# ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

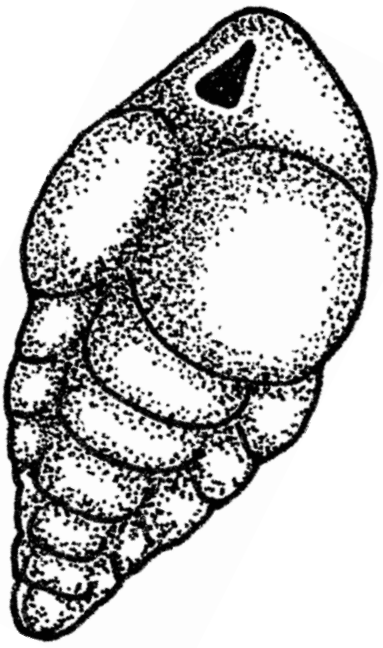
ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ & ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ


**Θαλάσσια γεωμορφολογία και περιβαλλοντικό καθεστώς του κόλπου Ελευσίνας και του εσωτερικού Σαρωνικού Κόλπου**

Πτυχιακή εργασία


**Κατσίγερα Άννα**

# ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ


**Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή**

**Παυλόπουλος Κοσμάς (Επιβλέπων)**
**Καθηγητής, Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Paris Sorbonne Université Abu Dhabi**

**Καψιμάλης Βασίλειος**
**Διευθυντής Ερευνών, Ελληνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών**

**Κατσαφάδος Πέτρος**
**Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο**

Εικόνα εξωφύλλου: Thriserial Bulimina

Η Κατσίγερα Άννα

δηλώνω υπεύθυνα ότι:

1) Είμαι ο κάτοχος των πνευματικών δικαιωμάτων της πρωτότυπης αυτής εργασίας και από όσο γνωρίζω η εργασία μου δε συκοφαντεί πρόσωπα, ούτε προσβάλει τα πνευματικά δικαιώματα τρίτων.

2) Αποδέχομαι ότι η ΒΚΠ μπορεί, χωρίς να αλλάξει το περιεχόμενο της εργασίας μου, να τη διαθέσει σε ηλεκτρονική μορφή μέσα από τη ψηφιακή Βιβλιοθήκη της, να την αντιγράψει σε οποιοδήποτε μέσο ή/και σε οποιοδήποτε μορφότυπο καθώς και να κρατά περισσότερα από ένα αντίγραφα για λόγους συντήρησης και ασφάλειας.

# ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η εργασία αυτή δεν θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί δίχως την ύπαρξη του τμήματος Ιστορικής Γεωλογίας και Παλεοντολογίας του τμήματος Γεωλογίας στο Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Θα ήθελά να ευχαριστήσω τις καθηγήτριες Μαρία Τριανταφύλλου, Μαργαρίτα Δίμηζα και Κατερίνα Κούλη για την ευκαιρία που μου έδωσαν και για τα δεδομένα τα οποία μου εμπιστεύτηκαν να επεξεργαστώ. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω το Ελληνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών και ιδιαίτερα τον κύριο Βασίλη Καψιμάλλη και τον κύριο Δημήτρη Βανδαράκη για τη βοήθεια και για όλα τα δεδομένα και τις πληροφορίες που μου παρείχαν.Ταυτόχρονα, θα ήθελα να ευχαριστήσω και τον καθηγητή μου, τον κύριο Πέτρο Κατσαφάδο για τις πολύτιμες γνώσεις και πληροφορίες που μου παρείχε.

Ευχαριστώ θερμά τον καθηγητή μου Κοσμά Παυλόπουλο για την καθοδήγηση και υποστήριξη που μου παρείχε, αλλά πιο πολύ από όλα τον ευχαριστώ που μου κόλλησε το «μικρόβιο» της επιστήμης μας! Θα σας ευγνωμονώ για πάντα!!!

Επίσης, ένα μεγάλο ευχαριστώ θα ήθελα να εκφράσω στην Μαρία Τριανταφύλλου τόσο για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, όσο και για την υπέροχη συνεργασία που ελπίζω να συνεχίσουμε να έχουμε!

Ελισάβετ Σκαμπά και Οδυσσέα Αρχοντίκη, δεν πρόκειται ποτέ να ξεχάσω τις ώρες που πλέναμε δίχως σταματημό τα δείγματά μας! Θα είστε για πάντα η καλύτερη ομάδα με την οποία έχω δουλέψει! Melanie Portela, je me manque déjà nos discussions! J'aimerais que je te retrouve bientôt.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που μου στάθηκαν περισσότερο από τον καθένα και με έκαναν να νιώθω ικανή για όλα, την οικογένειά μου. Χωρίς εσάς δεν θα είχα φτάσει μέχρι εδώ.

# Πίνακας περιεχομένων

**ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ** ..... **4**

**ΠΕΡΊΛΗΨΗ** ..... **7**

**ABSTRACT** ..... **8**

**ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ** ..... **9**

**ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ** ..... **9**

**ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ** ..... **9**

**ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΧΑΡΤΩΝ** ..... **9**

**ΕΙΣΑΓΩΓΉ** ..... **10**

**ΚΕΦΆΛΑΙΟ 1: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΊΑ** ..... **11**

1.1 Έρευνα Πεδίου ..... 12

*1.1.1Περιοχή δειγματοληψίας* ..... *12*

*1.1.2 Στρατηγική δειγματοληψίας* ..... *13*

1.2 Μικροπαλαιοντολογική Ανάλυση ..... 14

*1.2.1 Εργαστηριακή επεξεργασία δειγμάτων και επεξεργασία τρηματοφόρων* ..... *14*

*1.2.2 Ανάλυση Ιζήματος* ..... *15*

1.3 Τεχνικές Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΣΓΠ) ..... 16

*1.3.1 Δημιουργία Χαρτών* ..... *16*

*1.3.2 Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM)* ..... *18*

**ΚΕΦΆΛΑΙΟ 2: ΠΕΡΙΟΧΉ ΜΕΛΈΤΗΣ** ..... **19**

2.1 Γενικές πληροφορίες ..... 19

2.2 Ιστορικά στοιχεία ..... 20

**ΚΕΦΆΛΑΙΟ 3: ΚΛΊΜΑ ΚΑΙ ΚΥΚΛΟΦΟΡΊΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΉΣ** ..... **21**

**ΚΕΦΆΛΑΙΟ 4: ΓΕΩΛΟΓΊΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΉΣ** ..... **23**

**ΚΕΦΆΛΑΙΟ 4: ΛΙΘΟΛΟΓΊΑ** ..... **23**

4.1 Μορφολογία και βαθυμετρία του Σαρωνικού ..... 26

**ΚΕΦΆΛΑΙΟ 5: ΠΑΛΑΙΟΓΕΩΓΡΑΦΙΚΉ ΕΞΈΛΙΞΗ ΚΑΙ ΕΚΤΊΜΗΣΗ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΉΣ ΚΑΤΆ ΤΟ ΟΛΌΚΑΙΝΟ** ..... **27**

**ΚΕΦΆΛΑΙΟ 6: ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΌ ΚΑΘΕΣΤΏΣ ΤΟΥ ΣΑΡΩΝΙΚΟΎ ΚΌΛΠΟΥ** ..... **34**

6.1 Περιβαλλοντικά στοιχεία ..... 34

6.2 Τα τρηματοφόρα στα παράκτια περιβάλλοντα ..... 35

6.3 Περιγραφή περιβαλλοντικών συνθηκών στον Σαρωνικό κόλπο ..... 37

6.4 Αποτελέσματα ..... 40

**ΚΕΦΆΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΆΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΉΤΗΣΗ** ..... **45**

**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΊΑ** ..... **47**

# Περίληψη

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι ο εντοπισμός και η λεπτομερής ανάλυση του περιβαλλοντικού καθεστώτος μέσα από την ανάλυση ιζημάτων από δειγματοληψίες που έγιναν στην θαλάσσια περιοχή μελέτης και η περιγραφή της μεταβολής της στάθμης της θάλασσας κατά τη διάρκεια του Ολοκαίνου, με τη χρήση τεχνικών gis.

Ο Σαρωνικός κόλπος αποτελεί μια περιοχή σημαντικού επιστημονικού ενδιαφέροντος, καθώς παρουσιάζει εξαιρετική ποικιλία στις γεωμορφές που διαμορφώνουν τον πυθμένα λόγω των ενεργών ρηγμάτων που υφίστανται στον πυθμένα του Σαρωνικού αλλά και της ύπαρξης του υποθαλάσσιου ηφαιστείου Παυσανίας και του ηφαιστείου των Μεθάνων. Ταυτόχρονα, η περιοχή ενδείκνυται για την παρατήρηση των περιβαλλοντικών συνθηκών καθώς αποτελεί μια θαλάσσια έκταση με έντονη την ανθρώπινη παρέμβαση και αλληλεπίδραση λόγω του λιμανιού του Πειραιά και των βαρέων βιομηχανιών που αναπτύσσονται κατά μήκος του κόλπου της Ελευσίνας.

Για τις ανάγκες της παρούσας πτυχιακής εργασίας, δημιουργήθηκαν χάρτες εκτίμησης της μεταβολής της ακτογραμής για τον εσωτερικό Σαρωνικό κόλπο, χρησιμοποιώντας τεχνικές gis. Παράλληλα, έγινε μελέτη και ταξινόμηση των βενθονικών τρηματοφόρων που συλλέχθηκαν από τα επιφανειακά ύδατα σε 12 διαφορετικούς σταθμούς δειγματοληψίας στον Σαρωνικό κόλπο με σκοπό να γίνει μια λεπτομερής περιγραφή και προσδιορισμός των περιβαλλοντικών συνθηκών που επικρατούν στο Ολόκαινο.

Για την ολοκλήρωση και την πληρότητα των αποτελεσμάτων της παρούσας μελέτης έγινε χρήση των πρωτογενών δεδομένων από τις δειγματοληψίες που πραγματοποιήθηκαν αλλά και συλλέχθηκαν δεδομένα από εθνικά επιστημονικά ινστιτούτα όπως το Ελληνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών (ΕΛΚΕΘΕ) και το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ). Για την ψηφιακή απεικόνιση των χαρτών (βαθυμετρίας, εκτίμησης ακτογραμμής) χρησιμοποιήθηκαν βαθυμετρικά στοιχεία τα οποία επεξεργάστηκαν με το πακέτο λογισμικού ArcGIS της ESRI αλλά και δεδομένα που συλλέχθηκαν από την έρευνα πεδίου.

Λέξεις κλειδιά: Γεωμορφολογία, βενθονικά τρηματοφόρα, Σαρωνικός κόλπος

## Abstract

Saronikos Gulf is located in the Aegean Sea between Attica and eastern Peloponnese Peninsula and is considered as one of the most important gulfs of Greece, due to its particular environmental conditions and sea floor morphology. Through the ages, the coastal areas surrounding the gulf where used for economic and strategic purposes, with the most important of these being the Piraeus port and Elefsis Bay. Both are located on the north-eastern part of the gulf and are strongly linked to human activities since the beginning of the ancient greek civilization.

The area holds a great geomorphological and environmental interest, due to the human intervention since ancient times but also due to the various landforms and processes that form its amazing underwater and coastal landscape, such as the active submarine volcano "Pausanias", the volcano of Methana peninsula and the tectonic profile of the area. Saronikos Gulf is characterized by mild recent seismicity but in its north and east margins occurred both historical and recent earthquakes. In addition, the industrial activities along the coast of Elefsis Bay affect the ecosystems of NE Saronikos Gulf, leaving traces of human activity that impacts the environmental status of the inner Saronikos Gulf.

For the creation of the maps showing the dynamic evolution of the area's coastline and also the bathymetric map we used a combination of data collected from field studies and available archive data from the Hellenic Center for Marine Research (HCMR) and the Institute of Geology and Mineral Exploration (IGME). Gis techniques (ArcGis from ESRI) were used to record the coastal and marine geomorphology of the gulf.

In order to relate the Gulf's evolution with the recent processes and environmental conditions, we studied and analyzed the benthic foraminifera sampled on the surface water that we collected from 12 different locations across the Gulf. A low-diversity assemblage, dominated by stress-tolerant Ammonia tepida and Bulimina spp., was characteristic of samples from Elefsis Bay. Samples from the western and central part of Saronikos Gulf were the most variable, characterized by a mix of stress-tolerant and more sensitive taxa, especially Bolivina spp. and Nonion fabum. Samples from the coast of Salamis and at the eastern sector of the gulf were characterized by a diverse assemblage that mostly included, and small, epiphytic rotaliid taxa.


