρα και πλάτος 6,5 μέτρα. Στο στόμιο του λιμένα Ζέας και κοντά στους λιμενοβραχίονες υπήρχαν λιθόκτιστοι πύργοι που απείχαν μεταξύ τους 96 μέτρα από τους οποίους φέρονταν αλυσίδα έτσι ώστε ανελκόμενη να κλείνει ο λιμένας εξ ου και η ονομασία του "κλειστός λιμένας" (εικ. 2.2.2, πίνακας 2.2.2). Δίπλα στους πύργους εκείνους βρίσκονταν οι λεγόμενες "ψύκτρες" που κατά το πιθανότερο πρέπει να ήταν χώροι στεγνώματος πανιών και σχοινιών. Η λιμενολεκάνη της Ζέας έκλεινε από νότια, όπου ήταν και η είσοδος του όρμου, με δύο τειχισμένους μώλους. Στην ανατολική πλευρά της έχουν εντοπιστεί νεώσοικοι, κάποιοι από τους οποίους έχουν ανασκαφεί.

Σε μικρή απόσταση στα βορειοδυτικά έχουν εντοπιστεί τα κατάλοιπα της περιώνυμης Σκευοθήκης του Φίλωνος, στην οποία φυλάσσονταν αφαιρούμενα στοιχεία των πολεμικών πλοίων. Έρευνες στην περιοχή πραγματοποίησαν οι: Gracer 1872, ο οποίος πρώτος ερεύνησε την περιοχή και εντόπισε 41 νεώσοικους στη Ζέα και τη Μουνιχία, Milchofer 1881, ο οποίος αναφέρει κατάλοιπα από τους νεώσοικους στην ανατολική πλευρά της Ζέας (αράβδωτοι κίονες), καθώς και μαρμάρινους οφθαλμούς, Δραγάτσης και Dorpfeld 1885, οι οποίοι ανέσκαψαν δέκα νεωσοίκους στην ανατολική πλευρά της Ζέας, Blackman 1968, ο οποίος παρατήρησε την ύπαρξη κεκλιμένων επιπέδων (ράμπες) από νεωσοίκους εντός της θάλασσας στην περιοχή της Ζέας και τέλος το Δανέζικο Ινστιτούτο 2000 - σήμερα το οποίο υπό τη διεύθυνση του αρχαιολόγου B. Loven υλοποιεί πρόγραμμα του Ινστιτούτου για καταγραφή αρχαίων καταλοίπων στην περιοχή της Ζέας. Σημαντικό στοιχείο της έρευνας είναι η απόδειξη της θεωρίας για την φύλαξη δύο πλοίων κατά μήκος κάθε νεωσοίκου (Loven, 2005).

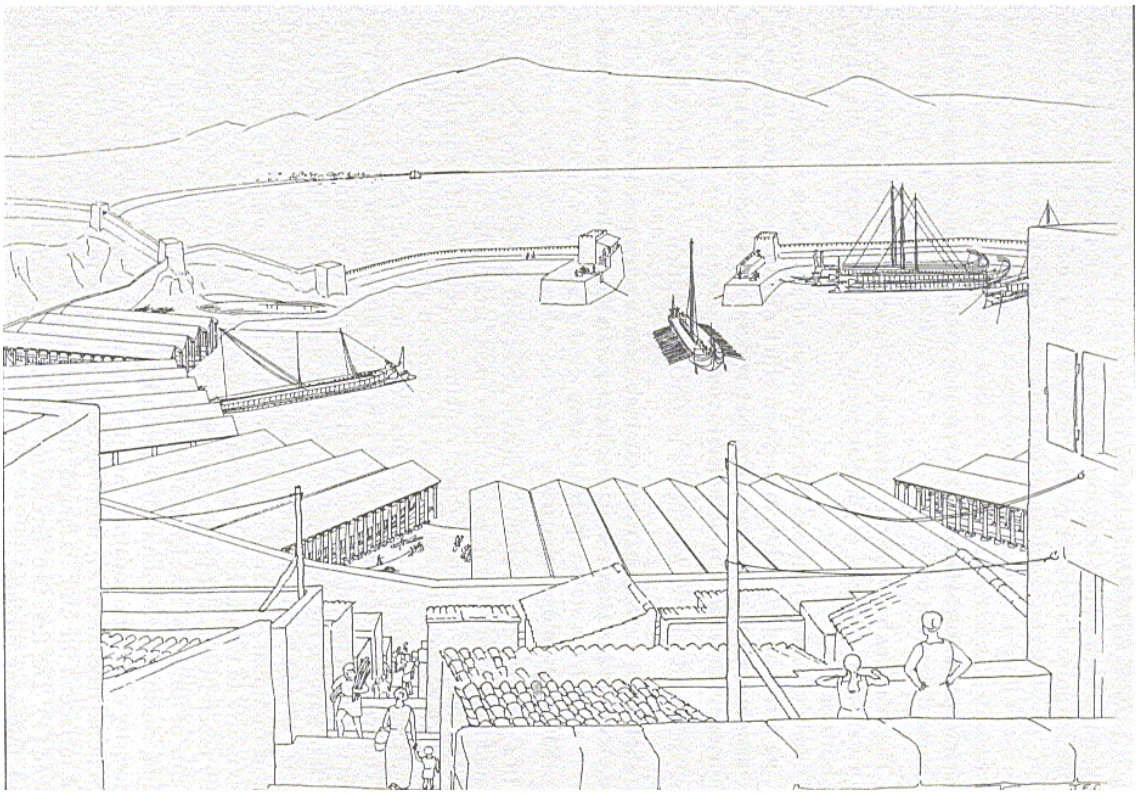
Ως Μουνιχία στην αρχαιότητα αναφέρεται ο σημερινός λόφος της Καστέλας και συγκεκριμένα η κορυφή και η ανατολική πλευρά που καταλήγει στον λιμένα της Μουνιχίας (σημερινό Μικρολίμανο, Ulrichs, 1843). Το όνομα προέρχεται από τον ήρωα Μούνιχο που φέρεται ως ο πρώτος που κατέλαβε τον λόφο αυτό και ίδρυσε στην κορυφή του το αρχαίο Ιερό της Μουνιχίας Αρτέμιδος. Πρόκειται για εσωτερικό φυσικό λιμένα, ο οποίος κλείνει στα νοτιοανατολικά με δύο ακρωτήρια. Στην προέκτασή τους διαμορφώθηκαν οχυρωμένοι μώλοι, οι οποίοι κατέληγαν σε πύργους που ενώνονταν με τα τείχη του Πειραιά. Έτσι ολόκληρος ο λιμένας αυτός βρισκόταν εντός των Πειραϊκών τειχών. Ο νοτιοδυτικός μώλος είχε μήκος 190μ., ενώ ο βορειοανατολικός είχε μήκος 95μ. και κατέληγε σε κυκλικό πύργο επί

τετραγωνικής θεμελίωσης, πλάτους 12μ. Τότε είχε άνοιγμα εισόδου 37 μ. (πίνακας 2.2.3). Κατάλοιπα των μόλων τους υπάρχουν έως σήμερα. Τμήματα του βορειοανατολικού μώλου, με κατάλοιπα του πύργου στον οποίον κατέληγε είναι ακόμα ορατά κατά περιοχές. Στο μέσον περίπου του μήκους του, μάλιστα, υπάρχει εσοχή, η οποία περιείχε κτίσμα διαστάσεων 8.3 x 10.15 μ., που ερμηνεύεται ως ναϊκό ή φάρος (Mazarakis – Ainian, 1992). Την περίμετρο του λιμένα κατελάμβαναν οι νεώσοικοι (Θρεψιάδης, 1935). Βεβαίως, θα πρέπει να υποθέσουμε την ύπαρξη ελεύθερου χώρου για τις επισκευές των πλοίων - νεώρια, καθώς και λιμενικές κατασκευές προσπέλασης, όπως αποβάθρες ή "χώματα", όπως επίσης και αποθήκες υλικού και σκευοθήκες. Ως πολεμικός λιμένας περιβαλλόταν και αυτός από τοίχο που απομόνωνε τη λιμενολεκάνη και βρισκόταν σε απόσταση 60μ. από την ακτή (Δραγάτσης - Αγγελόπουλος, 1899, 1900). Στη περιοχή του λιμένα της Μουνιχίας μαρτυρείται επιγραφικά η ύπαρξη διαφόρων ιερών - ναών, όπως του Διός Μειλιχίου και του Διός Φιλίου, του Ασκληπιού, της θεάς Σώτειρας ελλιμενίας και της θρακικής θεότητας Βενδίδος. Γνωστότερος, όμως, και ανασκαφικά επιβεβαιωμένος είναι ο ναός της Αρτέμιδος Μουνιχίας στο λόφο όπου σήμερα βρίσκεται ο Ναυτικός Όμιλος. Ο αριθμός των νεωσοίκων στον λιμένα Μουνιχίας είναι σαφώς μικρότερος από της Ζέας, μόλις 82. Οι νεώσοικοι αυτοί που ήταν γύρω από τον λιμένα είχαν μήκος 37 μ. και πλάτος 6,25 μ. και καταλάμβαναν κατά πλευρά μήκος προκυμαίας 512 μ. (το συνολικό μήκος της ήταν περίπου 600 μ.) (πίνακας 5). Έτσι τόσο ο λιμένας Ζέας όσο και ο λιμένας Μουνιχίας είχαν διατεθεί αποκλειστικά για τις ανάγκες του πολεμικού ναυτικού της Αθήνας. Η επιλογή των δύο αυτών λιμένων σε αντίθεση με τον λιμένα Κανθάρου έχει να κάνει με την ασφάλεια που παρείχε ο υπερκείμενος λόφος της Μουνιχίας. Στους δύο αυτούς λιμένες το 493 – 492 π.Χ. ναυπηγήθηκε ο στόλος με τον οποίο οι Αθηναίοι αντιμετώπισαν αρχικά τους Αιγινήτες και στην συνέχεια τους Πέρσες. Το γεγονός αυτό δηλώνει ότι ίσως για πρώτη φορά μελετήθηκε ο χώρος έτσι ώστε οι εγκαταστάσεις να ευνοούν την ταχύτητα ναυπήγησης η οποία ήταν η μεγαλύτερη σε σχέση με τον υπόλοιπο αρχαίο ελλαδικό χώρο.

Οι εγκαταστάσεις που φιλοξενούσαν τους εργάτες καταλάμβαναν τις νοτιοδυτικές πλαγιές του λόφου της Μουνιχίας προς τον λιμένα της Ζέας. Ανάμεσα σε αυτούς τους οικισμούς και τις λιμενικές εγκαταστάσεις υπήρχαν αποθήκες ναυπηγικών υλικών, σκευοθήκες, χώροι διασκέδασης και συγκέντρωσης των πληρωμάτων, βιοτεχνικά εργαστήρια (ξυλουργεία, μηχανουργεία κ.ά.). Ο πολεμικός ναύσταθμος Ζέας φαίνεται πως χωριζόταν από τη υπόλοιπη περιοχή του Πειραιά με ένα τείχος σε απόσταση 37 μέτρων περιφερειακά από την παραλία. Γύρω από το τείχος υπήρχε ευρεία οδός με ορόσημα που καθόριζαν τη περιοχή του ναυστάθμου. Η ζώνη αυτή ένωνε από ξηράς τους δύο ναύσταθμους και περιλάμβανε το αρχαίο θέατρο της Μουνιχίας, στο ήμισυ της απόστασης του λιμένα Ζέας με τη κορυφή του λόφου (Ulrichs, 1842).



Εικ. 2.2.1: Αναπαράσταση του αρχαίου Πειραιά με τις οχυρωματικές, λιμενικές και αστικές εγκαταστάσεις (Παπαχατζής, 1974)



Εικ. 2.2.2 : Αναπαράσταση του ναυστάθμου της Ζέας από την χέρσο (Judeich, 1931 – σχέδιο J.F. Coates)

Βασικά χαρακτηριστικά αρχαίου λιμένας Ζέας	
Περιοχή	Σαρωνικός Κόλπος
Χρήση	Πολεμικός
Περίοδος ακμής	5ος π.Χ. - 4ος π.Χ.
Ύπαρξη σύγχρονου λιμένα	Ναι
Σωζόμενες κατασκευές	Ναι, τμήματα των νεωσοίκων, των μόλων, των τειχών και η Σκευοθήκη του Φίλωνος.

Πίνακας 2.2.1 : Βασικά χαρακτηριστικά του αρχαίου λιμένα της Ζέας

Τεχνικά χαρακτηριστικά	
Εποχή κατασκευής (αιώνες)	5ος π.Χ. - 4ος π.Χ.
Διαμόρφωση λιμένα	Φυσικός Λιμένας, Εσωτερικός Λιμένας
Κατεύθυνση κύριου ανέμου	Ν
Είσοδος λιμένα	Στα νότια. Έκλεινε με δύο τειχισμένους μώλους.
Αλλαγή θαλάσσιας στάθμης	Περίπου 1.5 m
Προσχώσεις	Όχι
Εξωτερικές λιμενικές κατασκευές	Μώλοι
Χερσαίες εγκαταστάσεις	Νεώσοικοι, Οχυρώσεις, Αποθήκες
Σύστημα κατασκευής	Κυβόλιθοι

Πίνακας 2.2.2 : Τεχνικά χαρακτηριστικά του αρχαίου λιμένα της Ζέας

Βασικά χαρακτηριστικά αρχαίου λιμένα Μουνιχίας	
Περιοχή	Σαρωνικός Κόλπος
Χρήση	Πολεμικός
Περίοδος ακμής (αιώνες)	5ος - 4ος π. Χ.
Ύπαρξη σύγχρονου λιμένα	Ναι
Σωζόμενες κατασκευές	Ναι, κατάλοιπα των μώλων, των οχυρώσεων και των νεωσοίκων.

Πίνακας 2.2.3 : Βασικά χαρακτηριστικά του αρχαίου λιμένα της Μουνιχίας

Τεχνικά χαρακτηριστικά	
Εποχή κατασκευής (αιώνες)	5ος - 4ος π.Χ.
Διαμόρφωση λιμένα	Φυσικός Λιμένας, Εσωτερικός Λιμένας
Μέγεθος λιμενολεκάνης	79200 m^2
Κατεύθυνση κύριου ανέμου	ΝΑ
Είσοδος λιμένα	Πλάτους 37μ. διαμορφώνεται ανάμεσα στους δύο μώλους. Στους πύργους που υπήρχαν στα ακρομώλια κατέληγε η αλυσίδα που έκλεινε το λιμένα.
Εξωτερικές λιμενικές κατασκευές	Μώλοι
Εσωτερικές λιμενικές κατασκευές	Προκυμαίες
Χερσαίες εγκαταστάσεις	Νεώσοικοι, Ιερά - Ναοί, Φάροι, Οχύρωσεις, Αποθήκες
Σύστημα κατασκευής	Κυβόλιθοι

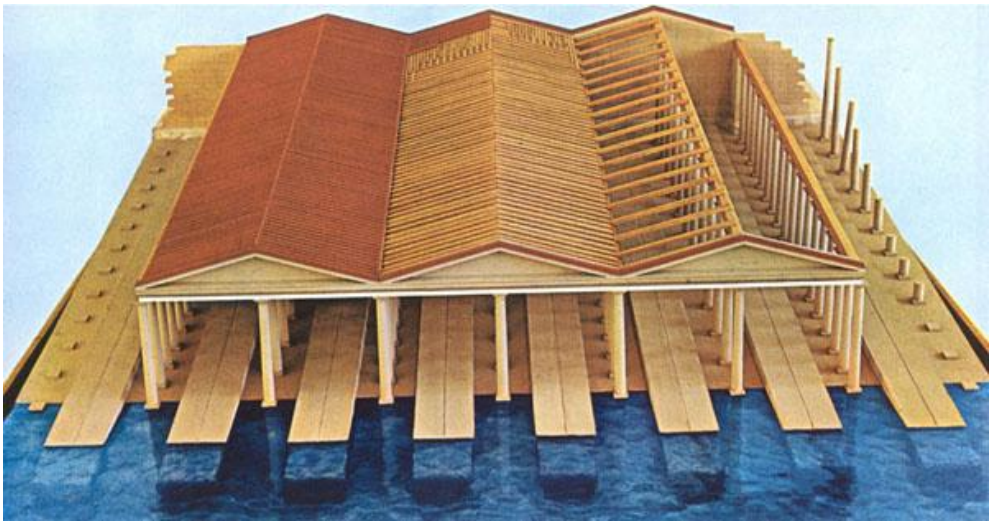
Πίνακας 2.2.4 : Τεχνικά χαρακτηριστικά του αρχαίου λιμένα της Μουνιχίας

2.3 Νεώσοικοι

Ο όρος νεώσοικος προέρχεται από τις λέξεις *ναῦς* και *οἶκος*. Με τον όρο νεώσοικο εννοούμε την κατασκευή με ράμπα που καλύπτεται με στέγαστρο και εξυπηρετεί στην ανέλκυση και την φύλαξη των πλοίων (εικ.2.3.1).

Εκτός από τους λιμένες του Πειραιά, υπάρχουν 36 περιοχές στη Μεσόγειο, από τη Μασσαλία (Γαλλία) στα δυτικά μέχρι το Ντορ (Ισραήλ) στα ανατολικά, που έχουν εντοπιστεί πιθανά ερείπια νεώσοικων της Κλασσικής – Ελληνιστικής περιόδου. Σε εννέα από αυτές τις περιοχές τα ερείπια έχουν επιβεβαιωθεί ως νεώσοικοι (Lovén, 2011).

Συγκεκριμένα στην υπό μελέτη περιοχή οι αρχαιολόγοι του Δανέζικου Ινστιτούτου ύστερα από ανασκαφές αποκάλυψαν έξι νεώσοικους που χρονολογούνται στα τέλη του 6^{ου} με αρχές του 5^{ου} αιώνα π. Χ. (εικ. 2.3.2).



Εικ. 2.3.1: Αναπαράσταση νεωσοίκων της Ζέας στο Ναυτικό Μουσείο Πειραιά (Παπαχατζής, 1974).

Εικ. 2.3.2: Ανασκαφή νεώσοικου στον λιμένα Ζέας από τους αρχαιολόγους του Zea Harbour Project.

Οπως έδειξε η έρευνα οι νεώσοικοι της Μουνιχίας εκτείνονται σε απόσταση 35 μέτρων περίπου από τη σημερινή ακτογραμμή και βρίσκονται σε βάθος μεγαλύτερο των 2 μέτρων. Το πλάτος των νεώσοικων φθάνει τα 6,2 μέτρα και τους καθιστά μεγαλειώδεις τόσο όσον αφορά το μέγεθος όσο και ως προς την κατασκευή τους. Αποκαλύφθηκε μάλιστα και πλευρικός τοίχος σε μήκος 10,3 μέτρων και πλάτος 1,6 μέτρων ενώ οι κιονοστοιχίες που χώριζαν τους νεώσοικους -κάθε βάση κίονα έχει διαστάσεις 1,6 x 1.6 μέτρα- συνεχίζουν σε απόσταση 27,2 μέτρων.

Στο αρχαίο λιμάνι της Ζέας επίσης ανασκάφηκαν και τα κατάλοιπα των επτά νεωλκείων (πλάτους περίπου 8 μέτρων το καθένα) που αποτελούσαν κατά πάσα πιθανότητα τους χώρους για την αποθήκευση των μεγαλυτέρων πλοίων (πεντήρεις). Αυτά τα επιβλητικά πολεμικά πλοία, τα οποία υπολογίζεται πως είχαν μήκος περίπου 45 μέτρων και πλήρωμα 377 ανδρών, εισήχθησαν στο Αθηναϊκό ναυτικό περίπου στα 320 π. Χ, στην δύση της χρυσής εποχής του.

Οι νεώσοικοι είναι τα αρχαιότερα δημόσια κτήρια του Πειραιά, κατά τον Πλάτωνα μάλιστα οι πρώτες μόνιμες εγκαταστάσεις οφείλονται στον Θεμιστοκλή. Ανά δύο οι νεώσοικοι αποτελούσαν ένα επίμηκες υπόστεγο, που καλυπτόταν από μία δίρριχτη στέγη και έκλεινε στο πίσω μέρος του με τοίχο. Τα υπόστεγα ήταν οργανωμένα σε ομάδες των 10 νεώσοικων ενώ σε καθένα από αυτούς ανελκυόταν μία μόνο τριήρης πάνω σε επικλινή ράμπα, που έπρεπε να εκτείνεται μερικά μέτρα μέσα στη θάλασσα και εκτός του στεγασμένου χώρου. Η σκάρα αποτελούνταν από δύο παράλληλα και χαμηλά τοιχία, πάνω στα οποία στερεωνόταν ένα ξύλινο δάπεδο, που αλειφόταν με λίπος κατά μήκος του άξονα στον οποίο γλιστρούσε η ράχη της καρίνας.

Στην μελέτη των αρχαιολόγων του Zea Harbour Project, ως νεώσοικοι αναγνωρίζονται οι κατασκευές στις οποίες υπάρχει διατηρημένη ράμπα ανάμεσα σε δύο παράλληλες γραμμές ενός εποικοδομήματος και τόσο η ράμπα όσο και οι γραμμές φαίνεται να έχουν χρησιμοποιηθεί την ίδια χρονική περίοδο.

Γενικά, ένας νεώσοικος μπορεί να περιγραφεί από πέντε ακόμα στοιχεία και χαρακτηριστικά:

1) Ένα τμήμα της ράμπας παρέχει υποστήριξη στην καρίνα του πλοίου (keel – supporting). Η ράμπα είναι σχεδιασμένη με γραμμικά αυξανόμενη κλίση ώστε να προστατεύεται η καρίνα τόσο στην ανέλκυση και την καθέλκυση του πλοίου, όσο και στην αποθήκευσή του στον νεώσοικο.
2) Ένα τμήμα της ράμπας παρέχει υποστήριξη στην πρύμνη του πλοίου (stern – supporting). Σε κάποιους νεώσοικους στα άνω άκρα της ράμπας, η κλίση είναι απότομη ώστε να παρέχει στήριξη στην προς τα ανάντη κεκλιμένη πρύμνη των πολεμικών πλοίων με στόχο την αποτροπή της ολίσθηση των πλοίων πάνω στην ράμπα υπό την δύναμη του βάρους τους. Αυτό το χαρακτηριστικό δεν βρίσκεται σε όλους τους νεώσοικους, ιδιαίτερα δε στους νεώσοικους που φιλοξενούσαν δύο πλοία σε σειρά.
3) Πλευρική δίοδος. Στενά διαμήκη περάσματα εκατέρωθεν των νεώσοικων, σχεδιασμένα ώστε να γίνεται δυνατή η πρόσβαση στο πλοίο τόσο του πληρώματος όσο και των εργατών του λιμένα.
4) Κίονες, τετράγωνοι πυλώνες, τοίχοι και ξύλινες κολόνες. Αυτά τα στοιχεία περιγράφουν τα χαρακτηριστικά μέρη των νεώσοικων.
5) Οροφή. Στους περισσότερους νεώσοικους υπήρχε μια καλυμμένη με κεραμίδια οροφή για την προστασία των πλοίων τόσο από την βροχή όσο και από τον ήλιο. (Lovén, 2011).