Keywords: Marine Geomorphology, Benthic foraminifera, Saronikos Gulf

# ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

**Εικ.1:** Μικροσκόπιο Leica και Otto Microsplitter.....σελ. 15
**Εικ.2:** Amonia tepida.....σελ. 35

# ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

**Πιν.1:** Γεωγραφικές συντεταγμένες των θέσεων των σταθμών δειγματοληψίας.....σελ.12
**Πιν.2:** Ενδεικτική βιβλιογραφία και οικολογία βασικών βενθονικών τρηματοφόρων... σελ. 39

# ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

**Σχ.1:** Μεθοδολογία.....σελ. 11
**Σχ.2:** Χρήση τεχνικών ΣΓΠ.....σελ.17
**Σχ.3:** Τα διαγράμματα ραβδώσεων των μηνιαίων μέσων ανέμων στον Κόλπο Σαρωνικού (37,5 ° N, 23,75 ° E) κατά την περίοδο 1998-1999.....σελ. 21
**Σχ.4:** Παλαιογραφική απεικόνιση του Σαρωνικού Κόλπου.....σελ. 28
**Σχ.5:** Συνοπτική απεικόνηση των αποτελεσμάτων.....σελ. 44

# ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΧΑΡΤΩΝ

**Χάρτης 1**: Περιοχή δειγματοληψίας και ακριβείς θέσεις σταθμών δειγματοληψίας .....σελ. 12
**Χάρτης 2:** Σαρωνικός Κόλπος.....σελ. 20
**Χάρτης 3:** Απλουστευμένος γεωλογικός χάρτης της περιοχής της Αττικής.....σελ. 25
**Χάρτης 4:** Υδρογραφικός Χάρτης του Κόλπου Ελευσίνας.....σελ. 26
**Χάρτης 5:** Εκτίμηση προέλασης ακτογραμμής κατά το Ολόκαινο. Με κόκκινο χρώμα αναπαριστάται η εκτιμώμενη προέλαση της ξηράς.....σελ. 33
**Χάρτης 6:** Χάρτης της περιοχής μελέτης. Στις πίτες απεικονίζονται τα ποσοστά των 6 επικρατέστερων ειδών που ταυτοποιήθηκαν.....σελ. 41

# Εισαγωγή

Ο Σαρωνικός κόλπος αποτελεί μια περιοχή σημαντικού επιστημονικού ενδιαφέροντος, καθώς παρουσιάζει εξαιρετική ποικιλία στις γεωμορφές που διαμορφώνουν τον πυθμένα λόγω των ενεργών ρηγμάτων που υφίστανται στον πυθμένα του Σαρωνικού αλλά και της ύπαρξης του υποθαλάσσιου ηφαιστείου Παυσανίας και του ηφαιστείου των Μεθάνων. Ταυτόχρονα, η περιοχή ενδείκνυται για την παρατήρηση των περιβαλλοντικών συνθηκών καθώς αποτελεί μια θαλάσσια έκταση με έντονη την ανθρώπινη παρέμβαση και αλληλεπίδραση λόγω του λιμανιού του Πειραιά και των βαρέων βιομηχανιών που αναπτύσσονται κατά μήκος του κόλπου της Ελευσίνας.

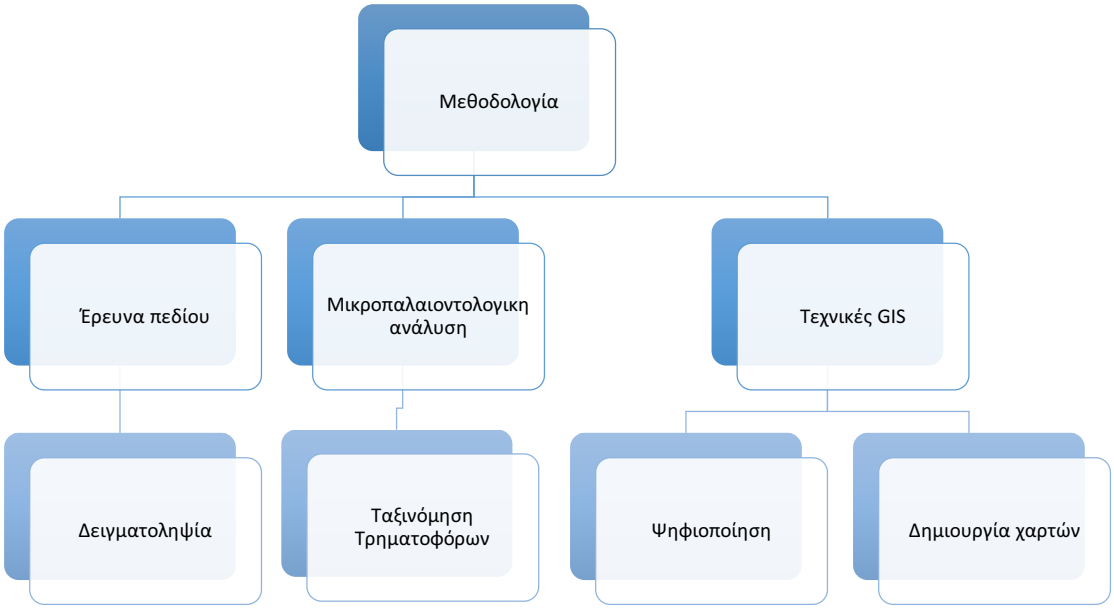
Ήδη από τα αρχαία χρόνια, η ευρύτερη περιοχή του Σαρωνικού ήταν πόλος έλξης των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, γεγονός το οποίο γίνεται εμφανές στο λιμάνι του Πειραιά και στον κόλπο της Ελευσίνας μέσα από τις εμπορικές δραστηριότητες και τη ναυτιλία.

Μέσα από αυτήν την πτυχιακή εργασία επιχειρούνται να περιγραφούν οι αλλαγές που έχουν υπάρξει στην διαμόρφωση του εσωτερικού Σαρωνικού κόλπου, μέσα από τη μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης κατά την περίοδο του Ολοκαίνου αλλά και να γίνει μια περιγραφή του περιβαλλοντικού καθεστώτος της περιοχής, μέσα από την επεξεργασία και ανάλυση δειγμάτων από επιφανειακά ιζήματα πυθμένα.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι εκτός από το να γίνει μια λεπτομερής απεικόνιση του περιβαλλοντικού καθεστώτος και να εκτιμηθεί η δυναμική της ανόδου της θαλάσσιας στάθμης κατά την περίοδο του Ολοκαίνου στην ευρύτερη περιοχή, να αναδειχθεί και η σημασία της χρήσης ενός συνδυασμού επιστημονικών μεθόδων από ποικίλους επιστημονικούς κλάδους για την καλύτερη κατανόηση τόσο της δυναμικής μιας περιοχής, όσο και την σύνδεση και τη σχέση αίτιου- αποτελέσματος μεταξύ των διεργασιών μέσα από τις οποίες προκύπτει η εικόνα που αντικρίζουμε σήμερα. Μέσα από αυτή τη γνώση και κατανόηση του παρελθόντος, βγαίνουν πιο πιστά συμπεράσματα για το παρόν αλλά και γίνονται πιο σαφείς εκτιμήσεις για το μέλλον.

# Κεφάλαιο 1: Μεθοδολογία

Στην εργασία αυτή επιχειρείται να γίνει μια λεπτομερής απεικόνιση του περιβαλλοντικού καθεστώτος και να εκτιμηθεί η δυναμική της ανόδου της θαλάσσιας στάθμης κατά την περίοδο του Ολοκαίνου στην ευρύτερη περιοχή του Σαρωνικού Κόλπου. Η εκπόνηση της εργασίας αυτής απαίτησε τη συνδυαστική χρήση επιστημονικών μεθόδων όπως η έρευνα πεδίου για την πραγματοποίηση της δειγματοληψίας, η μικροπαλαιοντολογική ανάλυση για την επεξεργασία και μελέτη των δειγμάτων, οι τεχνικές των Γεωγραφικών Συστημάτων πληροφοριών για την επεξεργασία των χωρικών δεδομένων, τη δημιουργία χαρτών και απεικονίσεων των αλλαγών στη θαλάσσια στάθμη αλλά και η εκτενής μελέτη και αποδελτίωση ενός πλήθους επιστημονικών εργασιών για τη δημιουργία μιας πλήρους περιγραφής των συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή. Παρατηρώντας το σχήμα 1, είναι δυνατό η μεθοδολογική διαδικασία να χωριστεί σε ορισμένα επιμέρους τμήματα, ανάλογα με την επιστημονική μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε. Τα τμήματα αυτά αναλύονται παρακάτω.




*Σχήμα 1: Μεθοδολογία*

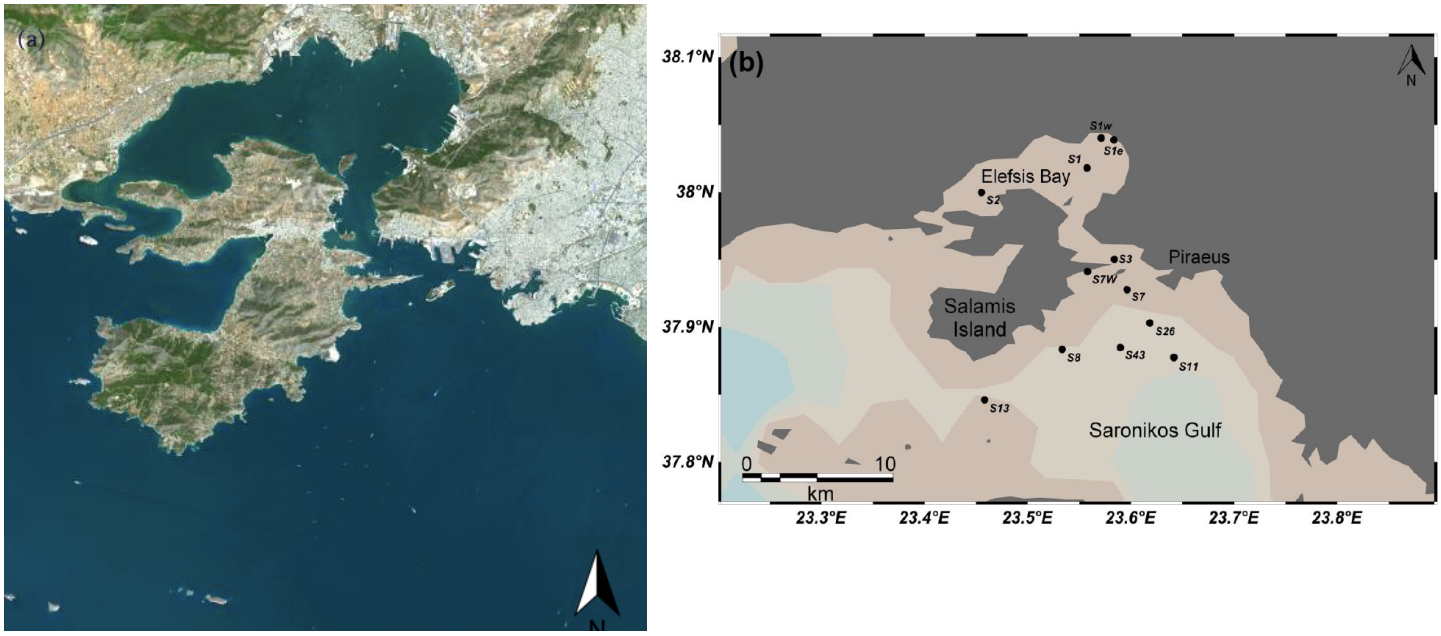
## 1.1 Έρευνα Πεδίου

### 1.1.1 Περιοχή δειγματοληψίας

Για τις ανάγκες της παρούσας πτυχιακής εργασίας συλλέχθηκαν επιφανειακά ιζήματα πυθμένα από 12 σταθμούς δειγματοληψίας στην περιοχή του κόλπου της Ελευσίνας και στην περιοχή του εσωτερικού Σαρωνικού κόλπου, ανατολικά της Σαλαμίνας. Στον παρακάτω πίνακα καταγράφονται λεπτομερώς οι θέσεις που έγιναν οι δειγματοληψίες καθώς και το βάθος του κάθε σταθμού καθώς και στους χάρτες φαίνεται η περιοχή και οι ακριβείς θέσεις των σταθμών.

| Stations | Latitude (N) | Longitude (E) | Depth (m) |
|---|---|---|---|
| S1 | 38º 01.05 | 23º 33.27 | 25 |
| S1w | 38º 01.85 | 23º 34.16 | 15 |
| S1e | 38º 01.80 | 23º 34.60 | 15 |
| S2 | 38º 00.00 | 23º 27.18 | 35 |
| S3 | 37º 57.00 | 23º 35.00 | 32 |
| S7 | 37º 55.42 | 23º 35.45 | 75 |
| S7w | 37º 55.88 | 23º 32.88 | 30 |
| S8 | 37º 53.00 | 23º 32.00 | 90 |
| S11 | 37º 52.36 | 23º 38.30 | 82 |
| S13 | 37º 50.45 | 23º 27.30 | 94 |
| S26 | 37º 54.10 | 23º 37.08 | 70 |
| S43 | 37º 52.67 | 23º 35.23 | 95 |

*Πίνακας 1: Γεωγραφικές συντεταγμένες των θέσεων των σταθμών δειγματοληψίας*




*Χάρτης 1: (a) Περιοχή δειγματοληψίας και (b) ακριβείς θέσεις σταθμών δειγματοληψίας*

### 1.1.2 Στρατηγική δειγματοληψίας

Κατά τη διάρκεια της αποστολής της δειγματοληψίας τα δείγματα των επιφανειακών ιζημάτων του πυθμένα συλλέχθηκαν με τη χρήση δειγματολήπτη τύπου Van Veen. Η μέθοδος δειγματοληψίας επιφανειακών ιζημάτων πυθμένα χρησιμοποιείται ευρέως διότι θεωρείται η καταλληλότερη για τη λήψη δειγμάτων βενθονικής πανίδας (πχ. Frontalini et al., 2009). Για το κάθε δείγμα συλλέχθηκαν 100 cc αδιατάρακτου ιζήματος και τα ανώτερα 1-2cm τοποθετήθηκαν σε ογκομετρικά φιαλίδια.