3. Μεθοδολογία

3.1 Εργασίες πεδίου

Οι εργασίες πεδίου στους λιμένες Ζέας και Μικρολίμανου καθώς και στην περιοχή ανάμεσά τους εκτελέστηκαν από το Εργαστήριο Θαλάσσιας Γεωλογίας και Φυσικής Ωκεανογραφίας (ΕΘΑΓΕΦΩ) τον Οκτώβριο του 2011 (13-14/10 και 18-20/10). Η έρευνα είχε ως σκοπό:

- την λεπτομερή αποτύπωση του βάθους στα δύο αρχαία λιμάνια και στην περιοχή ανάμεσα τους,
- την αποτύπωση της μορφολογίας του βυθού και
- την μελέτη της στρωματογραφικής υποδομής του πυθμένα.

Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στο να προσδιοριστούν στόχοι με πιθανό αρχαιολογικό ενδιαφέρον καθώς και καταβυθισμένες παλαιοακτές.
Για την έρευνα αυτή χρησιμοποιήθηκαν: ένας τομογράφος υποδομής πυθμένα Geopulse 3.5 kHz, ένας μονοδεσμικός υδρογραφικός ηχοβολιστής Elac Nautic Hydrostat 4300, ένας ηχοβολιστής πλευρικής σάρωσης E.G&G 272TD και δορυφορικό σύστημα προσδιορισμού θέσης (GPS) Hemisphere V100.
Ο ηχοβολιστής πλευρικής σάρωσης τοποθετήθηκε στο φουσκωτό σκάφος “ΜΑΡΙΑΝΟ” ενώ η έρευνα με τη χρήση τομογράφου υποδομής πυθμένα και μονοδεσμικού ηχοβολιστή έγιναν με το σκάφος “ΓΡΑΙΓΟΣ” (εικ.3.1.1). Και τα δύο αυτά σκάφη είχαν τροποποιηθεί κατάλληλα ώστε να ικανοποιούν τις ανάγκες της έρευνας.

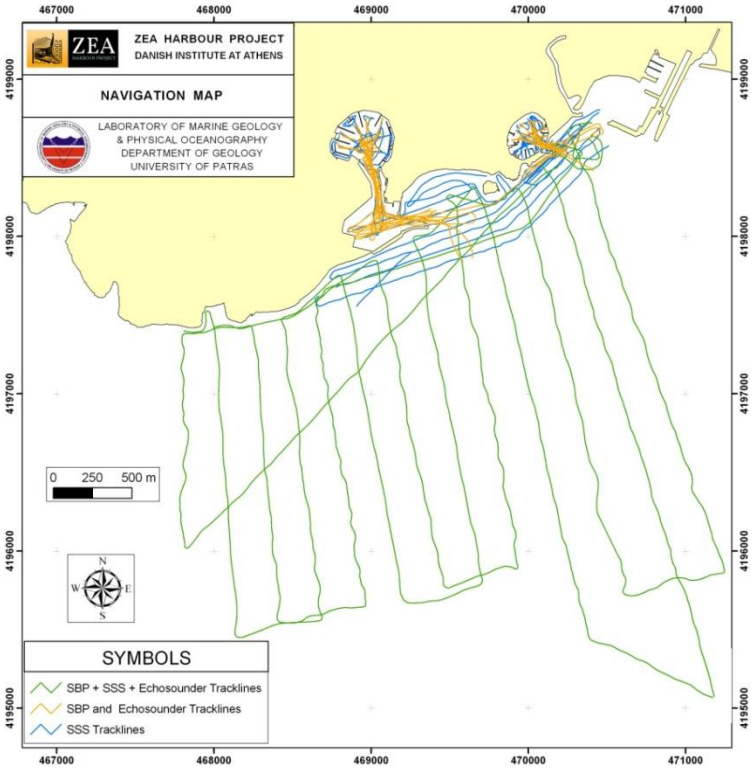
Εικ. 3.1.1: Τα σκάφη που χρησιμοποιήθηκαν στην έρευνα. Α: φουσκωτό σκάφος ΜΑΡΙΑΝΟ, Β: σκάφος ΓΡΑΙΓΟΣ. Στις εικόνες σημειώνεται με * το δορυφορικό σύστημα προσδιορισμού θέσης Hemisphere V 100.

3.1.2 Δορυφορικό σύστημα προσδιορισμού θέσης

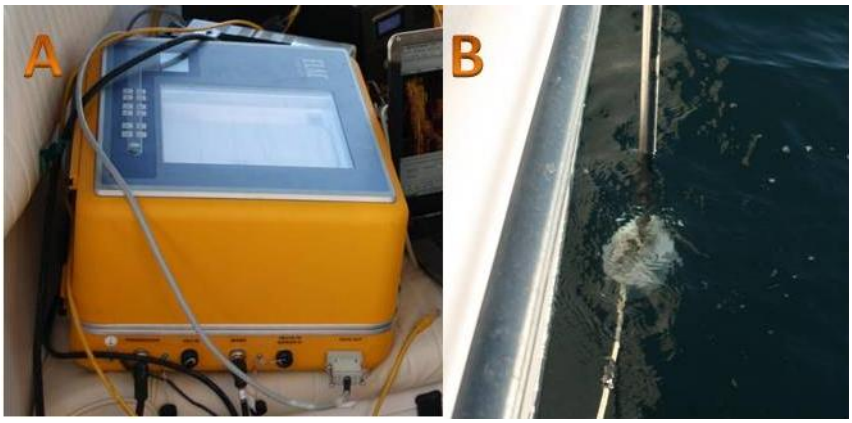
Στην συγκεκριμένη έρευνα ο προσδιορισμός θέσης και η πλοήγηση έγινε με την χρήση του δορυφορικού συστήματος προσδιορισμού θέσης (GPS) Hemisphere V100 (εικ. 3.1.1). Το σύστημα αυτό αποτελείται από δύο κεραίες που απέχουν μεταξύ τους 0.5 μέτρα και λαμβάνει σήμα από γεωστατικούς δορυφόρους της EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) με αποτέλεσμα η ακρίβεια να είναι περίπου 1,5 μέτρα. Για την πλοήγηση του σκάφους κατά τη διάρκεια συλλογής των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό TritonMap (Triton Imaging inc.) στο οποίο καταγράφονται και αποθηκεύονται οι πληροφορίες της θέσης σκάφους, οι πορείες που εκτελεί το σκάφος, το γεωγραφικό μήκος και πλάτος καθώς και η μαγνητική απόκλιση.

3.1.3 Βαθυμετρική αποτύπωση του πυθμένα

Η συλλογή των δεδομένων για την βαθυμετρική αποτύπωση των λιμένων Ζέας και Μουνιχίας καθώς και της περιοχής ανάμεσα τους έγινε ταυτόχρονα με αυτή του τομογράφου υποδομής πυθμένα (εικ. 3.1.3.1). Τα δεδομένα συλλέχθηκαν με ένα ψηφιακό μονοδεσμικό υδρογραφικό ηχοβολιστή Elac Nautic Hydrostat 4300 με ακρίβεια μικρότερη από 5 εκατοστά σε περιβάλλοντα με μικρό βάθος νερού. Ο ηχοβολιστής αυτός αποτελείται από μια ψηφιακή μονάδα καταγραφής και ένα πομπό (εικ.3.1.3.2).
Η βαθυμετρική επισκόπηση έχει σκοπό την συλλογή λεπτομερών βαθυμετρικών δεδομένων στην περιοχή μελέτης με σκοπό να φτιαχτεί ένας βαθυμετρικός/γεωμορφολογικός χάρτης.



Εικ. 3.1.3.1: Χάρτης της περιοχής έρευνας που δείχνει τις πορείες που εκτελέστηκαν για την συλλογή βαθυμετρικών δεδομένων.



Εικ. 3.1.3.2: Το βυθόμετρο Elac Nautic Hydrostar 4300. A: Η ψηφιακή μονάδα καταγραφής, B: ο πομπός.

3.1.4 Τομογράφος υποδομής πυθμένα

Τα τελευταία 30 χρόνια, πολλές μέθοδοι θαλάσσιων σεισμικών ανακλάσεων είχαν δοκιμαστεί για την εξερεύνηση περιοχών με αρχαιολογικό ενδιαφέρον (McGhee et al., 1968, Frey, 1971, Chauhan and Almeida, 1988, Rao, 1988, Redknap, 1990). Όμως η εφαρμογή τους στην αρχαιολογική έρευνα δεν ήταν τόσο διαδεδομένη, λόγω της χαμηλής ανάλυσης, της μικρής διείσδυσης σε περιβάλλοντα με ρηχά νερά και της έλλειψης κατάλληλων λογισμικών για την επεξεργασία των δεδομένων στην υψηλότερη δυνατή ανάλυση (Quinn, 1997).

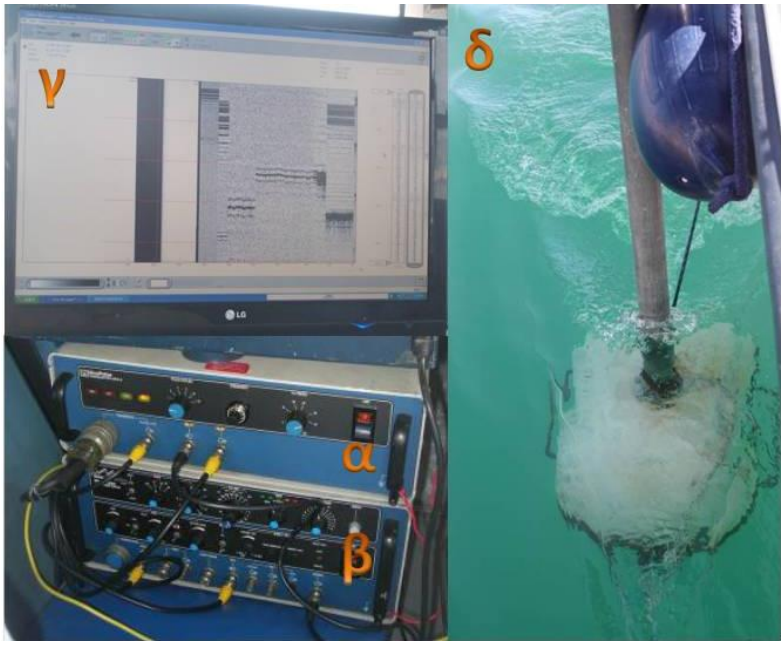
Παρότι με την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών αυτά τα προβλήματα επιλύθηκαν, οι τομογράφοι υποδομής πυθμένα υψηλής ανάλυσης δεν έχουν γίνει το ίδιο δημοφιλείς στην έρευνα. Το πρόβλημα με τους τομογράφους υποδομής πυθμένα είναι ότι χρειάζεται περισσότερο χρόνο να καλύψεις μια περιοχή με τομές που έχουν καλή αναλογία ανάλυσης/απόστασης μεταξύ τους. Επιπλέον τα δεδομένα από τον τομογράφο υποδομής πυθμένα είναι αρκετά πιο δύσκολα στην ερμηνεία τους από ότι τα δεδομένα από τον ηχοβολιστή πλευρικής σάρωσης. Παρόλα αυτά πρέπει να λάβουμε υπ’ όψιν μας ότι ένα μεγάλο μέρος της πολιτιστικής μας κληρονομιάς, που συχνά είναι και από τα πιο καλοδιατηρημένα, μπορούν να εντοπιστούν μόνο με την χρήση τομογράφου υποδομής πυθμένα καθώς βρίσκονται θαμμένα κάτω από ακολουθίες ιζημάτων. Επίσης, με τους τομογράφους υποδομής πυθμένα μπορούμε να αποκτήσουμε γνώση για την γεωμορφολογία σε τοπική κλίμακα η οποία σε συνδυασμό με τα δεδομένα από τον ηχοβολιστή πλευρικής σάρωσης μπορεί να απαντήσει σε πολλά ερωτήματα που προκύπτουν κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας των δεδομένων (van Andel and Lianos, 1984).