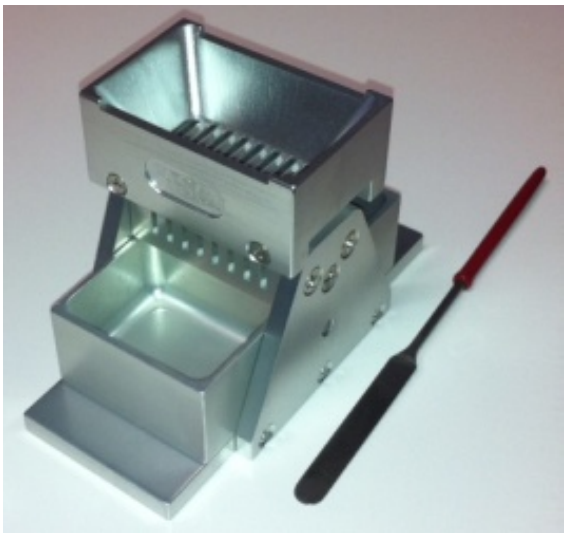
Τα δείγματα διατηρήθηκαν σε διάλυμα αιθυλικής αλκοόλης ($C_2H_6O$) αναμεμιγμένο με θαλασσινό νερό για να μπορέσουν να διατηρηθούν τα μαλακά μέρη των τρηματοφόρων και χρωματίστηκαν με ουδέτερο διάλυμα Rose Bengal (1gr Rose Bengal/ 1l distilled water) (Walton, 1952). Το διάλυμα Rose Bengal είναι μια χρωστική που έχει τη δυνατότητα να χρωματίσει την οργανική ουσία. Με τον τρόπο αυτό, χρωματίζοντας τα κελύφη των τρηματοφόρων ανάλογα με το αν εκείνα περιέχουν οργανική ουσία, γίνεται εφικτός ο διαχωρισμός των νεκρών από τα ζωντανά άτομα μέσα στα δείγματα (Debenay et al., 2001). Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη μέθοδο αυτή δεν είναι απόλυτα ακριβή καθώς το Rose Bengal μπορεί να χρωματίσει φύκη και βακτήρια καθώς και οργανικά στοιχεία του ίδιου του κελύφους (Murray, 1991; Saffert and Thomas, 1998). Αν και έχει περιορισμένες δυνατότητες, η μέθοδος αυτή αποτελεί τον πλέον πρακτικό τρόπο για την ποσοτικοποίηση της ζωντανής πανίδας και κατά τους Lutze και Altenbach (1991), αν χρησιμοποιηθεί προσεκτικά οδηγεί σε αποτελέσματα με επιτυχία που αγγίζει το 96%. Στην μελέτη αυτή ακολουθήθηκε η μέθοδος που προτείνεται από τους de Stigter et al. (1998,1999), για να διαχωριστούν τα ζωντανά άτομα (well stained). Συνεπώς θεωρήθηκαν ζωντανά μόνο τα άτομα των οποίων τα κελύφη παρουσίαζαν έντονο ερυθρό χρωματισμό στο εσωτερικό των θαλάμων.

## 1.2 Μικροπαλαιοντολογική Ανάλυση

### 1.2.1 Εργαστηριακή επεξεργασία δειγμάτων και επεξεργασία τρηματοφόρων

Αφού προστέθηκε το διάλυμα αιθυλικής αλκοόλης και Rose Bengal, τα δείγματα των επιφανειακών ιζημάτων πυθμένα ανακινήθηκαν καλά και διατηρήθηκαν σε χαμηλή θερμοκρασία για χρονικό διάστημα αρκετό ώστε να επιτευχθεί ο σωστός χρωματισμός των δειγμάτων (Walton, 1952). Ακολούθως, 20cm$^2$ ιζήματος λήφθηκαν με τη χρήση μικρής σπάτουλας από το κέντρο του ογκομετρικού φιαλιδίου και από το βαθύτερο έως το υψηλότερο σημείο. Η ποσότητα αυτή πλύθηκε με φυσικό νερό και τη χρήση κοσκίνων διαμέτρου οπής 125μm και 63μm, τα οποία τοποθετήθηκαν το ένα πάνω στο άλλο για τον διαχωρισμό των κόκκων. Όλα τα δείγματα, μετά τη διαδικασία της πλύση, υποβλήθηκαν σε ξήρανση σε χαμηλή θερμοκρασία (60$^o$C), για 2-3 εικοσιτετράωρα. Η διαδικασία παρασκευής των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε εξ ολοκλήρου στους χώρους εργαστηρίου του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αθηνών.

Για τη συλλογή των τρηματοφόρων χρησιμοποιήθηκε το κλάσμα >125μm, το οποίο προέκυψε από τη διαδικασία παρασκευής του κάθε δείγματος. Τα δείγματα διαχωρίστηκαν με τη χρήση Otto Microsplitter, ώσπου προέκυψε ένα αντιπροσωπευτικό μικρό κλάσμα το οποίο ήταν ικανό να περιέχει 200-300 άτομα τρηματοφόρων τα οποία θεωρούνται καλός αριθμός. Η μελέτη κλασμάτων αυτού του μεγέθους σε ό,τι αφορά τη συστηματική τους ταξινόμηση προσφέρει ένα χρήσιμο συμβιβασμό μεταξύ του κόστους των αναλύσεων, δηλαδή το χρόνο που διαθέτει ο ερευνητής και του οφέλους που είναι η ακρίβεια των δειγμάτων (Carnahan, 2005). Τα άτομα από κάθε δείγμα συλλέχθηκαν με λεπτό πινέλο No 000 Winsor & Newton University Series και τοποθετήθηκαν με ειδική κόλλα Gome Adraganth σε μικροπαλαιοντολιγικά πινακίδια Chapman. Η συλλογή και μελέτη των τρηματοφόρων έγινε με τη χρήση στερεοσκοπίου προσπίπτοντος φωτός Leica S4E.



*Εικόνα 1: Μικροσκόπιο Leica και Otto Microsplitter*

Από το κάθε δείγμα συλλέχθηκαν όπου ήταν δυνατό 200 άτομα ζωντανά αλλά και νεκρά έτσι ώστε να προκύψει στατιστικά αντιπροσωπευτικό δείγμα (Debenay et al., 2001; Douglas, 1973). Στη συνέχεια διαχωρίστηκαν τα ζωντανά από τα νεκρά άτομα με σκοπό την καταμέτρησή τους και εν συνεχεία τη συστηματική τους ταξινόμηση. Τα άτομα που παρουσίαζαν μεγάλο ποσοστό απώλειας κελύφους λόγω θραύσης εξαιρέθηκαν περαιτέρω ανάλυσης.

### 1.2.2 Ανάλυση Ιζήματος

Το μέγεθος των κόκκων, ο οργανικός άνθρακας (OC) και τα επιλεγμένα βαρέα μέταλλα εκτιμήθηκαν σε όλα τα δείγματα χάρη στον Δρ. Αριστομένη Καραγεώργη (Ελληνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών). Η ανάλυση του μεγέθους των κόκκων ακολούθησε τη μέθοδο του Folk, 1974. Το κλάσμα της άμμου διαχωρίστηκε με υγρό κοσκίνισμα χρησιμοποιώντας κόσκινο μεγέθους πόρων 63 μm. Τα κλάσματα αργιλίου και αργίλου (μέγεθος <63 μm) αναλύθηκαν σε αναλυτή μεγέθους κόκκων Micromeritics Sedigraph 5100. Ο οργανικός άνθρακας προσδιορίστηκε χρησιμοποιώντας έναν στοιχειακό αναλυτή (Fisons EA-1108 CHN), ακολουθώντας τις διαδικασίες που περιγράφονται από τους Verardo et al., 1990. Η ακρίβεια της μεθόδου ήταν εντός 5%. Τα περιεχόμενα ιχνοστοιχείων ιζήματος (Cr, Cu, Ni, Pb και Zn) και μεταλλοειδούς (As) (στο εξής "μέταλλα") προσδιορίστηκαν με φθορισμό X-Ray (XRF) χρησιμοποιώντας ένα όργανο Philips PW-2400, ακολουθώντας τη μέθοδο που περιγράφεται από τον Karageorgis (2009). Τα περιεχόμενα των μετάλλων συγκρίθηκαν με τις κατευθυντήριες γραμμές εμπειρικά για την ποιότητα των ιζημάτων ERL (κλίμακα αποτελεσμάτων - χαμηλή) και ERM (μέση τιμή αποτελεσμάτων) (Long et al., 1995, 1998).

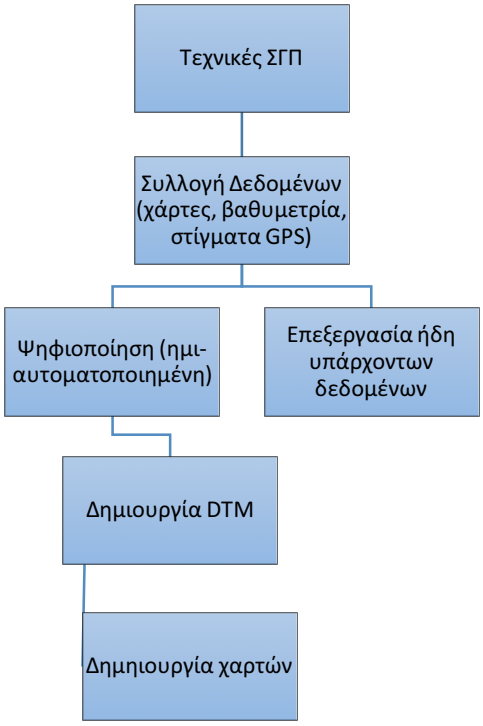
## 1.3 Τεχνικές Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΣΓΠ)

### 1.3.1 Δημιουργία Χαρτών

Για τις ανάγκες της παρούσας πτυχιακής εργασίας δημιουργήθηκαν χάρτες εκτίμησης της μεταβολής της στάθμης της θάλασσας καθώς και τοπογραφικός χάρτης της περιοχής. Για την δημιουργία των χαρτών αυτών ακολουθήθηκε μια συγκεκριμένη μεθοδολογία η οποία παρουσιάζεται και σχηματικά στο σχήμα 2.

Η πιο σύγχρονη και παράλληλα πιο ακριβής τεχνική γεωμορφολογικής χαρτογράφησης περιλαμβάνει τη χρήση των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) και Συσκευές Παγκόσμιου Εντοπισμού Θέσης (GPS) ή DGPS κατά τη διάρκεια της εργασίας πεδίου. Με τον τρόπο αυτό καταγράφονται με ακρίβεια τα γεωγραφικά στοιχεία των χαρακτηριστικών που συλλέγονται στο ύπαιθρο, καταχωρείται η περιγραφική τους πληροφορία και δύναται να αναλυθούν οι οντότητες τόσο γεωγραφικά, όσο και ποσοτικά. Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) παρέχουν επίσης τη δυνατότητα χαρτογραφικής απόδοσης με δόκιμα σύμβολα που είτε λαμβάνονται από βιβλιοθήκη συμβόλων, είτε δημιουργούνται επί τούτου και προστίθενται σε αυτή από τον χρήστη (Pavlopoulos et al,2012)

Για τη δημιουργία ενός λεπτομερούς χάρτη θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν τόσο τα ΣΓΠ και η Τηλεπισκόπιση όσο και η εργασία υπαίθρου, η οποία δεν μπορεί να υποκατασταθεί από τις σύγχρονες τεχνολογίες αλλά και η σύγκριση με παλαιότερους χάρτες στη περίπτωση που είναι διαθέσιμοι. Χωρίς τις παρατηρήσεις από την εργασία υπαίθρου θα μπορούσε ο ερευνητής να οδηγηθεί σε λανθασμένη ερμηνεία των γεωμορφών, της γεωλογίας και των χαρακτηριστικών της περιοχής μελέτης, καθώς οι ψηφιακοί και αναλογικοί χάρτες ή οι αεροφωτογραφίες και οι δορυφορικές εικόνες δεν εξάγουν όλες τις πληροφορίες που μπορούν να εξαχθούν από την επιτόπια παρατήρηση. Στην περίπτωση της χαρτογράφισης θαλάσσιων επιφανειών, λόγω των δυσκολιών που αντιμετωπίζονται από τη φύση του περιβάλλοντος το οποίο χαρτογραφείται, χρησιμοποιούνται και άλλα μέσα για την καλύτερη απεικόνιση και περιγραφή της περιοχής, όπως ωκεανογραφικά σκάφη τα οποία είναι εξοπλισμένα με τα απαραίτητα όργανα απεικόνισης και συλλογής δεδομένων.




*Σχήμα 2: Χρήση τεχνικών ΣΓΠ*

Το πρώτο στάδιο στη διαδικασία της χαρτογράφησης είναι η συλλογή τοπογραφικών χαρτών και διαγραμμάτων που θα χρησιμοποιηθούν ως υπόβαθρα για τη δημιουργία του χάρτη. Αυτά πρέπει να είναι ακριβή, ανάλογα με την κλίμακά τους, αξιόπιστα και σύγχρονα, ώστε να αντιπροσωπεύουν την παρούσα κατάσταση όλων των απεικονιζόμενων χαρακτηριστικών της περιοχής μελέτης. Οι κλίμακες των υποβάθρων είναι συνήθως μεγαλύτερες από την κλίμακα του υπό κατασκευή χάρτη ή τουλάχιστον ίσες (σε περιπτώσεις όπου δεν είναι διαθέσιμα υπόβαθρα μεγαλύτερης κλίμακας), και σε καμία περίπτωση μικρότερες. Στην περίπτωση της παρούσας εργασίας είναι απαραίτητη και η συλλογή βαθυμετρικών χαρτών για την πιστή απεικόνιση των βαθυμετρικών στοιχείων της περιοχής μελέτης.

Οι χάρτες και τα διαγράμματα αυτά σαρώνονται μέσω ηλεκτρονικού σαρωτή (scanner); ώστε να αποκτήσουν ψηφιακή μορφή και να εξαχθούν τα απαραίτητα δεδομένα για τη χαρτογράφηση. Κατά τη σάρωση πραγματοποιείται η ψηφιακή μετατροπή τους σε αρχεία τύπου TIFF, JPEG ή μορφοτύπων (format) που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από ένα λογισμικό ΓΣΠ (Liosis, 2013).

Από τους τοπογραφικούς και τους βαθυμετρικούς χάρτες εξάγονται δεδομένα όπως ισοϋψείς, ισοβαθείς, υδρογραφικά δίκτυα και άλλα στοιχεία τα οποία μπορούν να αποδώσουν την εικόνα του τοπίου (ανάγλυφο) και αντίστοιχα του πυθμένα. Τα χαρακτηριστικά αυτά ψηφιοποιούνται σε διανυσματική μορφή,

όπως επίσης και εκείνα που εξάγονται από άλλων ειδών χάρτες (γεωλογικοί, λιθολογικοί κλπ). Από αυτούς δημιουργούνται διανυσματικά (vector) αρχεία τα οποία περιέχουν πληροφορίες για τους γεωλογικούς σχηματισμούς του εδάφους, τα βάθη, το υψόμετρο και ό,τι άλλο χρειάζεται να υπάρχει στον χάρτη.

Τα διανυσματικά αυτά επίπεδα θα είναι γραμμικά για τα γραμμικά στοιχεία όπως ισοϋψείς, ποτάμια ή ισοβαθείς καμπύλες, πολυγωνικά για τις επιφάνειες όπως γεωλογικό υπόβαθρο ή λίμνες, και σημειακά για στοιχεία όπως οι κορυφές των υψωμάτων ή ονομασίες περιοχών για την διευκόλυνση ανάγνωσης του χάρτη.

Η ψηφιοποίηση πραγματοποιείται συνήθως χειροκίνητα από τους χάρτες που έχουν συλλεχθεί, όταν πρόκειται για την εξαγωγή μικρού αριθμού στοιχείων. Στη διαδικασία αυτή χρησιμοποιούνται επίσης και τα δεδομένα τηλεπισκόπισης. Σε περίπτωση που πρόκειται να ψηφιοποιηθεί μεγάλος αριθμός δεδομένων σε κάποιο διανυσματικό επίπεδο, όπως αυτό των ισοβαθών, η ψηφιοποίησή του πραγματοποιείται μέσω τεχνικών αυτόματης διανυσματοποίησης από τα raster αρχεία (vectorization), μια μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε και για την δημιουργία των ισοβαθών καμπυλών για την περιοχή μελετης.

### 1.3.2 Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM)

Τα Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους (Digital Terrain Models- DTM ή Digital Elevation Models-DEM) είναι ιδιαίτερα χρήσιμα στις διαδικασίες ανάλυσης, επεξεργασίας και παρουσίασης γεωγραφικών πληροφοριών που σχετίζονται με το ανάγλυφο.

Ένα ΨΜΕ αποτελεί μια τρισδιάστατη αναπαράσταση του ανάγλυφου, και από αυτό μπορούν να παραχθούν περεταίρω δεδομένα χρήσιμα στη γεωμορφολογική έρευνα, όπως χάρτες κλίσεων (slope), έκθεσης (aspect), υδροκρίτες και λεκάνες απορροής, υδρογραφικό δίκτυο (προσεγγιστικά), κ.ά. Η κατασκευή του ΨΜΕ πραγματοποιείται από τα στοιχεία του τοπογραφικού υποβάθρου που περιγράφουν το ανάγλυφο, όπως ισοϋψείς και σημεία γνωστού υψομέτρου.

Η διαδικασία δημιουργίας ενός ΨΜΕ μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την απεικόνιση του πυθμένα, χρησιμοποιώντας βαθυμετρικά δεδομένα για τη δημιουργία του.

Για την μελέτη της περιοχής του εσωτερικού Σαρωνικού Κόλπου, τα βαθυμετρικά δεδομένα που συλλέχθηκαν, τόσο από το Ελληνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών (ΕΛΚΕΘΕ) όσο και από τα στοιχεία που συλλέχθηκαν κατά την έρευνα πεδίου, ψηφιοποιήθηκαν και συνδυάστηκαν με τα στοιχεία βαθυμετρικών χαρτών του ΙΓΜΕ και επεξεργάστηκαν για να προκύψει ένα DEM που αποτέλεσε την ψηφιακή αναπαράσταση της μορφολογίας του πυθμένα της περιοχής. Εκτός από το DEM του πυθμένα, δημιουργήθηκε και ένα πρόσθετο DEM απεικόνισης της ξηράς στην περιοχή της Αττικής, με δεδομένα υψομετρικά, και τα δύο αυτά DEM ενώθηκαν με την διαδικασία merge, με σκοπό την καλύτερη απεικόνιση της περιοχής σαν ενιαίο σύστημα ξηράς-θάλασσας.

# Κεφάλαιο 2: Περιοχή Μελέτης

## 2.1 Γενικές πληροφορίες

Ο Σαρωνικός κόλπος βρίσκεται στο Αιγαίο πέλαγος, μεταξύ της Αττικής και της ανατολικής Πελοποννήσου και θεωρείται ένας από τους σημαντικότερους κόλπους της Ελλάδας. Η ονομασία του κατά την ελληνική μυθολογία προέρχεται από τον Σάρωνα, το βασιλιά της Τροιζήνας που πνίγηκε στα νερά του κυνηγώντας ένα ελάφι.

Ο κόλπος ορίζεται βόρεια από τις ακτές του νομού Αττικής, βορειοδυτικά και δυτικά από τις ακτές της Μεγαρίδας, του νομού Κορινθίας και νοτιοδυτικά από τις ακτές του νομού Αργολίδος. Οι άκρες του οριοθετούνται από τη νοητή γραμμή των ακρωτηρίων Σουνίου και Σκύλλαιο της Τροιζήνας. Στα βορειοδυτικά, ο Σαρωνικός επικοινωνεί μέσω της διώρυγας της Κορίνθου, η οποία ολοκληρώθηκε το 1893, με τον Κορινθιακό κόλπο. Αποτελεί το 10% της ηπειρωτικής υφαλοκρηπίδας της Ελλάδας (Hatzidakis, 1968; Schwartz and Tziavos, 1975). Φυσιογραφικά, ο κόλπος διαχωρίζεται σε ανατολικό και δυτικό από το ύβωμα με γενική κατεύθυνση Β-Ν, το οποίο περιλαμβάνει τη χερσόνησο των Μεθάνων και τα νησιά Σαλαμίνα, Αίγινα και Αγκίστρι.

*Χάρτης 2: Σαρωνικός Κόλπος*

## 2.2 Ιστορικά στοιχεία

Η περιοχή έχει αναφερθεί πολλές φορές σε έργα αρχαίων ελλήνων συγγραφέων και ποιητών. Ο Στράβωνας στο έργο του «Γεωγραφικά» (βιβλίο Η', παράγραφος 2.2) αναφέρεται στον Σαρωνικό κόλπο και χρησιμοποιεί και τις ονομασίες Σαλαμινιακός και Σαρωνικός πόρος (Στράβωνας 64π.Χ. – 24μ.Χ.). Παράλληλα αναφέρει τον Πειραιά, τον οποίο και περιγράφει ως νησί, γεγονός που επιβεβαιώθηκε από δείγματα πυρήνων που λήφθηκαν από την περιοχή (Goiran et al., 2011).

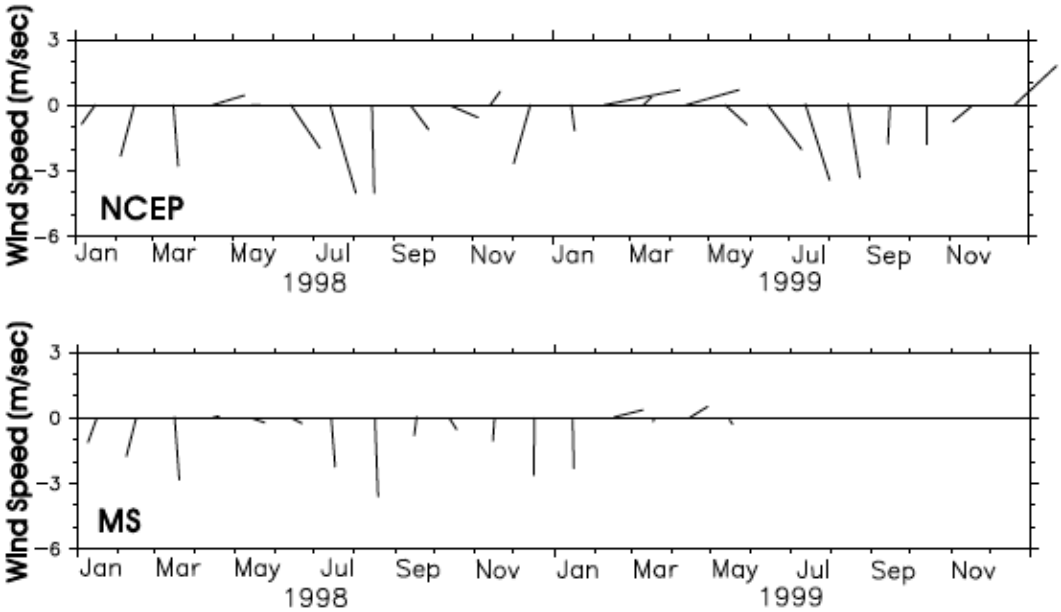
Ο Οβίδιος τον 8$^{ο}$ αι.μ.Χ. περιγράφει την έκρηξη του ηφαιστείου της χερσονήσου των Μεθάνων στις «Μεταμορφώσεις» (Ovidius (43B.C.-17A.D.)). Ο Στράβωνας υπήρξε αυτόπτης μάρτυρας μιας έκρηξης του ίδιου ηφαιστείου την οποία και περιέγραψε στα «Γεωγραφικά» (Βιβλίο Α, παράγραφος 3.18) στο οποίο αναφέρει το ύψος του ηφαιστειακού κώνου αλλά και την εξάπλωση πυροκλαστικών υλικών στη θάλασσα. Το 270-240π.Χ. έγινε η έκρηξη που διαμόρφωσε τα ιαματικά λουτρά στο βόρειο τμήμα των Μεθάνων και σχετίζεται με το υποθαλάσσιο ηφαίστειο Παυσανίας ΒΔ της χερσονήσου (Παυσανίας, 2$^{ος}$ αι μ.Χ.), την οποία κατέγραψε στο έργο του «Ελλάδος περιηγήσεις» (Βιβλίο

Κορινθιακά, παράγραφος 2.34) περίπου στα 150μ.Χ. όπου και επισκέφτηκε την περιοχή.

## Κεφάλαιο 3: Κλίμα και κυκλοφορία της περιοχής

Το κλίμα της ευρύτερης περιοχής του Σαρωνικού κόλπου μπορεί να χαρακτηριστεί ως Μεσογειακό.

Ο Σαρωνικός Κόλπος υπόκειται σε ισχυρό εποχιακό κύκλο θέρμανσης / ψύξης, με θερμοκρασίες αέρα που κυμαίνονται από ~ 0 ° έως~ 40 ° C. Οι κύριοι άνεμοι όλο το χρόνο πνέουν από τις βόρειες κατευθύνσεις (Σχήμα 3). Οι βόρειοι άνεμοι που ονομάζονται etesians ή meltemia επικρατούν σταθερά κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, ενώ το φθινόπωρο, το χειμώνα και την άνοιξη, εκτός από τους συχνούς βόρειους ανέμους, δυτικοί και νότιοι άνεμοι μπορεί επίσης να φυσήξουν. Δεν υπάρχουν σημαντικές εισροές ποταμού, εκτός από τις βαριές βροχοπτώσεις όταν το νερό τρέχει γρήγορα στη θάλασσα μέσα από δυο σημειακές πηγές στα βορειοανατολικά του κόλπου.




*Σχήμα 3: Τα διαγράμματα ραβδώσεων των μηνιαίων μέσων ανέμων στον Κόλπο Σαρωνικού (37,5 ° N, 23,75 ° E) κατά την περίοδο 1998-1999 που λήφθηκαν από στοιχεία ανασκόπησης των Εθνικών Κέντρων Περιβαλλοντικών Προβλέψεων (NCEP) [Kalnay et al., 1996] και από το National Meteorologic Service στο σταθμό MS που φαίνεται στο σχήμα 1 στους ~ 37,87 ° N, ~ 23,76 ° E (κάτω) (Kontoyiannis 2010).*

Οι μελέτες κυκλοφορίας του Σαρωνικού έχουν τόσο επιστημονική όσο και κοινωνική σημασία όσον αφορά τη διαχείριση της ρύπανσης και τον περιβαλλοντικό έλεγχο, δεδομένου ότι από το 1992 και μέχρι σήμερα (2009), η εξέλιξη της συγκέντρωσης διαλυμένου οξυγόνου στα βαθιά στρώματα της δυτικής υποζώνης πλησίασε σχεδόν ανοξικές συνθήκες, με συγκεντρώσεις <1 ml / L.

Οι πρώτες συστηματικές επιστημονικές έρευνες στον Κόλπο του Σαρωνικού άρχισαν στις αρχές της δεκαετίας του 1970 (Coachman et al., 1976) στο πλαίσιο του έργου Systems SARONIKOS (SSP), το οποίο βασικά αποτελούσε 21 υδρογραφικές έρευνες την περίοδο 1972-1976. Αυτές οι έρευνες χρησιμοποίησαν μέτρησεις με χρήση reversed θερμόμετρων και αλατότητας και η καθεμία κράτησε 5 έως 6 ημέρες κατά μέσο όρο. Συνεπώς, οι πρώτες μελέτες κυκλοφορίας του Σαρωνικού βασίστηκαν στην ομάδα δεδομένων SSP και χρησιμοποίησαν είτε τα μοντέλα διάχυσης των χαρακτηριστικών υδάτων (Hopkins, 1974,1975) είτε τη δυναμική μέθοδο, η οποία εφαρμόστηκε για όλες τις εποχές συμπεριλαμβανομένου του χειμώνα υπό συνθήκες ομογενοποίησης.

Αργότερα, το 1977, το 1983, το 1984 και το 1985 πραγματοποιήθηκαν βραχυπρόθεσμες υλοποιήσεις ενός ή δύο ταυτόχρονων σημειακών αγκυροβολίων σε συγκεκριμένα σημεία, κυρίως κοντά στην Ψιττάλεια (Παπαγεωργίου, 1979; Παπαγεωργίου και Μπαλοπούλου, 1984. Καρδαράς, 1984; Καλτσουνίδης και Λασκαράτος, 1989). Το μεγαλύτερο μέρος του δημοσιευμένου έργου έχει τη μορφή τεχνικών εκθέσεων στα ελληνικά.