Οι τομογράφοι υποδομής πυθμένα μπορούν να εγγράφουν τα δεδομένα που συλλέγουν σε ψηφιακή μορφή. Αυτό καθιστά δυνατή την μετέπειτα επεξεργασία των δεδομένων με σκοπό την διευκόλυνση του ερευνητή. Αυτή η επεξεργασία μπορεί να αφορά τις ρυθμίσεις εμφάνισης (π.χ. έγχρωμο ή αποχρώσεις του γκρι έναντι του αρχικού μαύρου-άσπρου χρώματος) ή να αφορά ρυθμίσεις βελτίωσης του σήματος (Quinn, 1997). Συνήθως τα αρχεία του τομογράφου υποδομής πυθμένα αποθηκεύονται στην μορφή SEG-Y (the Society of Exploration Geophysicists – Y format). Ο σκοπός της ανάλυσης των

σεισμικών δεδομένων είναι η λεπτομερής αποτύπωση της υποεπιφανειακής στρωματογραφίας ώστε να βοηθήσει στην ερμηνεία και των υπόλοιπων δεδομένων.
Πέρα από μόνο μια τεχνική για τον εντοπισμό υποεπιφανειακών περιοχών ενδιαφέροντος, οι τομογράφοι υποδομής πυθμένα υψηλής ανάλυσης μπορούν να δώσουν πληροφορίες για την φύση και την χρονολογία ενός ναυαγίου, την έκταση του ναυαγίου καθώς και τους πλευρικούς σχηματισμούς (Quinn, 2002).
Για την έρευνα στα αρχαία λιμάνια Ζέας και Μουνιχίας καθώς και στην περιοχή ανάμεσα τους (εικ. 3.1.3.1) χρησιμοποιήθηκε ο τομογράφος υποδομής πυθμένα 3.5 kHz Geopulse. Ο τομογράφος υποδομής πυθμένα εκπέμπει μέτριας έως υψηλής συχνότητας ακουστικό παλμό σε κατακόρυφη δέσμη η οποία αφού ανακλαστεί από τον πυθμένα και επιφάνειες ασυνέχειας κάτω από αυτόν, επιστρέφει στον δέκτη. Με αυτό τον τρόπο αποκτάμε μια υποεπιφανειακή ακουστική τομογραφία. Το σύστημα που χρησιμοποιήθηκε είναι μικρής διεισδυτικότητας και υψηλής ανάλυσης γεγονός που το καθιστά ιδανικό στον εντοπισμό καταβυθισμένων ακτογραμμών και θαμμένων στόχων πιθανού αρχαιολογικού ενδιαφέροντος.

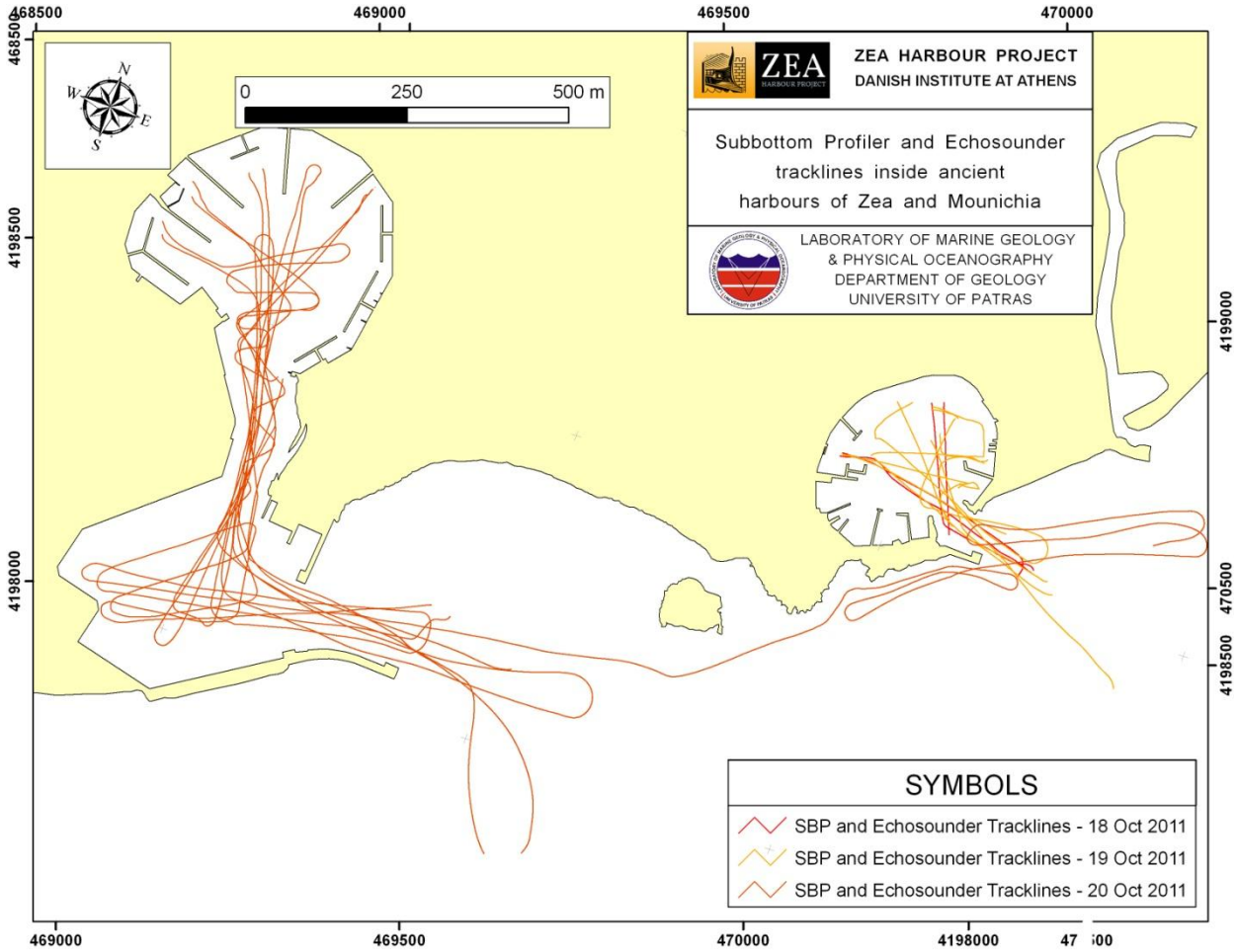
Ο τομογράφος υποδομής πυθμένα 3.5 kHz της ORE αποτελείται από:

- Πομπό GeoPulse Model 5430A (εικ.3.1.4.1α)
- Δέκτη GeoPulse Model 5210A (εικ. 3.1.4.1β)
- Ψηφιακό σύστημα καταγραφής και επεξεργασίας των ακουστικών κυμάτων Triton Elics (εικ. 3.1.4.1γ)
- Ημίπλωτη συστοιχία τεσσάρων πομποδεκτών O.R.E. model 132A/132B (εικ. 3.1.4.1δ)

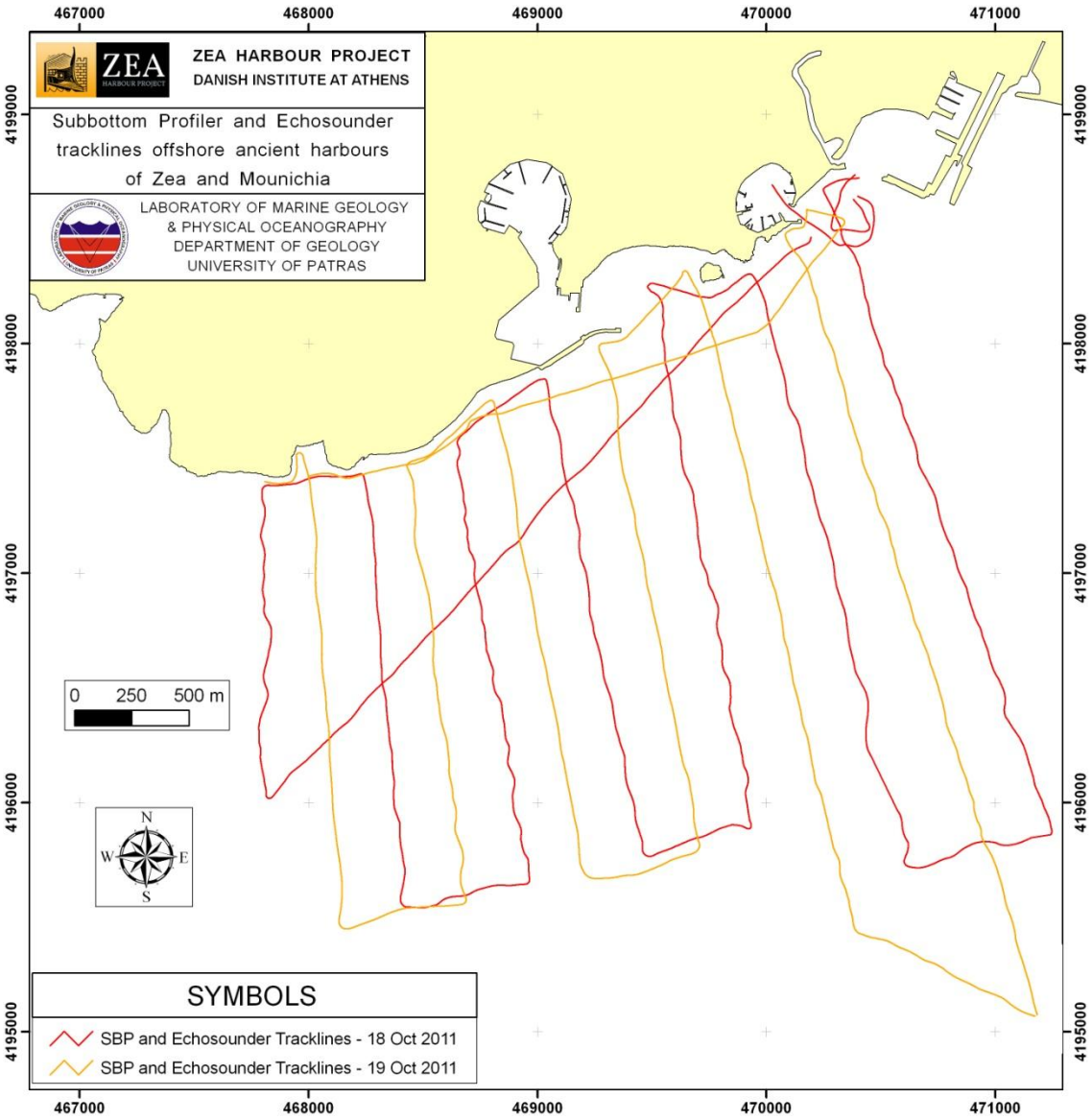


Εικ. 3.1.4.1 α-δ: Ο τομογράφος υποδομής πυθμένα 3.5 kHz της ORE.

Κατά τη διάρκεια της έρευνας εκτελέστηκαν 81 πορείες σε ευθεία με συνολικό μήκος 68 χλμ. Για την λεπτομερή στρωματογραφία των αρχαίων λιμανιών της Ζέας και της Μουνιχίας εκτελέστηκαν 66 πορείες (εικ. 3.1.4.2). Για τον εντοπισμό παλαιοακτών και την ανάπλαση της παλαιογεωγραφίας της περιοχής ανάμεσα και εκατέρωθεν των αρχαίων λιμανιών σχεδιάστηκαν και εκτελέστηκαν 13 πορείες με τον τομογράφο υποδομής πυθμένα, κάθετες προς την ακτή (εικ.3.1.4.3). Ο παλμός ήταν διάρκειας 0,1 ms με Time Base 0.1 sec. Η κατακόρυφη διακριτική ικανότητα ήταν μικρότερη από 0,3 μέτρα.



Εικ. 3.1.4.2: Χάρτης της περιοχής έρευνας που δείχνει τις πορείες που εκτελέστηκαν με τον τομογράφο υποδομής πυθμένα μέσα στα λιμάνια Ζέας και Μικρολίμανου.



Εικ. 3.1.4.3: Χάρτης της περιοχής έρευνας που δείχνει τις πορείες που εκτελέστηκαν με τον τομογράφο υποδομής πυθμένα κάθετα στην ακτή, εξωτερικά των λιμένων Ζέας και Μικρολίμανου.

3.1.5 Ηχοβολιστής πλευρικής σάρωσης

Η έρευνα με τον ηχοβολιστή πλευρικής σάρωσης είχε ως σκοπό την αποτύπωση των γεωμορφολογικών και ιστολογικών χαρακτηριστικών της επιφάνειας του πυθμένα καθώς και τον εντοπισμό πιθανών στόχων ανθρωπογενούς προέλευσης με αρχαιολογική σημασία (ναυάγια, καταβυθισμένες εγκαταστάσεις κ.ά.).

Ο ηχοβολιστής πλευρικής σάρωσης εκπέμπει ηχητικά κύματα και αποδίδει δισδιάστατη απεικόνιση της επιφάνειας του πυθμένα, τις καλούμενες, ηχογραφίες. Οι πληροφορίες που μπορούμε να εξάγουμε από τις ηχογραφίες αυτές έχουν να κάνουν με το μικροανάγλυφο των περιοχών καθώς και πληροφορίες για τη σύσταση του υλικού (ανάλογα με την ένταση της επιστροφής των ηχητικών κυμάτων στο δέκτη).

Η χρήση των ηχοβολιστών πλευρικής σάρωσης από ερευνητές που ενδιαφέρονταν για την αποτύπωση ανθρωπογενών στόχων στην επιφάνεια του πυθμένα είχε ως αποτέλεσμα την δημοσίευση πολυάριθμων εικόνων από στόχους, που όμως η πλειοψηφία τους ήταν πάνω από 5 μέτρα μήκος. Πολλοί από αυτούς τους στόχους είναι πλοία, είτε ολόκληρα είτε μεγάλα και ευδιάκριτα τμήματά τους, ή ολόκληρα αεροπλάνα που δεν χρειάζεται κάποια ερμηνεία από τον ερευνητή (Fish and Carr, 2000, Flemming, 1976). Αν τέτοιες εικόνες εξεταστούν λεπτομερώς, μπορούν να φανούν μικρά αντικείμενα όπως για παράδειγμα οι λεπίδες από τις προπέλες του αεροπλάνου (Quinn, 2005). Βέβαια αυτός ο στόχος θα ήταν εύκολος στην ερμηνεία του καθώς θα βρισκόταν κοντά στο αεροπλάνο. Το πραγματικό πρόβλημα όμως στην ερμηνεία, είναι οι μικροί στόχοι χωρίς κάποια πληροφορία ως προς την πηγή προέλευσής τους.

Οι ηχογραφίες που παίρνουμε από τον ηχοβολιστή πλευρικής σάρωσης είναι γνωστό ότι έχουν προβλήματα ασάφειας που οδηγούν τους ερευνητές στο να μπερδεύουν ένα σωρό από αμφορείς με μια βραχώδη περιοχή. Από αυτό εγείρετε το ερώτημα για το τι δεδομένα χρειάζεται να συλλέγουμε ταυτόχρονα ώστε να λύσουμε αυτό το πρόβλημα. Πολλές φορές για την ερμηνεία μιας ακουστικής ανωμαλίας στον ηχοβολιστή πλευρικής σάρωσης, χρησιμοποιούμε τα δεδομένα από τον τομογράφο υποδομής πυθμένα για την ίδια περιοχή.

Από τον ηχοβολιστή πλευρικής σάρωσης μπορούμε να πάρουμε όχι μόνο ποιοτικά αλλά και ποσοτικά δεδομένα, με την μέτρηση του ύψους του στόχου από την ακουστική σκιά που δημιουργεί στον πυθμένα (Fish and Carr, 2000). Αυτή η τεχνική έχει χρησιμοποιηθεί σε αρχαιολογικές έρευνες (Duck and Dow, 1994, Quinn et al., 2002).

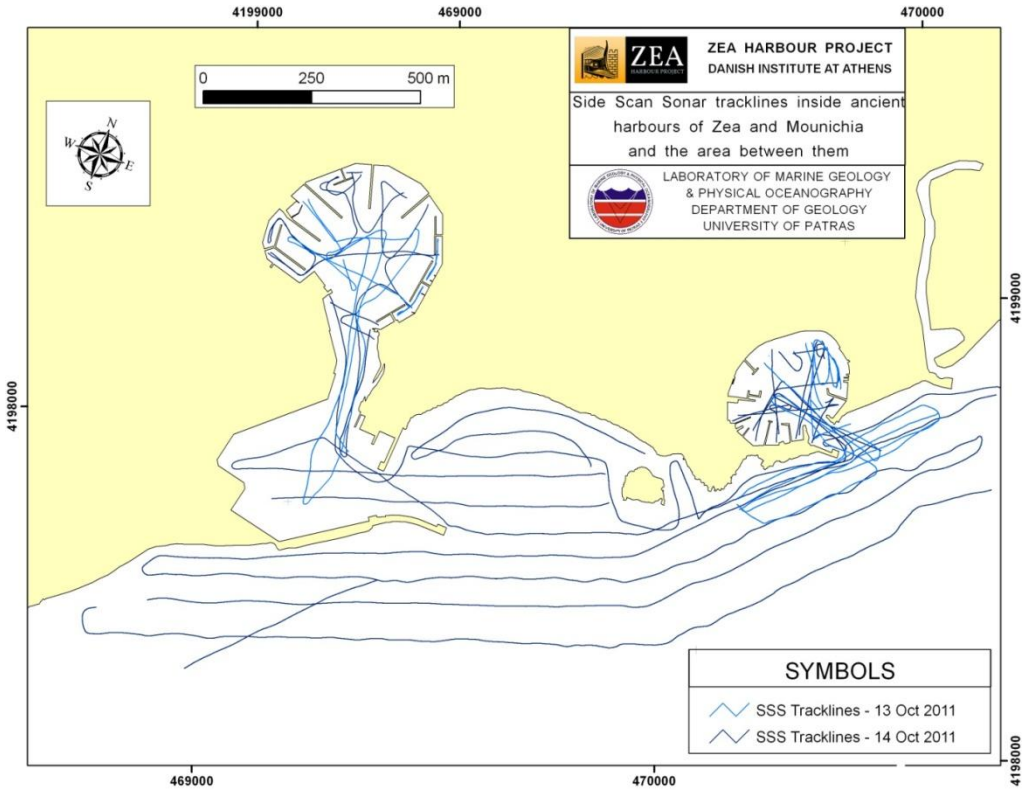
Το σύστημα του ηχοβολιστή πλευρικής σάρωσης αποτελείται από:

- ηχοβολιστική τορπίλη 272TD διπλής συχνότητας (στα 100 και στα 500 kHz) (εικ.3.1.5.1α)
- καλώδια τύπου Kevlar 50, 100 και 250 μέτρων
- ψηφιακή μονάδα καταγραφής Edgetech 4100P topside (εικ. 3.1.5.1β)

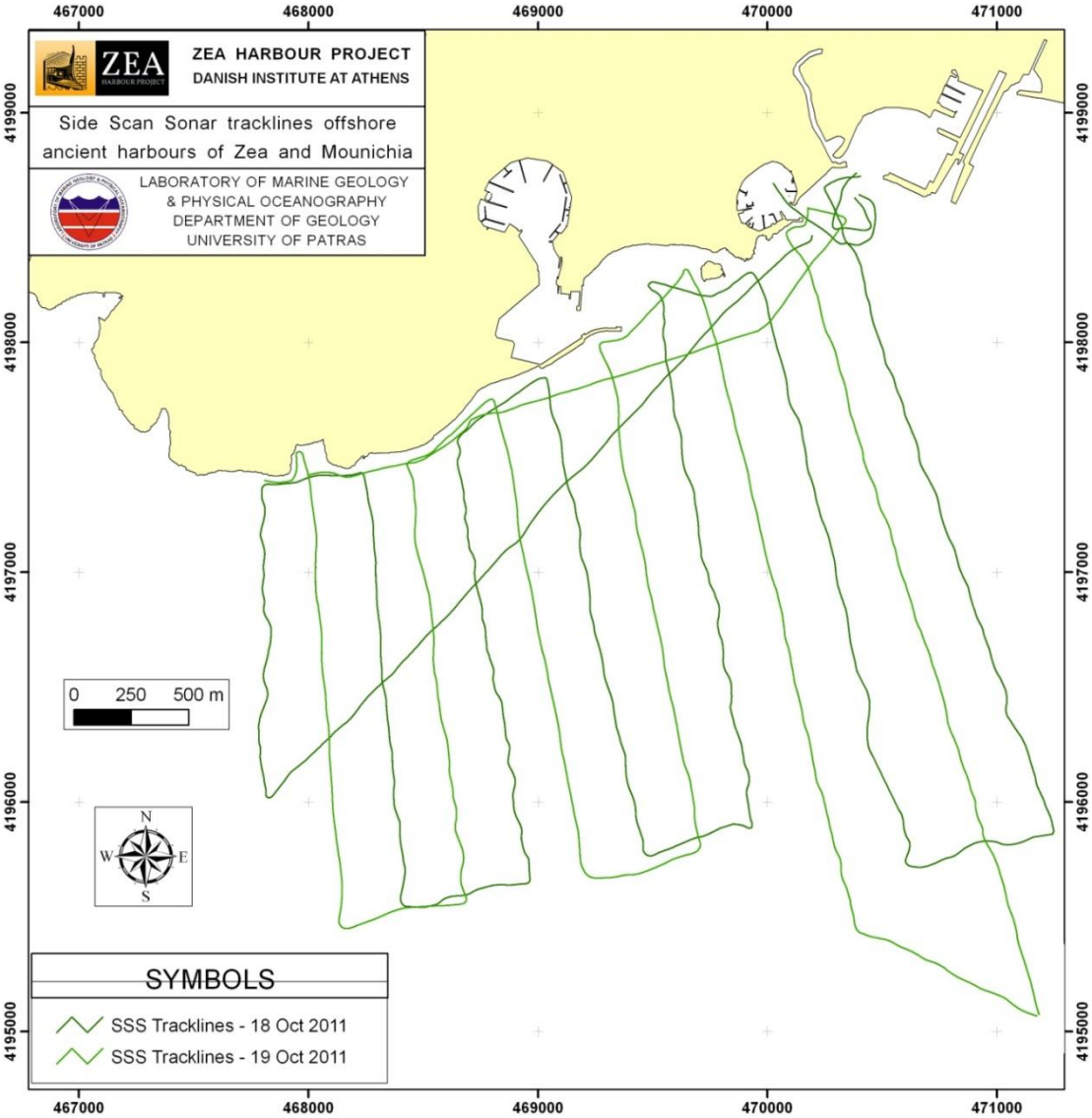
Στην περιοχή έρευνας εκτελέστηκαν πάνω από 81 πορείες με την ηχοβολιστική τορπίλη καλύπτοντας μήκος 70 χιλιομέτρων και περιοχή συνολικής έκτασης 4.8 τετραγωνικών χιλιομέτρων. (εικ.3.1.5.2 και 3.1.5.3).