Η κυκλοφορία του Σαρωνικού έχει μια ξεχωριστή δομή δύο επιπέδων την περίοδο από τα τέλη της άνοιξης έως το καλοκαίρι μέχρι τα τέλη του φθινοπώρου, ενώ κατά το υπόλοιπο του έτους (Δεκέμβριος-Μάρτιος) είναι βασικά βαροτροπική. Οι αντιθέσεις πυκνότητας μεταξύ των τοπικών μαζών νερού και των μαζών που προέρχονται από την ανοιχτή θάλασσα στο νότο σε συνδυασμό με τον τοπικό θερμοδυναμικό εξαναγκασμό, δηλαδή τη χειμωνιάτικη υποβάθμιση του κρύου νερού και τις διαφορετικές αντιδράσεις στην ατμοσφαιρική θέρμανση των ρηχών σε σχέση με τις βαθιές περιοχές του Κόλπου, συνδέονται με ισχυρές εποχιακές δομές ροής που τροποποιούνται έντονα από τους τοπικούς ανέμους. Αυτές οι τροποποιήσεις είναι πιο έντονες σε βάθη πάνω από το θερμοκλινές κατά την περίοδο στρωματοποίησης. Οι παρατηρήσεις στον Εσωτερικό Κόλπο δείχνουν ότι οι βόρειοι άνεμοι ωθούν τις γενικές εποχιακές ροές προς τα νότια και ευνοούν το σχηματισμό επαναλαμβανόμενων δομών μεταξύ των γενικών ροών και των ακτών της Αττικής προς τα βόρεια και βορειοανατολικά. Οι βορειοδυτικοί, δυτικοί και νότιοι άνεμοι ευνοούν την βόρεια διαδρομή των εποχιακών ροών στον Εσωτερικό Κόλπο και έτσι εμποδίζουν τον σχηματισμό επαναλαμβανόμενων δομών μεταξύ αυτών και των ακτών της Αττικής (Kontoyiannis 2010).

## Κεφάλαιο 4: Γεωλογία της περιοχής

Ο Σαρωνικός κόλπος, ο οποίος εντοπίζεται ανάμεσα στην ανατολική Πελοπόννησο και την Αττική, παρουσιάζει σε όλη του την έκταση μια πολύπλοκη και ενδιαφέρουσα μορφολογία. Η περιοχή μπορεί να διαχωριστεί στο ανατολικό και στο δυτικό τμήμα από μία πολύ ρηχή πλατφόρμα Β-Ν η οποία εν μέρει αναδύεται στα νησιά Μέθανα, Αγκίστρι, Σαλαμίνα και Αίγινα. Η ζώνη Βορρά – Νότου που διαχωρίζει τον δυτικό από τον ανατολικό Σαρωνικό, περιλαμβάνει ποικίλες ηφαιστειακές προεξοχές ηλικίας πλειο-τεταρτογενούς, όπου αποτελούν το βορειοδυτικό άκρο του σύγχρονου ηφαιστειακού τόξου (Papanikolaou et al.,1988).

Ο Δυτικός Σαρωνικός κόλπος περιλαμβάνει δύο λεκάνες, την λεκάνη της Επιδαύρου (κατεύθυνσης ΔΒΔ-ΑΝΑ) με βάθος μεγαλύτερο από τα 400 μέτρα και την λεκάνη των Μεγάρων (κατεύθυνσης Α-Δ) η οποία είναι σχετικά ρηχή με τα βάθη να μην ξεπερνούν τα 250 μέτρα.

Ο Ανατολικός Σαρωνικός κόλπος χαρακτηρίζεται από σχετικά ήπια μορφολογία με εναλλαγές επιμηκών λεκανών με κατεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ και ρηχά οροπέδια (Papanikolaou et al.,1988). Ρήγματα με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ ελέγχουν αυτές τις εναλλαγές οι οποίες διαμορφώνουν τον πυθμένα στο ανατολικό τμήμα του κόλπου το οποίο θεωρείται λιγότερο δυναμικό σε σχέση με το δυτικό τμήμα.

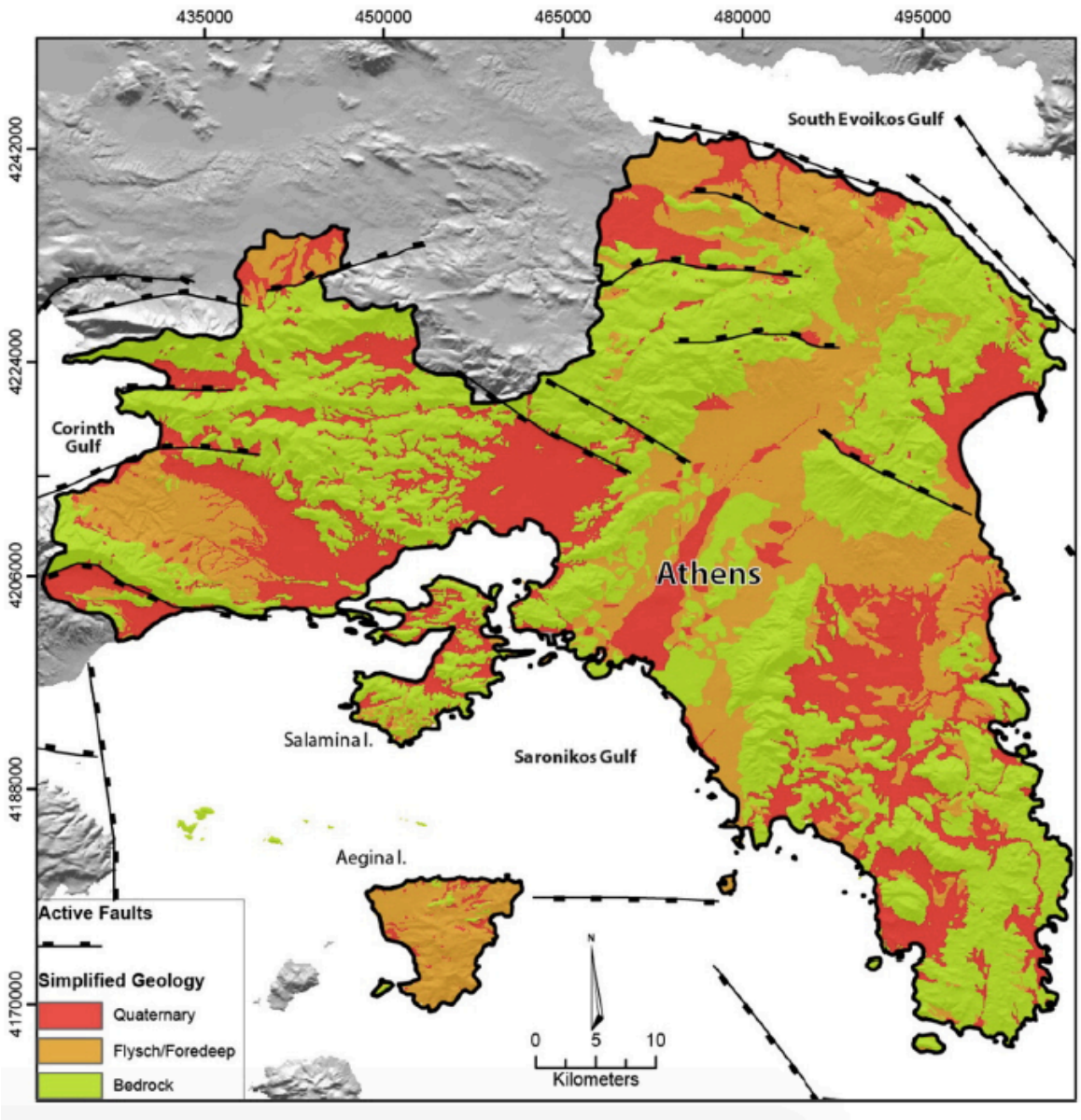
## Κεφάλαιο 4: Λιθολογία

Στο ανατολικό τμήμα του Σαρωνικού συναντώνται κυρίως μάρμαρα ή κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι ενώ υπάρχουν εκτεταμένες εμφανίσεις της σχιστοκερατολιθικής διάπλασης, Ιουρασικής ηλικίας (ΙΓΜΕ, 2007).

Στον κόλπο της Ελευσίνας συναντώνται Τριαδικοί – Ιουρασικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες αλλά και Άνω - Κρητιδικοί ασβεστόλιθοι. Αντίστοιχα στη Σαλαμίνα εντοπίζονται Τριαδικοί – Ιουρασικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες, Άνω – Κρητιδικοί ασβεστόλιθοι και φλυσχοειδή διαφόρων φάσεων, ενώ στο νότιο τμήμα της υπάρχουν εμφανίσεις προαλπικών φάσεων του Ανώτερου Παλαιοζωικού (ΙΓΜΕ, 1971a; ΙΓΜΕ, 1982, 1983,1984a, 1986).

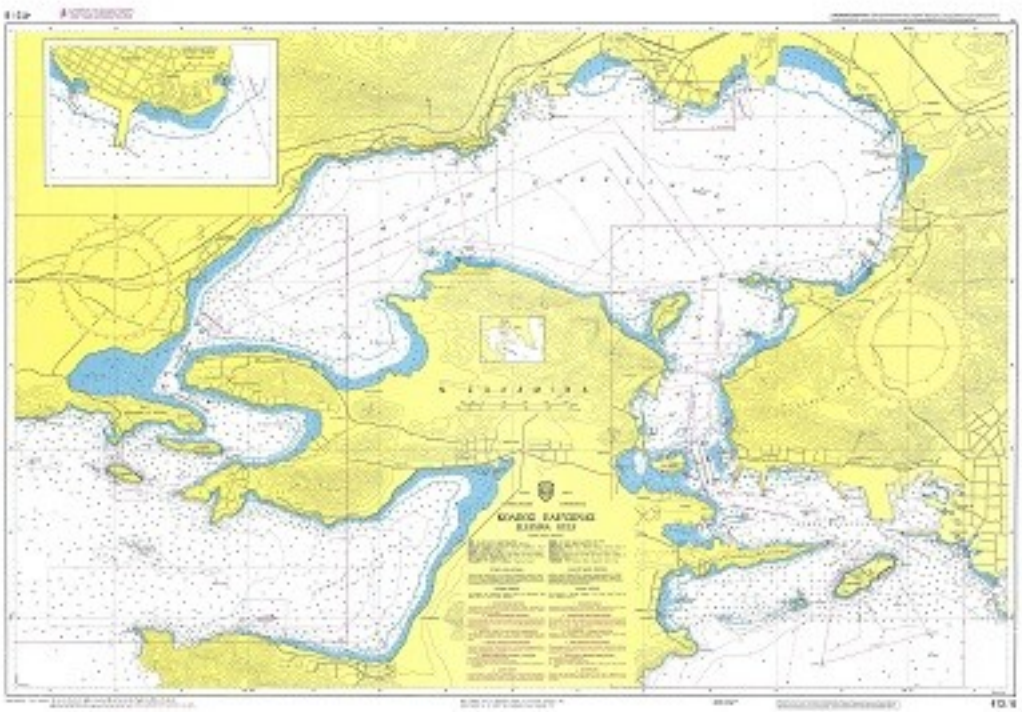
Στην Αίγινα εντοπίζονται μικρές εμφανίσεις Περμο- Τριαδικών και Ιουρασικών – Κρητιδικών ασβεστολίθων ενώ στην Καμάρα εμφανίζονται Άνω Κρητιδικοί ασβεστόλιθοι (Dietrich et al., 1993). Στα υπόλοιπα,μικρότερα νησιά του Σαρωνικού, επικρατούν οι Άνω Κρητιδικοί ασβεστόλιθοι (ΙΓΜΕ 1983).

Το βόρειο και βορειοανατολικό τμήμα του Σαρωνικού κόλπου, Ελευσίνα – Κόρινθος, καλύπτεται από εκτεταμένους Άνω Καινοζωικούς σχηματισμούς που σχετίζονται με τις Νεογενείς λεκάνες των Μεγάρων και της Κορίνθου. Οι τεκτονικές αυτές λεκάνες αυτές έχουν διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ και σχετίζονται με τις εφελκυστικές τάσεις διεύθυνσης Β-Ν που ξεκίνησαν στο Ανώτερο Μειόκαινο – Κατώτερο Πλειόκαινο και συνδέονται άμεσα με τη διάνοιξη και επέκταση του Κορινθιακού κόλπου (Ori, 1989; Collier, 1990; Collier and Dart, 1991; Leeder et al., 2008; Foutrakis 2016).




*Χάρτης 3: Απλουστευμένος γεωλογικός χάρτης της περιοχής της Αττικής, βασισμένος στους γεωλογικούς χάρτες κλίμακας 1:50.000 του ΙΓΜΕ και του γεωτεχνικού χάρτη της Αθήνας κλίμακας 1:25.000 του Οργανισμού Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (Marinos et al., 1999a).*

## 4.1 Μορφολογία και βαθυμετρία του Σαρωνικού



*Χάρτης 4: Υδρογραφικός Χάρτης του Κόλπου Ελευσίνας (Υδρογραφική Υπηρεσία, 1997)*

Ο κόλπος της Ελευσίνας αποτελεί εσωτερικό κόλπο και εντοπίζεται στο βόρειο τμήμα του Σαρωνικού κόλπου. Είναι μια ημίκλειστη θαλάσσια λεκάνη που απλώνεται κατά διεύθυνση Α - Δ, σε μήκος περίπου 12 μιλίων, όπου και ορίζεται από τις νότιες ακτές της Αττικής και συγκεκριμένα από τον όρμο Σκαραμαγκά, (ανατολικά), μέχρι το Μεγάλο Πεύκο, (δυτικά), και από τις βόρειες ακτές της Σαλαμίνας (νότια) και είναι αποτέλεσμα νεοτεκτονικών διεργασιών που οδήγησαν σε διάσπαση την ευρύτερη περιοχή. Δύο βασικά ρηξιγενή συστήματα κυριαρχούν στην περιοχή, το σύστημα ΔΒΔ-ΑΝΑ και το ΝΔ-ΒΑ (Lekkas, 2001). Στην περιοχή βρίσκεται μια μικρή λεκάνη απορροής η οποία κυρίως εκτείνεται προς το βόρειο τμήμα του κόλπου.

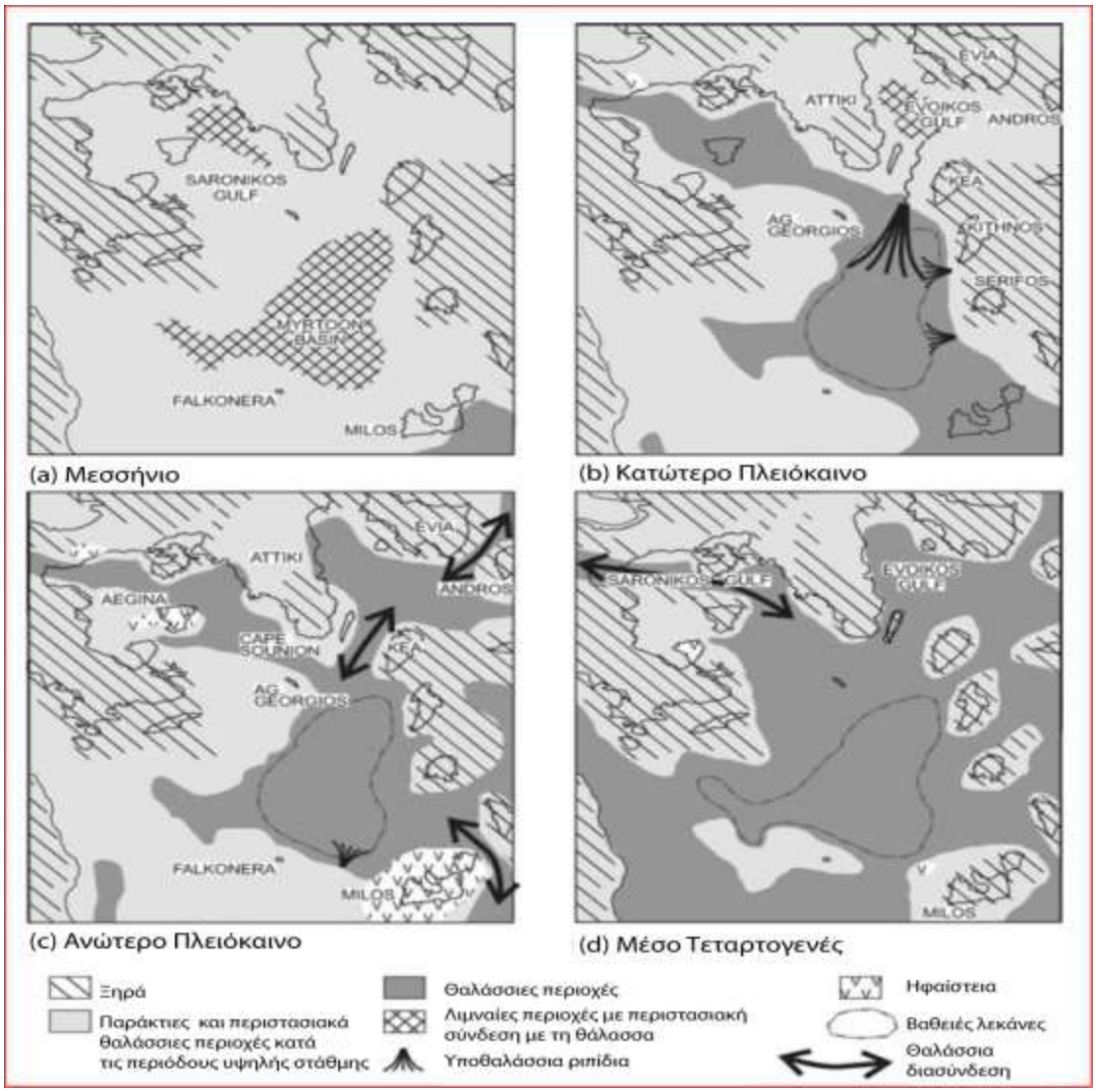
Το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής είναι εποχικής ροής και καταλήγει στον κόλπο της Ελευσίνας το οποίο συμβάλει και στη τροφοδοσία του κόλπου με ιζήματα (Petropoulos et al., 2013). Όσον αφορά τη βαθυμετρία του κόλπου, στο ανατολικό του τμήμα υπάρχουν περιοχές με βάθη 10-25 μέτρα ενώ στο δυτικό του τμήμα τα βάθη ξεπερνούν τα 30 μέτρα. Το συστηματικό προφίλ του πυθμένα δείχνει το πάχος του Ολοκαινικού ιζήματος να καλύπτει 3-5 μέτρα το ανατολικό τμήμα και 10-15μέτρα το δυτικό (Petropoulos et al., 2013).

# Κεφάλαιο 5: Παλαιογεωγραφική εξέλιξη και εκτίμηση ακτογραμμής κατά το Ολόκαινο.

Ο Σαρωνικός Κόλπος αποτελεί μια νεοτεκτονική λεκάνη που εξελίχθηκε τα τελευταία 4-5 εκατομμύρια χρόνια (Fytikas et al., 1988; Papanikolaou et al., 1988) όπως αποδεικνύεται και από τους Άνω Μειοκαινικούς, Πλειοκαινικούς και Πλειστοκαινικούς θαλάσσιους σχηματισμούς που έχουν χαρτογραφηθεί περιμετρικά του κόλπου (Χαραλαμπάκης, 1952; Χριστοδούλου, 1961; Georgiades-Dikeoulia and Dermitzakis, 1983; Bentham et al., 1991; Collier and Dart, 1991; Rögl et al., 1991; Leeder et al., 2008; Papanikolaou et al., 2015).

Αρχικά, στην περίοδο του Ανώτερου Μειοκαίνου (Μεσσηνίο) - Πλειοκαίνου ο Σαρωνικός κόλπος ήταν μια παράκτια περιοχή με χαμηλό ανάγλυφο και με περιορισμένης έκτασης λιμναίες περιοχές ΒΑ της Αίγινας. Κατά τις επικλήσεις, το περιβάλλον της ευρύτερης περιοχής άλλαζε σε θαλάσσιο όπως φαίνεται από τις θαλάσσιες φάσεις που έχουν καταγραφεί στη ξηρά (Foutrakis 2016). Στην ανατολική πλευρά του Σαρωνικού κόλπου οι αποθέσεις μεταξύ του Αγ. Γεωργίου και της Αργολικής χερσονήσου είναι χερσαίες έως θαλάσσιες μικρού βάθους που καλύφθηκαν με θαλάσσια ιζήματα στη βάση του Τεταρτογενούς. Βορειότερα της νοητής γραμμής Μεθάνων - Αγίου Γεωργίου το περιβάλλον είναι θαλάσσιο με το βαθύτερο σημείο να τοποθετείται μεταξύ της νησίδας Άγιος Γεώργιος και των ακτών της Αττικής. Το βαθύτερο αυτό τμήμα λειτούργησε σαν δίαυλος επικοινωνίας του Σαρωνικού με το βόρειο Μυρτώο πέλαγος (Foutrakis 2016).

Κατά το Πλειόκαινο φαίνεται να υπάρχει επικοινωνία μεταξύ του Κορινθιακού και του Σαρωνικού κόλπου μέσω της λεκάνης των Μεγάρων και της λεκάνης της Κορίνθου (Leeder et al., 2008). Η σύνδεση αυτή του Σαρωνικού και του Κορινθιακού κοβόταν κατά τις περιόδους της πτώσης της θαλάσσιας στάθμης (Roberts et al., 2009), μέχρι να διακοπεί τεκτονικά στο θαλάσσιο ισοτοπικό στάδιο 5 (Piper et al., 1990). Κατά το θαλάσσιο ισοτοπικό στάδιο 2 ο δυτικός Σαρωνικός (λεκάνη των Μεγάρων και λεκάνη της Επιδαύρου) είχε αποκλεισθεί από την ανοιχτή θάλασσα σχηματίζοντας μια παλαιολίμνη η στάθμη της οποίας τοποθετείται 100 μέτρα περίπου χαμηλότερα από τη σημερινή στάθμη της θάλασσας και η επικοινωνία με τον ανατολικό Σαρωνικό αποκαταστάθηκε σταδιακά πριν από 14 -15 χιλιάδες χρόνια (Lykousis et al., 1992).




*Σχήμα 4: Παλαιογραφική απεικόνιση του Σαρωνικού Κόλπου (Anastasakis et al., 2006)*

Το Πλειστόκαινο το οποίο άρχισε στα 1,8 εκατ. Χρόνια πριν από σήμερα είναι γνωστό ως η εποχή των Παγετώνων καθώς εκείνη την περίοδο επικρατούσαν αρκετά χαμηλές θερμοκρασίες σε σύγκριση με τις γεωλογικές περιόδους που προηγήθηκαν (Pavlopoulos, 2011). Έχουν αναγνωριστεί 17 εναλλαγές ψυχρών και θερμών κλιματικών φάσεων κατά την περίοδο αυτή (Shackleton and Opdyke, 1976). Οι παγετώδεις περίοδοι είχαν διάρκεια περίπου 100.000 χρόνια ενώ οι μεσοπαγετώδεις διαρκούσαν περίπου 10.000 χρόνια, με την τελευταία παγετώδη περίοδο να ολοκληρώθηκε στα 11.500 χρόνια πριν από σήμερα (Pavlopoulos, 2011). Κατά τη διάρκεια των μεσοπαγετωδών περιόδων οι πάγοι έλιωναν και ανέβαινε η θαλάσσια στάθμη ενώ στις παγετώδεις περιόδους λάμβανε χώρα η αντίστροφη διαδικασία. Στις παγετώδεις και μεσοπαγετώδεις περιόδους υπήρχαν και ενδιάμεσα στάδια θερμά αλλά και ψυχρά με διάρκεια περίου 1000 – 2500 χρόνια. Από τις μικρές αυτές εναλλαγές προκαλούνταν ευστατικές αλλαγές στη θαλάσσια στάθμη (Pavlopoulos, 2011).

Οι εναλλαγές στις κλιματικές συνθήκες του πλανήτη κατά τα τελευταία 700.000 χρόνια είναι ευρέως αποδεκτό ότι οφείλονται κυρίως στις μικρές εναλλαγές της τροχιάς της Γης γύρω από τον Ήλιο που προκύπτει από την εκκεντρότητα, την απόκλιση του άξονα της Γης και τη μετάπτωση του άξονα περιστροφής, του οποίου ο προσανατολισμός αλλάζει κάθε 21.000 χρόνια. Η τήξη των πάγων διακόπηκε από την περίοδο της Younger Dryas (11ka-13ka πριν από σήμερα) και χαρακτηρίστηκε από ψύχρανση του κλίματος και ανάπτυξη των πάγων. Αυτή η περίοδος καταλαμβάνει μέρος του Πλειστόκαινου γι' αυτό το Ολόκαινο αρχίζει στα 11.500 – 10.000 έτη πριν από σήμερα (Pavlopoulos, 2011).

Μετά το τέλος της τελευταίας παγετώδους περιόδου, οι κλιματικές μεταβολές που συνέβησαν και που συνδέονται με την αύξηση της θερμοκρασίας είχαν ως αποτέλεσμα την τήξη τεράστιων όγκων παγετώνων που είχαν αποτεθεί στην ξηρά. Η τήξη των παγετώνων είχε ως επακόλουθο την άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Η στάθμη της θάλασσας καθορίζεται από το μέσο επίπεδο του εύρους της παλίρροιας, η οποία είναι αποτέλεσμα της βαρυτικής αλληλεπίδρασης του συστήματος Γη-Ήλιος-Σελήνη. Επιπρόσθετα, η θαλάσσια στάθμη μεταβάλλεται προσωρινά ωστόσο και από μετεωρολογικά και υδρολογικά αίτια, όπως είναι οι εκφορτίσεις ποταμών και οι καταιγίδες.

Ο ευστατισμός αναφέρεται στις παγκόσμιες και μακροχρόνιες μεταβολές του επιπέδου της στάθμης, με την άνοδό του να ονομάζεται επίκλυση και την πτώση του, απόσυρση. Οι βασικότερες αιτίες του ευστατισμού είναι η μεταβολή του όγκου των ωκεάνιων υδάτων, κυρίως λόγω της μεταβολής του όγκου των παγετώνων, και η μεταβολή του μεγέθους των ωκεάνιων λεκανών κυρίως μέσα από την ισοστατική τροποποίηση της λιθόσφαιρας ως αντίδραση στην μεταβολή του όγκου των παγετώνων και μέσα από βραδείς γεωδυναμικές διεργασίες (πχ. ορογένεση) ή και από την συσσώρευση ιζήματος.

Κατά τη διάρκεια της τήξης των πάγων, η ισοστατική παραμόρφωση συντελεί στην ανύψωση της ξηράς που αποφορτίζεται από το επιφανειακό φορτίο των πάγων ενώ το νερό της τήξης επιφορτίζει τις λεκάνες των ωκεανών. Λόγω της ιξώδους φύσης του εσωτερικού της Γης, η ισοστατική παραμόρφωση συνεχίζεται και για μερικά χιλιάδες χρόνια μετά το λιώσιμο των πάγων (Clark et al., 1978).

Η παγκόσμια μέση στάθμη της θάλασσας έχει υποστεί δραματικές μεταβολές μέσα στο γεωλογικό χρόνο, καθώς καθορίστηκε σημαντικά από την ανακατανομή των ηπείρων και των ωκεανών μέσα από ορογενετικές διαδικασίες

αλλα και μέσα από κλιματικές μεταβολές. Στην τελευταία γεωλογική περίοδο του Τεταρτογενούς (Ice Age) με τις εναλλαγές των σχετικά σύντομων μεσοπαγετώδων και παρατεταμένων παγετώδων περιόδων, η στάθμη της θάλασσας πέφτει σε επίπεδα χαμηλότερα από τα σημερινά με εξαίρεση να αποτελούν οι θερμές μεσοπαγετώδεις περίοδοι στις οποίες τα επίπεδα της θαλάσσιας στάθμης πλησιάζουν τα σημερινά.