Οι πορείες με την ηχοβολιστική τορπίλη χωρίζονται σε 3 κατηγορίες: (α) παράλληλα προς την ακτογραμμή στην περιοχή εκτός των λιμένων μέχρι το βάθος των 20 μέτρων (εικ.18), (β) παράλληλα στις προκυμαίες εντός των δύο αρχαίων λιμένων Ζέας και Μουνιχίας (εικ.18) και (γ) κάθετα προς την ακτογραμμή σε περιοχές με μεγαλύτερο βάθος (εικ.19). Όλες οι πορείες εκτελέστηκαν με εύρος πλευρικής σάρωσης τα 50 μέτρα και συχνότητα στα 500 kHz ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη ανάλυση. Η απόσταση μεταξύ δύο πορειών ορίστηκε στα 75 μέτρα. Αποτέλεσμα, στην περιοχή ανάμεσα σε δύο πορείες να υπάρχει επικάλυψη της τάξης του 50%.

Εικ. 3.1.5.1 α-β: Ο ηχοβολιστής πλευρικής σάρωσης E. G. & G 272 TD.



Εικ. 3.1.5.2: Χάρτης της περιοχής έρευνας που δείχνει τις πορείες που εκτελέστηκαν με τον ηχοβολιστή πλευρικής σάρωσης στο εσωτερικό των δύο λιμένων καθώς και στην περιοχή ανάμεσά τους.



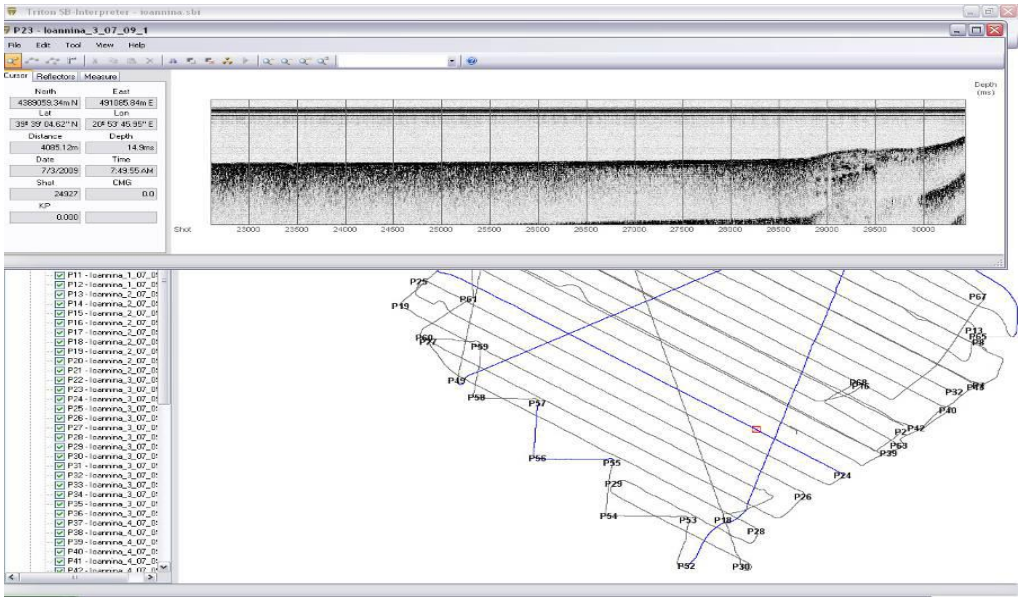
Εικ. 3.1.5.3: Χάρτης της περιοχής έρευνας που δείχνει τις πορείες που εκτελέστηκαν με τον ηχοβολιστή πλευρικής σάρωσης εκτός των λιμένων Ζέας και Μικρολίμανου.

3.2 Επεξεργασία γεωφυσικών δεδομένων

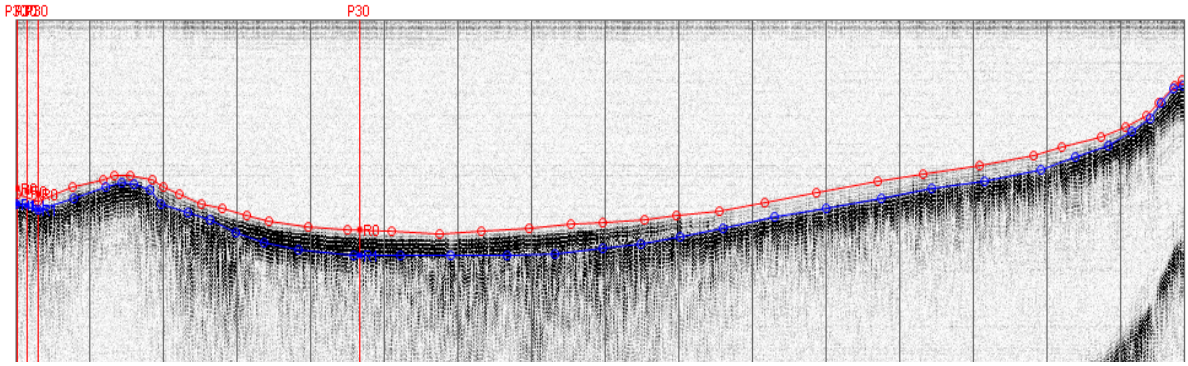
Τα δεδομένα από το βυθόμετρο επεξεργάστηκαν με την χρήση του ArcMap 9.3 της ESRI. Για την επεξεργασία των δεδομένων του τομογράφου υποδομής πυθμένα χρησιμοποιήθηκε το SB-Interpreter της Triton Imaging inc. Για την επεξεργασία των δεδομένων του ηχοβολιστή πλευρικής σάρωσης και της δημιουργίας μωσαϊκών χρησιμοποιήθηκαν δύο λογισμικά της Triton Imaging inc., το Isis και το TritonMap. Τέλος, για την επεξεργασία των στόχων που προέκυψαν από τον ηχοβολιστή πλευρικής σάρωσης, χρησιμοποιήθηκε ένα νέο λογισμικό που αναπτύχθηκε από το Εργαστήριο Θαλάσσιας Γεωλογίας και Φυσικής Ωκεανογραφίας, το TargAn (Fakiris and Papatheodorou, 2010, 2012).

3.2.1 Τομογράφος υποδομής πυθμένα

Τα ψηφιακά αρχεία που συλλέγει η καταγραφική μονάδα του τομογράφου υποδομής πυθμένα, φιλτράρονται με την χρήση του λογισμικού SB-Interpreter (εικ.3.2.1.1). Από αυτό παράγονται γεωαναφερμένες bitmap εικόνες 256 αποχρώσεων (8-bit). Στην συνέχεια ψηφιοποιούνται οι ανακλαστήρες με σκοπό των προσδιορισμό του πάχους των στρωματογραφικών ενοτήτων (εικ.3.2.2.2). Από τα αποτελέσματα αυτά και μετά από επεξεργασία τους στο ArcMap, προκύπτουν χάρτες παλαιοβυθομετρίας και ισοπαχών. Η ερμηνεία και ο προσδιορισμός της στρωματογραφίας στις γεωακουστικές τομογραφίες βασίσθηκε στον καθορισμό του ακουστικού ή σεισμικού χαρακτήρα των σεισμικών ανακλάσεων. Ο ακουστικός ή σεισμικός χαρακτήρας (acoustic character) των σεισμικών ανακλάσεων καθορίσθηκε με βάση τη σαφήνεια (distinct - indistinct), συνέχεια (continuous – discontinuous) και το εύρος (prolonged - semiprolonged) τους (Damuth, 1980).



Εικ. 3.2.1.1: Το λογισμικό SB-Interpreter της Triton Imaging Inc.



Εικ. 3.2.2.2: Ψηφιοποίηση των ανακλαστήρων με το λογισμικό SB-Interpreter της Triton Imaging Inc.

3.2.2 Ηχοβολιστής πλευρικής σάρωσης

Η επεξεργασία των ψηφιακών δεδομένων του Ηχοβολιστή Πλευρικής Σάρωσης γίνεται σε δύο στάδια: αρχικά με τη διόρθωση των ηχογραφιών και κατά δεύτερον με την κατασκευή μωσαϊκών από τις ηχογραφίες για τη δημιουργία χαρτών ακουστικής αποτύπωσης του πυθμένα.
Στα πλαίσια της διόρθωσης των ηχογραφιών χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ISIS Sonar της Triton Imaging inc. (εικ.3.2.2.1) και ακολουθήθηκαν τα εξής βήματα:

• Εφαρμογή χρονομεταβλητής ενίσχυσης του ακουστικού σήματος (TVG: Time Varied Gain).
Πρέπει να σημειώσουμε πως ο Η.Π.Σ. τύπου E.G.&G 272TD παρέχει αυτόματα χρονομεταβλητή ενίσχυση και η παραπάνω χρησιμοποιήθηκε για την περαιτέρω βελτιστοποίηση των ηχογραφιών. Περιοχές του πυθμένα με υψηλή ανακλαστικότητα αποτυπώνονται με ανοιχτόχρωμους τόνους καταγραφής ενώ περιοχές του πυθμένα με χαμηλή ανακλαστικότητα με σκοτεινόχρωμους τόνους καταγραφής.

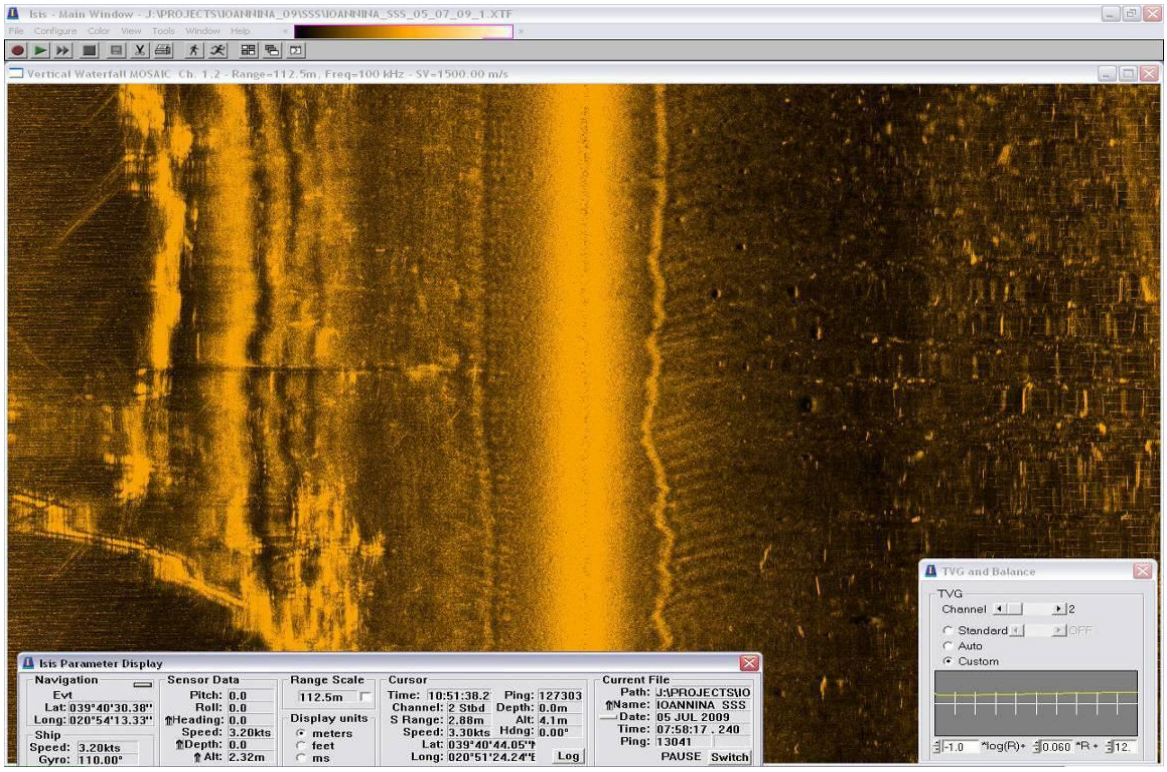
• Εντοπισμός του πυθμένα (bottom-tracking) με την μέθοδο Amplitude και όπου χρειάστηκε, λόγω μεγάλης διαταραχής της υδάτινης στήλης, χειροκίνητος εντοπισμός. Το στάδιο αυτό είναι απαραίτητο για την ορθή χωρική αναφορά των ηχογραφιών, κάθετα στην πορεία της τορπίλης (slant range correction).

• Διόρθωση του εύρους της ζώνης σάρωσης (slant range correction) για την αφαίρεση της υδάτινης στήλης από την ηχογραφία και μετατροπή της χρονικής κλίμακας σε χωρική.

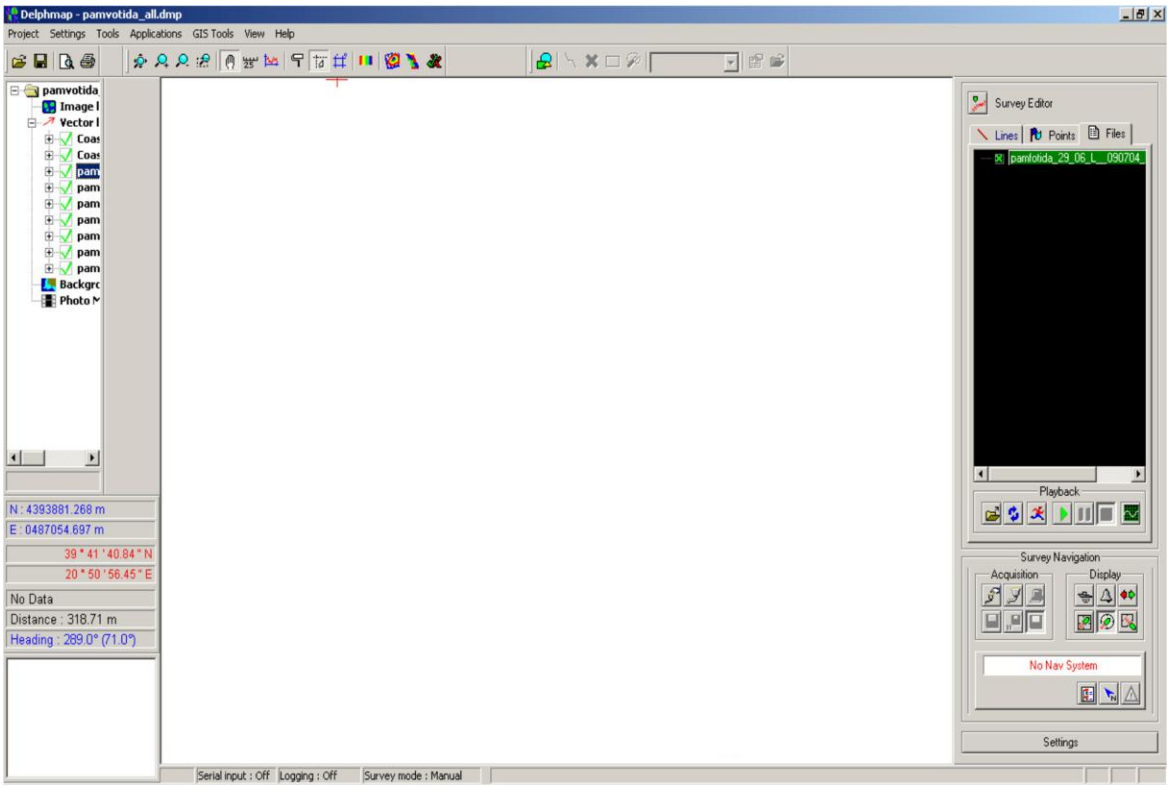
Η δημιουργία των μωσαϊκών πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό DelphMap της Triton Imaging Inc. (εικ.3.2.2.2). Η ανάλυση (resolution) των μωσαϊκών ορίστηκε στα 0.03 μέτρα ώστε να γίνεται δυνατός ο εντοπισμός στόχων ακόμα και πολύ μικρού μεγέθους. Η αξιοπιστία της γεωαναφοράς διαπιστώθηκε από την επιτυχή επικάλυψη όμοιων στόχων που είχαν αποτυπωθεί από διαδοχικές πορείες του ερευνητικού σκάφους, στη ζώνη επικάλυψής τους. Τα μωσαϊκά αποθηκεύτηκαν ως αρχεία

γεωαναφερμένων εικόνων (GEO-TIFF) υψηλής ανάλυσης ώστε να εισαχθούν στο λογισμικό ArcMap, ώστε ταυτόχρονα με δεδομένα όπως οι ακτογραμμές να κατασκευαστούν οι τελικοί χάρτες αποτύπωσης του πυθμένα της περιοχής.

Για τον ηχοβολιστικό εντοπισμό στόχων μικρού μεγέθους πρέπει να ληφθούν υπόψη διάφορες παράμετροι όπως: η διακριτική ικανότητα του οργάνου, τόσο ως προς τον επιμήκη όσο και ως προς τον εγκάρσιο άξονα, και οι επιλογές του χρήστη του ηχοβολιστή πλευρικής σάρωσης. Η μεθοδολογία για τον ηχοβολιστικό εντοπισμό στόχων μικρού μεγέθους και σαφούς γεωμετρικού σχήματος δηλαδή ανθρωπογενούς προέλευσης εφαρμόζεται συνήθως σε δύο στάδια: (α) το στάδιο ηχοεντοπισμού (detection-insonicification) και (β) το στάδιο ηχοαναγνώρισης (recognition). Στο στάδιο ηχοεντοπισμού πρέπει να αναζητηθεί το κατάλληλο εύρος ζώνης σάρωσης και η κατάλληλη ταχύτητα σκάφους ώστε ο στόχος να δεχτεί ένα τουλάχιστον ηχοβολισμό (ping) και συνεπώς να καταγραφεί ένα ίχνος του στην ηχογραφία. Στα πλαίσια της μορφολογικής αποτύπωσης του πυθμένα των δύο λιμένων και της περιοχής ανάμεσα τους επιλέχθηκε ζώνη σάρωσης 50 m ώστε να είναι δυνατός ο εντοπισμός μικρών στόχων.



Εικ. 3.2.2.1: Το λογισμικό Isis Sonar της Triton Imaging Inc.



Εικ. 3.2.2.2: Το λογισμικό DelphMap της Triton Imaging Inc.

3.2.3 TargAn

Το TargAn είναι ένα λογισμικό εργαλείο που αναπτύχθηκε στην γλώσσα τεχνικού προγραμματισμού MATLAB. Αναπτύχθηκε με σκοπό την παραμετροποίηση περιοχών ενδιαφέροντος με βάση τόσο την ανακλαστικότητα όσο τα γεωμετρικά και τοπολογικά χαρακτηριστικά τους (εικ. 3.2.3.1) (Fakiris, 2011).
Το TargAn αρχικά αναπτύχθηκε για την παραμετροποίηση στόχων αρχαιολογικού ενδιαφέροντος με εφαρμογή σε αναλογικά δεδομένα ηχοβολιστή πλευρικής σάρωσης από το λιμάνι της Αλεξάνδρειας (Chalari, 2009).
Για κάθε μια εικόνα που επεξεργάζεται το TargAn, υπολογίζει μέχρι και 38 παραμέτρους με την χρήση μεθόδων για την ανάλυση της υφής, την περιγραφή της γεωμετρίας του στόχου, την ποσοτικοποίηση του βαθμού διάκρισης του στόχου από τον περιβάλλοντα πυθμένα και τέλος την χωρική ανάλυση δομικών στοιχείων στην περιοχή ενδιαφέροντος (πίν. 3.2.3.1).
Τα όρια μια περιοχής ή ενός στόχου μπορούν να ψηφιοποιηθούν είτε χειροκίνητα από τον ερευνητή είτε αυτόματα.

Εικ. 3.2.3.1: Συνοπτική περιγραφή του λογισμικού TargAn (Fakiris, 2011).