Από την τελευταία παγετώδη περίοδο στα περίπου 21ka μέχρι και την μέγιστή στάθμη της Ολοκαινικής θερμής περιόδου στα 2-3ka, η παγκόσμια μέση στάθμη της θάλασσας εκτιμάται ότι έχει ανέλθει στα 120 μέτρα (Shackleton, 2000; Waelbroeck et al. 2002; Siddall et al., 2003). Ο ρυθμός αύξησης της στάθμης κατά την τήξη των πάγων, από τα 14 έως τα 7 ka, εκτιμάται σε μια μέση τιμή των 11 mm/y (Bard et al., 1996). Από τα 6ka μέχρι τα 2-3 ka η άνοδος της στάθμης έπεσε σε μια μέση τιμή 1 mm/y (Lambeck 1995), ενώ από τα 2–3 χιλιάδες χρόνια πριν μέχρι τον 19ο αιώνα η στάθμη παρουσίασε μικρές μεταβολές.

Με την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης επήλθαν αλλαγές στο φυσικό περιβάλλον, με βασική αλλαγή τη διαμόρφωση των ακτογραμμών και των παράκτιων περιοχών, όπου άλλες περιοχές βυθίστηκαν σταδιακά κάτω από το νερό ενώ άλλες μετέπεσαν σε λίμνες. Ωστόσο, θα πρέπει να αναφερθεί ότι η μεταβολή της στάθμης της θάλασσας αποτελεί μια ιδιαίτερα σύνθετη διαδικασία στην οποία δεν συμβάλλει μόνο η θερμοκρασιακή μεταβολή αλλά ταυτόχρονα συμβάλουν οι ισοστατικές κινήσεις αλλά και το τεκτονικό προφίλ της κάθε περιοχής. Οι ισοστατικές κινήσεις παραμένουν σημαντικοί παράγοντες ακόμη και σε περιοχές που δεν καλύπτονται από παγετώνες όπως στην περίπτωση της λεκάνης της Μεσογείου. Παράλληλα, ο τεκτονισμός, είναι πολύ σημαντικό στοιχείο σε περιοχές που είναι τεκτονικά ενεργές. Οι αλλαγές που οφείλονται σε τεκτονικές διεργασίες τείνουν να είναι λιγότερο προβλέψιμες, μικρότερου χρονικού μήκους κύματος και περισσότερο επεισοδιακές από εκείνες που οφείλονται στις αλλαγές της παγετωνικής κάλυψης (Lambeck and Purcell, 2005).

Η μελέτη της μεταβολής της θαλάσσιας στάθμης στις περιοχές τις Μεσογείου ευνοείται τόσο από το μικρό εύρος παλίρροιας, όπου καθιστά τις ενόργανες μετρήσεις περίπου αντίστοιχες με την μέση τιμή της στάθμης, όσο και με το πλήθος των γεωλογικών αλλά και των αρχαιολογικών δεδομένων που βοηθούν στη μελέτη της θαλάσσιας στάθμης παλαιότερων χρόνων. Από την αρχή του Ολοκαίνου στα 11,5ka μέχρι και τα 6ka BP, η στάθμη της θάλασσας χαρακτηρίζεται από μια ανοδική πορεία που οφείλεται σε παγετωνοευστατικούς παράγοντες (Lambeck, 1995; Lambeck and Bard, 2000). Ωστόσο, τα τελευταία 5000

και 3000 χρόνια η μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης ακολουθεί μια σχεδόν οριζόντια με μικρή ανοδική κλίση καμπύλη και εξηγείται από την ανακατανομή του θαλάσσιου νερού ενώ το λιώσιμο των πάγων συμβάλει ελάχιστα στην άνοδο αυτή, χωρίς όμως η στάθμη της θάλασσας των τελευταίων 6000 χρόνων να έχει ξεπεράσει τη σημερινή.

Πρίν από 18 έως και 21 χιλιάδες χρόνια (τελευταία παγετώδης περίοδος), η στάθμη της θάλασσας όπως καταγράφεται στη Μεσόγειο ήταν μεταξύ 120 και 105 μέτρων χαμηλότερα από τη σημερινή (Pirazzoli and Pluet, 1991; Lambeck and Bard, 2000).

Στην περιοχή του Σαρωνικού κόλπου, λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, πριν από 18.000 χρόνια η στάθμη της θάλασσας βρισκόταν στα 125 μέτρα χαμηλότερα σε σχέση με τη σημερινή. Κατά τη διάρκεια του Ολοκαίνου (11,5ka-σήμερα) η στάθμη της θάλασσας άρχισε σταδιακά να ανεβαίνει. Κατά τον Lambeck (1995), η άνοδος της στάθμης της θάλασσας σε όλη την Ελλάδα οφείλεται κυρίως σε ισοστατικά φαινόμενα που είναι αποτελέσματα της τήξης των παγετώνων και όχι από μακροχρόνιες τεκτονικές διεργασίες. Αναλύοντας τα δεδομένα του Lambeck και εξετάζοντας την καμπύλη μεταβολής που προκύπτει από την επεξεργασία τους, μέσα από την χρήση τεχνικών gis, δημιουργήθηκαν χάρτες που απεικονίζουν την εκτιμώμενη στάθμη της θάλασσας κατά περιόδους στο Ολόκαινο καθώς και τις περιοχές οι οποίες ήταν τότε στην επιφάνεια και αποτελούσαν τμήμα της χέρσου. Από τους χάρτες που προέκυψαν, μπορούν να βγουν ορισμένα συμπεράσματα για την εξέλιξη της περιοχής και την μεταβολή της μέσης στάθμης της θάλασσας κατά την περίοδο του Ολοκαίνου στον Σαρωνικό.

Στα 11,5ka η στάθμη της θάλασσας βρίσκεται στα 63 μέτρα χαμηλότερα σε σχέση με τη σημερινή. Σύμφωνα με τον χάρτη 4 που απεικονίζει την ακτογραμμή εκείνης της περιόδου και τις περιοχές που ήταν τμήμα της χέρσου, παρατηρούμε ότι η Σαλαμίνα ήταν ενωμένη με την Αττική ενώ η Αίγινα μαζί με το Αγκίστρι και τα μικρότερα νησιά Σταχτορροή, Υψηλή, Λαγούσα, Λαγουσάκι αποτελούσαν ένα ενιαίο νησί, την «παλαιοαίγινα». Ταυτόχρονα, η Ελευσίνα αποτελεί μια κλειστή υδρολογική λεκάνη.

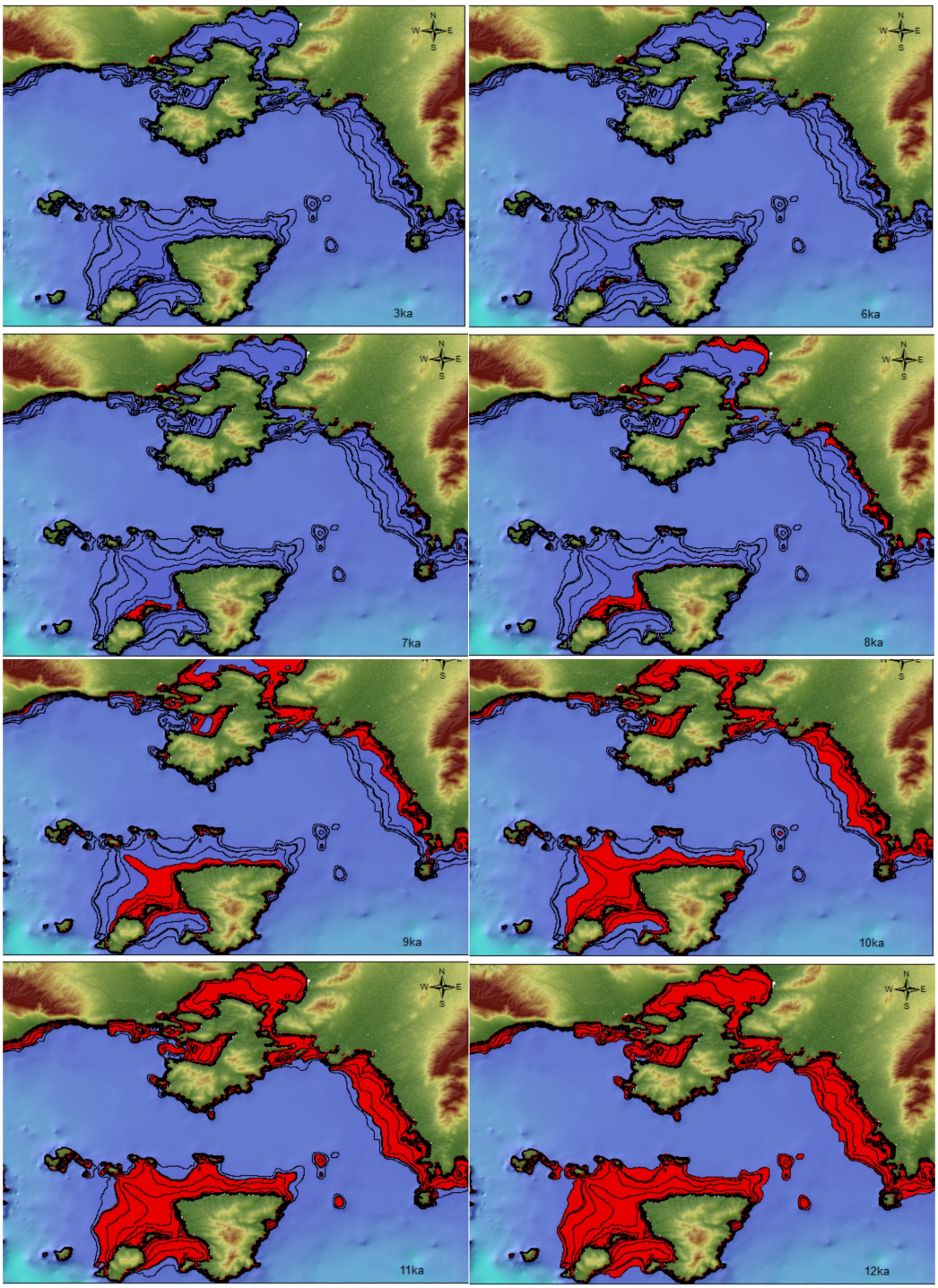
Στα 11ka (χαρτης 4) η εικόνα που υπήρξε στα 12ka δεν έχει υποστεί σημαντικές μεταβολές, μέχρι και τα 10ka στα οποία η στάθμη της θάλασσας έχει φτάσει στα 46 μέτρα σε σχέση με τη σημερινή. Την περίοδο εκείνη, όπως φαίνεται και στο χάρτη 4, πολλά τμήματα της παλαιοαίγινας έχουν βυθιστεί, ενώ πλέον οι

Λαγούσες και η Υψηλή έχουν αποκοπεί και αποτελούν ξεχωριστά νησιά. Η Σαλαμίνα εξακολουθεί να αποτελεί τμήμα της Αττικής.

Στα 9ka η Σαλαμίνα είναι ενωμένη με την Αττική μέσα από στενούς Ισθμούς, ενώ έχει σχηματιστεί και η παλαιολίμνη στην περιοχή της Ελευσίνας η οποία έχει ονομαστεί κατά τους Μαριολάκος και Θεωχάρης (2001) Κυχρεία Λίμνη. Τα μικρότερα νησιά στα ανατολικά της Αίγινας έχουν πλέον αποκολληθεί πλήρως από αυτή, ωστόσο το Αγκίστρι παραμένει ενωμένο, όπως φαίνεται στον χάρτη 4. Η στάθμη της θάλασσας κατά τα 9ka είναι στα 29 μέτρα χαμηλότερα από σήμερα.

Στα 8ka πριν από σήμερα η στάθμη της θάλασσας βρίσκεται στα 17 μέτρα χαμηλότερα από τη σημερινή στάθμη, με την παλαιολίμνη στην περιοχή της Ελευσίνας να έχει μεγαλύτερη έκταση, τη Σαλαμίνα να ενώνεται με την Αττική μέσω στενών Ισθμών και το Αγκίστρι να είναι ενωμένο με την Αίγινα με μια στενή λωρίδα ξηράς (χάρτης 4).

Μετά τα 7ka η εικόνα της περιοχής δεν διαφέρει πολύ από τη σημερινή (χάρτης 4). Η στάθμη της θάλασσας φτάνει στα 9 μέτρα χαμηλότερα από τη σημερινή, με το Αγκίστρι και την Αίγινα να διαχωρίζονται και την Ελευσίνα να αποκτά την εικόνα που έχει και σήμερα. Από τα 5ka και μετά σταμάτησε να λειτουργεί ο ισθμός της περιοχής Παλουκιών-Περάματος και για 1000 χρόνια ακόμα η Ελευσίνα λειτουργούσε ως κλειστός κόλπος από τη μία του έξοδο καθώς στην περιοχή της χερσονήσου της Φανερωμένης δεν υπήρχε επαφή με τη θάλασσα μέχρι τα 4ka όπου αποκαταστάθηκε. Μετά τα 3ka στα οποία η στάθμη της θάλασσας ήταν στα 2μέτρα χαμηλότερα (χάρτης 4), η άνοδος της θαλάσσιας στάθμης συνεχίστηκε μέχρι που η περιοχή έφτασε στη σημερινή της κατάσταση και ο κόλπος της Ελευσίνας έχει μέγιστα βάθη περίπου στα 30 μέτρα.




*Χάρτης 5: Εκτίμηση προέλασης ακτογραμμής κατά το Ολόκαινο. Με κόκκινο χρώμα αναπαριστάται η εκτιμώμενη προέλαση της ξηράς*

# Κεφάλαιο 6: Περιβαλλοντικό καθεστώς του Σαρωνικού κόλπου

## 6.1 Περιβαλλοντικά στοιχεία

Ο Σαρωνικός κόλπος ήδη από τα αρχαία χρόνια υπήρξε σημαντικός πόλος της ανθρώπινης δραστηριότητας με κυριότερα κέντρα τον κόλπο της Ελευσίνας και το λιμάνι του Πειραιά. Αποτελώντας έναν κλειστό κόλπο με ιδιαίτερα σημαντική θέση, καθώς βρίσκεται κοντά στην περιοχή της Αθήνας, ο Σαρωνικός περιλαμβάνει τις βιομηχανικές ζώνες τις Ελευσίνας και το λιμάνι του Πειραιά.