Ανάλυση υφής της εικόνας	
Gray mean	Μέση τιμή του γκρι
Gray Std	Τυπική απόκλιση των τιμών του γκρι
Gray Kurtosis	Συντελεστής συμμετρίας των τιμών του γκρι
3rd ord. Mom. Inv.	Η 3η αμετάβλητη διαφορά
GLCM Contrast	Η παράμετρος αντίθεση
GLCM Correlation	Η παράμετρος συσχέτιση
GLCM Energy	Η παράμετρος ενέργεια
GLCM Entropy	Η παράμετρος εντροπία
GLCM Homogeneity	Η παράμετρος ομοιογένεια
2D FFT Directionality	Η παράμετρος κατευθυντικότητα
2D FFT Texture strength	Η παράμετρος ισχύς υφής
Διαφοροποίηση της περιοχής ενδιαφέροντος από τον περιβάλλοντα πυθμένα	
Per Reg. Mean	Μέση τιμή του γκρι στην περιφερειακή ζώνη
Per Reg. Std.	Τυπική απόκλιση των τιμών του γκρι στην περιφερειακή ζώνη
Tot. Gray Mean	Μέση τιμή του γκρι στην περιφερειακή ζώνη και την περιοχή ενδιαφέροντος
Tot. Gray Std.	Τυπική απόκλιση των τιμών του γκρι στην περιφερειακή ζώνη και την περιοχή ενδιαφέροντος
Std. Ratio	Εκτίμηση της πιθανότητας στο εσωτερικό της περιοχής ενδιαφέροντος να έχει συμπεριληφθεί σκιά
ROI Sharpness	Εκτίμηση του πόσο ευδιάκριτη είναι η περιοχή ενδιαφέροντος μέσα στον περιβάλλοντα πυθμένα
Παραδοσιακή γεωμετρία σχήματος	
Perimeter	Το μήκος της περιμέτρου της περιοχής ενδιαφέροντος
Area	Το εμβαδόν της περιοχής ενδιαφέροντος
Isoperimetric Quotient	Συγκρίνει περίμετρο και εμβαδόν της περιοχής ενδιαφέροντος με αυτά ενός τέλειου κύκλου
Eccentricity	Λόγος μήκους περιμέτρου έλλειψης και μέγιστου άξονα
Equivalent Diameter	Η διάμετρος ενός κύκλου ίσης διαμέτρου με αυτή της περιοχής ενδιαφέροντος
Major Axis Length	Το μήκος του μέγιστου άξονα της έλλειψης
Min. Axis Length	Το μήκος του ελάχιστου άξονα της έλλειψης
Target Direction	Η επικρατούσα διεύθυνση της περιοχής ενδιαφέροντος

Γεωμετρία σκελετού	
Skeleton Length	Το μήκος του σκελετού απολέπτυνσης της περιοχής ενδιαφέροντος
Skeleton Complexity	Η πολυπλοκότητα του σχήματος της περιοχής ενδιαφέροντος
Γεωμετρική ανάλυση κύριων αξόνων	
Max D.	Η μέγιστη απόσταση μεταξύ των σημείων του περιγράμματος της περιοχής ενδιαφέροντος
Max Vertical D.	Η μέγιστη απόσταση μεταξύ των σημείων του περιγράμματος της περιοχής ενδιαφέροντος κάθετα στον μέγιστο άξονά της
Elongation	Εκτίμηση της επιμήκυνσης της περιοχής ενδιαφέροντος
Max Symmetry	Μέγιστη συμμετρία
Mean Symmetry	Μέση συμμετρία
Simple Elongation	Απλή επιμήκυνση της περιοχής ενδιαφέροντος
Ανάλυση κατατετμημένων αντικειμένων	
Objects No	Ο αριθμός των κατατετμημένων αντικειμένων εντός της περιοχής ενδιαφέροντος
Objects Skew.	Ο συντελεστής συμμετρίας των μεγεθών των κατατετμημένων αντικειμένων
Objects %	Το ποσοστό του συνολικού εμβαδού της περιοχής ενδιαφέροντος που καταλαμβάνεται από τα κατατετμημένα αντικείμενα
Mean Objects area	Το μέσο εμβαδόν των κατατετμημένων αντικειμένων
Obj. Direction	Η επικρατούσα διεύθυνση των κατατετμημένων αντικειμένων

Πιν. 3.2.3.1 : Οι παράμετροι που αναλύονται από το TargAn (προσαρμογή από Fakiris, 2011).

9. Συμπεράσματα

- Στα πλαίσια της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής ειδίκευσης έγινε μια πολύ συστηματική καταγραφή για δύο αρχαίους λιμένες της Ανατολικής Μεσογείου.

- Σημαντικά παλαιογεωγραφικά στοιχεία των δύο αρχαίων λιμένων (καταβυθισμένοι νεώσοικοι, είσοδοι λιμένων, καταβυθισμένες παλαιοακτές) εντοπίστηκαν και αναδείχθηκαν από αυτή την έρευνα τα οποία και θα καθοδηγήσουν την αρχαιολογική έρευνα στο άμεσο μέλλον. Συγκεκριμένα στον λιμένα της Μουνιχίας, εκτός από την χαρτογράφηση των νεώσοικων εντοπίστηκε στον Νότιο τμήμα του, καταβυθισμένη παλαιοακτή σε βάθος νερού που κυμαίνεται από 1,5- 2 μέτρα, στο βόρειο τμήμα έναντι της εισόδου του λιμένα εντοπίστηκε μια περιοχή έντονης ανακλαστικότητας η οποία ταυτίζεται με την κεντρική περιοχή στην οποία υπήρχαν νεώσοικοι σύμφωνα με τις αναπαραστάσεις των αρχαιολόγων και τέλος στην είσοδο του λιμένα της Μουνιχίας, εντοπίζεται μια περιοχή με δύο ρηχά πλατό, υποεπιφανειακά των οποίων εντοπίζεται υπόστρωμα που πιθανά αντιπροσωπεύει περιοχή εγκαταστάσεων του αρχαίου λιμένα. Στον λιμένα της Ζέας χαρτογραφήθηκαν καταβυθισμένοι νεώσοικοι στο βορειοανατολικό τμήμα. Στην είσοδο του εσωτερικού λιμένα παρατηρήθηκε μια περιοχή η οποία πιθανά ταυτίζεται με την είσοδο του αρχαίου λιμένα.

- Η σεισμική στρωματογραφία των δύο λιμένων έδειξε δύο ενότητες ιζημάτων, οι οποίες αντιπροσωπεύουν δύο φάσεις λειτουργίας για τα δύο λιμάνια γεγονός που επιβεβαιώνεται από τα αποτελέσματα των δύο θαλάσσιων γεωτρήσεων που πραγματοποιήθηκαν. Οι ιζηματολογικές αναλύσεις που θα πραγματοποιηθούν θα αποδώσουν επιπλέον λεπτομέρειες για τις δύο αυτές φάσεις.

- Ένας μεγάλος αριθμός στόχων (65) εντοπίστηκε με την χρήση του ηχοβολιστή πλευρικής σάρωσης. Με την εφαρμογή του λογισμικού TargAn και μεθόδων πολυδιάστατης στατιστικής ανάλυσης οι στόχοι αυτοί ταξινομήθηκαν σε δύο ομάδες και έτσι καθορίστηκε ένας μικρός αριθμός στόχων με αυξημένη πιθανότητα αρχαιολογικής αξίας.

Βιβλιογραφία

Chalari A. (2009) Alexandrea ad Aeqyptum: palaeo-enviromental reconstruction of the coastal zone, using geophysical techniques and Geographical Information Systems (GIS), PhD Thesis, Dept of Geology, University of PAtras, Greece.

D.A. Mindell and K. Croff, "Deep Water, Archaeology and Technology Development," *MTS Journal*, Vol 36, No. 3, 13-20, 2002.

Delaporta K., Marek E. Jasinski, Fredrik Soreide. The Greek-Nowergian Deep-Water Archaeological survey. The International Journal of Nautical Archaeology 35.1: 79-87, 2006.

Damuth, J.E., 1975: 'Echo character of the western equatorial Atlantic floor and its relationship to the dispersal and distribution of terrigenous sediments' *Marine Geology*, 18: 17-45.

David Gibbins, Jonathan Adams. Shipwrecks and maritime archaeology. World Archaeology vol.32(3): 279-291, 2001.

David A. Mindell, Katherine L. Croff. Deep Water, Archaeology and Technology Development. MTS Journal vol.36 No.3, 2002.

Dixon, J.E., Renfrew, C., 1973: 'The Source of the Franchthi Obsidian'. *Hesperia*, 42: 82-85.

Judeich W, 1931: Topographie von Athen, Beck

Marriner, N., Morhange, C., 2007: 'Geoscience of ancient Mediterranean harbours', *Earth-Science Reviews*, 80: 137-194.

N.C. Flemming. Exploring landscapes beneath the sea; Submarine prehistoric archaeology of the North Sea. The international Journal of Nautical Archaeology 35.1: 146-148, 2006.

Rory Quinn, Wes Forsythe, Colin Breen, Martin Dean, Mark Lawrence, Steve Liscoe. Comparison of the maritime sites and monuments record with side-scan sonar and diver surveys: A case study from Rathlin Island, Ireland. Geoarchaeology: An international journal vol.17, No.5 441-451, 2002.

Rory Quinn, Andrew J.A.G. Cooper, Brian Williams. Marine geophysical investigation of the inshore coastal waters of Nothern Ireland. The international journal of nautical archaeology 29.2: 294-298, 2000.

Rory Quinn, J.M. Bull, J.K. Dix, J.R. Adams. The Mary Rose site – geophysical evidence for palaeo-scour marks. The international Journal of Nautical Archaeology 26.1: 3-16, 1997.

Rory Quinn, Martin Dean, Mark Lawrence, Steve Liscoe, Donal Boland. Backscatter responses and resolution considerations in archaeological side-scan sonar surveys: a control experiment. Journal of Archaeological Science 32, 1252-1264, 2005.

Fakiris Elias (2011) Developing software tools for the processing and analysis of marine geophysical data. Applications to the Gulf of Corinth, the Aegean and the Ionean sea, PhD Thesis, Dept of Geology, University of PAtras, Greece.

Fakiris Elias, George Papatheodorou (2010). TargAn: A Matlab toolbox for the parameterization of Side-Scan Sonar image targets, using regional gray-level statistics and shape descriptives. Proceedings of the 10th European Conference on Underwater Acoustics (ed. Tuncay Akal), Istanbul, Turkey July 5-9, 2010, vol. 3, pp. 1279-1287.

Fakiris E., G. Papatheodorou (2012). Quantification of regions of interest in swath sonar backscatter images using grey-level and shape geometry descriptives - The TargAn software. Marine Geophysical Research (*in press*).

L.R. Farnell, The Cultures of the Greek States, Chicago, 1971

Φερεντίνος Γ., Παπαθεοδώρου, Γ., 2005: 'Η καταστροφή και εξαφάνιση της Αρχαίας Ελίκης υπό το φως νέων γεωλογικών δεδομένων'. *In* Katsonopoulou, D., Soter, S., Koukouvelas, I., (Eds), *Helike III. Ancient Helike and Aigialeia. Archaeological sites in geologically active regions.* Αθήνα 2005: 203-220.

Fish, J-P., and Carr, H.A., (Eds), 1990: *Sound Underwater Images. A guide to the generation and interpretation of side scan sonar data*, Lower Cape Publishing, Orleans, MA.

Papatheodorou, G., Ferentinos, G., 1997: 'Submarine and coastal sediment failure triggered by the 1995, Ms = 6.1 R, Aegion earthquake, Gulf of Corinth, Greece'. *Marine Geology*, 137: 287–304.

Papatheodorou, G., Geraga, M., Ferentinos G., 2005: 'The Navarino Naval Battle Site, Greece— an Integrated Remote-Sensing Survey and a Rational Management Approach'. *The International Journal of Nautical Archaeology*, 34 (1): 95–109.

Parker, A.J., 1992: *Ancient Shipwrecks of the Mediterranean and the Roman Provinces.* British Archaeological Reports S560. Oxford: Tempus Reparatum.

Ulrichs, 1842 "Οι λιμένες και τα Μακρά τείχη των Αθηνών".

Δραγάτσης, 1885 Πρακτικά της Ακαδημίας Αθηνών.

Δραγάτσης, Αγγελόπουλος 1889 Πρακτικά της Αρχαιολογικής Εταιρείας.

Θρεψιάδης, 1935 Πρακτικά της Αρχαιολογικής Εταιρείας.