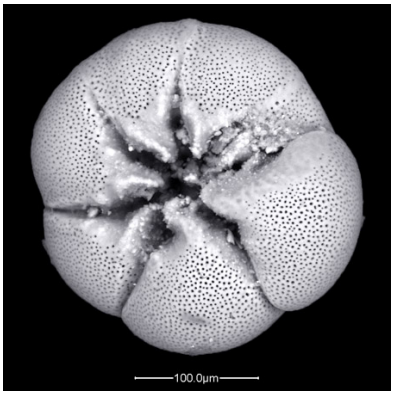
Στα βόρεια παράλια του Κόλπου της Ελευσίνας είναι εγκατεστημένη η μεγαλύτερη βιομηχανική ζώνη της Ελλάδας που περιλαμβάνει ναυπηγεία, διυλιστήρια, τσιμεντοβιομηχανίες, σιδηροβιομηχανίες κ.ά.. Η βιομηχανική ανάπτυξη της περιοχής είχε ήδη ξεκινήσει από τη δεκαετία του 1880 όπου ιδρύθηκε το Σαπωνοποιείο Χαριλάου (1875), η βιομηχανία τσιμέντου Titan (1902) και τα οινοπνευματοποιεία Βότρυς (1906) και Κρόνος (1922).

Ο Πειραιάς είναι σημαντικό βιομηχανικό και εμπορικό κέντρο της χώρας, ενώ διαθέτει το μεγαλύτερο σε επιβατική κίνηση λιμάνι της Ευρώπης, συνδέοντας ακτοπλοϊκά την πρωτεύουσα με τα νησιά του Αιγαίου και αποτελεί ένα σημαντικό προορισμό για κρουαζιερόπλοια εντός της Μεσογείου.

Λόγω της ύπαρξης των βιομηχανικών αυτών ζωνών και των ακτοπλοϊκών δραστηριοτήτων στην περιοχή του, η περιβαλλοντική υγεία του Σαρωνικού ολοένα και υποβαθμίζεται (Dimiza, et al., 2016). Κύριος παράγων της υποβάθμισης αυτής αποτελούν τα λύματα που παράγουν οι βιομηχανίες αλλά και τα αστικά λύματα των κοντινών περιοχών, τα οποία απελευθερώνονται στην περιοχή. Τα οικιακά και βιομηχανικά απόβλητα απελευθερώνονταν, χωρίς να υποστούν την κατάλληλη επεξεργασία, στα νερά του κόλπου μέχρι και τις αρχές της δεκαετίας του 1990, όπου και κατασκευάστηκε το κέντρο επεξεργασίας λυμάτων στο νησί Ψιττάλεια. Πλέον, η επεξεργασία των λυμάτων αυτών μειώνει τα αιωρούμενα στερεά και το οργανικό φορτίο κατά περίπου 93% και το συνολικό άζωτο (N) κατά περίπου 80% σε σύγκριση με τα εισερχόμενα φορτία (Simboura et al., 2014).

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία για την αξιολόγηση και περιγραφή των περιβαλλοντικών συνθηκών της περιοχής, συλλέχθηκαν και μελετήθηκαν βενθονικά τρηματοφόρα από πολλαπλούς δειγματοληπτικούς σταθμούς, καθώς αποτελούν σημαντικούς οργανισμούς για την αναπαράσταση του περιβαλλοντικού υπόβαθρου ενός θαλάσσιου οικοσυστήματος.

## 6.2 Τα τρηματοφόρα στα παράκτια περιβάλλοντα



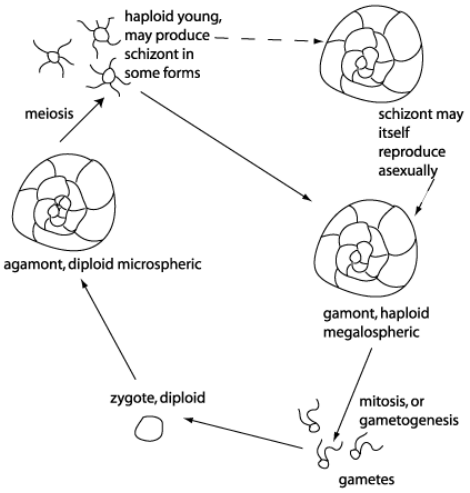

*Εικόνα 2: Ammonia Tepida*

Τα βενθονικά τρηματοφόρα είναι μονοκύτταροι, ευκαρυωτικοί μικροοργανισμοί με κέλυφος, οι οποίοι παρουσιάζουν ποικιλομορφία και συναντώνται σε μεγάλα πλήθη στα θαλάσσια περιβάλλοντα ή σε υφάλμυρα νερά. Τα τρηματοφόρα αντιδρούν άμεσα σε ερεθίσματα από το περιβάλλον τους (Goldstein, 2000) και ο χρόνος ζωής τους που διαρκεί από βδομάδες έως και μήνες κάνει τον πληθυσμό τους δείκτη ευαισθησίας των περιβαλλοντικών διακυμάνσεων (Murray, 2006), όταν συγκρίνονται με τη βενθονική πανίδα. Είναι θαλάσσιοι παραγωγοί ιζήματος και αποτελούν σημαντικούς οργανισμούς για την αναπαράσταση του περιβαλλοντικού υπόβαθρου ενός θαλάσσιου οικοσυστήματος. Στην πραγματικότητα είναι παμφάγοι μικροοργανισμοί και κατέχουν ιδιαίτερα σημαντική θέση στην τροφική αλυσίδα.

Τα τρηματοφόρα έχουν τη δυνατότητα να προσαρμοστούν σε κάθε θαλάσσιο οικοσύστημα, από τα πιο ρηχά ύδατα έως και ορισμένα από τα βαθύτερα μέρη των ωκεανών ακόμα και στα πιο ακραία ενδιαιτήματα (Dieckman et al., 1991; Lipps and Langer, 1999; Jonasson et al., 1995) και βρίσκονται σε σχετικά μεγάλη αφθονία με συνήθως περισσότερα από 1000 άτομα/cc (Κουκουσιούρα, 2012). Η μελέτη των τρηματοφόρων δίνει τη δυνατότητα

χαρακτηρισμού και μελέτης των περισσότερων υδάτινων περιβαλλόντων που βρίσκονται στα παράκτια όρια των θαλάσσιων συστημάτων (Scott et al., 2004).

Οι οργανισμοί αυτοί κατασκευάζουν κέλυφος, το οποίο όταν το ζώο πεθαίνει παραμένει στο ίζημα ως απολίθωμα (Scott et al., 2004). Τα κελύφη των τρηματοφόρων κατασκευάζονται από υλικά διαφόρων ειδών (Loeblich and Tappan, 1964) με τη φύση τους να είναι κυρίως ασβεστολιθική ή συμφυρματοπαγής. Το γεγονός αυτό αποτελεί και τη βάση για τη διάκριση και τη συστηματική τους ταξινόμηση. Λαμβάνοντας υπόψη την εξωτερική τους μορφολογία, γίνεται η υποδιαίρεσή τους. Γενικότερα, ο τύπος του κελύφους του τρηματοφόρου καθορίζει το περιβάλλον στο οποίο μπορεί να επιβιώσει το κάθε είδος και αντίστοιχα να παραμείνει ως απολίθωμα. Συγκεκριμένα, εκείνα που κατασκευάζουν ασβεστολιθικά κελύφη, εξαρτώνται από το αν τα περιβάλλοντα είναι κατάλληλα για τη διατήρησή τους , ενώ εκείνα που κατασκευάζουν συμφυρματοπαγή (αν και θεωρούνται πλέον πρωτόγονα) μπορούν να επιβιώσουν σε περιοχές με μηδενική παροχή ανθρακικών όπως σε περιοχές που η καθίζηση του ανθρακικού ασβεστίου είναι δύσκολη ή αδύνατη (πχ λόγω χαμηλών θερμοκρασιών των υδάτων ή χαμηλής αλατότητας). Όσο η θερμοκρασία του ύδατος και η αλμυρότητα αυξάνονται, τα είδη με συμφυρματοπαγή κελύφη αντικαθίστανται από εκείνα που έχουν ασβεστολιθικά , εκτός περιπτώσεων που το pH μειώνεται είτε λόγω της χαμηλής οξυγόνωσης είτε της υψηλής συγκέντρωσης οργανικών υλικών. Τέτοιες ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες απαντώνται συχνά σε ρυπασμένα παράκτια




*Εικόνα 3: Γενικός κύκλος ζωής των βενθονικών τρηματοφόρων (Goldstein, 1999)*

περιβάλλοντα(π.χ., Schafer et al., 1975; Vilks et al., 1975; Sen Gupta et al., 1996; Bernhard et al., 1997).

Ο βασικός κύκλος ζωής των τρηματοφόρων διακρίνεται από μια ετεροφασική εναλλαγή εγγενών και αγενών πολλαπλασιασμών και έχει δευτερογενώς προσαρτηθεί σε ορισμένες ομάδες τρηματοφόρων. Σήμερα είναι γνωστός ο κύκλος ζωής για μόλις 30 από τα 10.000 είδη των σύγχρονων υπαρχόντων τρηματοφόρων.

## 6.3 Περιγραφή περιβαλλοντικών συνθηκών στον Σαρωνικό κόλπο

Ένα πλήθος επιστημονικών εργασιών έχουν παρακολουθήσει την εξέλιξη της βενθονικής πανίδας στον Σαρωνικό κόλπο τις τελευταίες δεκαετίες (π.χ. Sheppard, 1977; Zarkanellas, 1979; Voutsinou-Taliadouri and Satsmadjis, 1982; Simboura et al.,1995, 2005).

Για την παρούσα πτυχιακή εργασία, συλλέχθηκαν συνολικά 13 επιφανειακά ιζήματα πυθμένα στα οποία μελετήθηκε η βενθονική πανίδα και δημιουργήθηκαν στατιστικοί πίνακες που παρουσιάζουν το ποσοστό που καταλαμβάνει κάθε είδος στον πληθυσμό του κάθε δείγματος. Τα δείγματα αυτά συλλέχθηκαν με το ωκεανογραφικό πλοίο «Αιγαίο» του Ελληνικού Κέντρου Θαλάσσιων Ερευνών (ΕΛΚΕΘΕ) από 12 διαφορετικούς σταθμούς σε βάθη από 20 έως και 94 μέτρα.

Εφόσον συλλέχθηκε ο απαραίτητος αριθμός νεκρών τρηματοφόρων από το κάθε δείγμα, ταξινομήθηκαν και μετρήθηκαν με κριτήριο το είδος στο οποίο ανήκουν. Τα είδη αυτά στη συνέχεια, ανάλογα με τα βάθη στα οποία επιβιώνουν, χρησιμοποιήθηκαν για τον χαρακτηρισμό της περιοχής από την οποία λήφθηκαν σε παράκτια, θαλάσσια (αβαθή ή βαθιά) ή περιορισμένη θαλάσσια περιοχή.

Τα διάφορα είδη τρηματοφόρων, επιβιώνουν σε συγκεκριμένα βάθη και περιβαλλοντικές συνθήκες, συνεπώς αποτελούν σημαντικό δείκτη για την περιγραφή του περιβαλλοντικού καθεστώτος της κάθε περιοχής στην οποία συναντώνται. Υπάρχουν είδη τρηματοφόρων σε επιφανειακά νερά και είδη που

κυριαρχούν σε ιζηματογενείς επιφάνειες και συχνά συσχετίζονται με χονδρόκοκκα ιζήματα. Τα γένη τρηματοφόρων όπως η *Amphistegina* και η *Peneroplis*, που είναι ευρέως διαδεδομένα στη Μεσόγειο Θάλασσα προτιμούν την αβαθή θαλάσσα που καλύπτεται με υδάτινη βλάστηση (π.χ., Blanc-Vernet, 1969, Cimerman and Langer, 1991, Sgarrella and Moncharmont Zei, 1993, Murray, 2006; Koukousioura et al., 2011). Άλλα μικρά επιφυτικά rotaliids, τα οποία είναι κοινά στα μεσογειακά περιβάλλοντα, όπως τα *Rosalina, Cibicides, Asterigerinata, Cyclogyra, Discorbia, Elphidium, Neoconorbina, Planorbulina* και *Lobatula*, είναι σε τυπικά αβαθή θαλάσσια περιβάλλοντα με καλά οξυγονωμένα και φυτικό χονδρόκοκκο πυθμένα (Jorissen, 1987; Langer, 1988,1993; Sgarrella and Moncharmont Zei, 1993; Frezza and Carboni,2009; Barras et al., 2014). Παράλληλα, τα *miliolids* είναι πλούσια σε αμμώδη ιχνοστοιχεία και είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στην αύξηση της οργανικής ύλης (Bizon and Bizon, 1984, Jorissen, 1988, Schmiedl et al., 2003, Barras et al., 2014, Li et Al., 2014).

Τρηματοφόρα που χαρακτηρίζονται ως κυρίως αβαθή και ενδιάμεσα έως βαθιά είδη, συνδέονται με λεπτόκοκκα ιζήματα. Το γένος *Ammonia* είναι κοινό στα ρηχά θαλάσσια ιζήματα (π.χ., Cimerman και Langer, 1991; Murray, 2006) και δείχνει μία καιροσκοπική συμπεριφορά και ένα υψηλές πιθανότητες επιβίωσης σε περιβάλλοντα με υψηλά επίπεδα οργανικής ύλης και μετάλλων (Nikulina et al, 2008). Συγκεκριμένα, η *Ammonia tepida* θεωρείται συνήθως ως είδος ανθεκτικό στην οργανική και τη χημική ρύπανση (π.χ., Yanko et al., 1999; Alve, 1995 · Debenay et al., 2001; Armynot du Châtelet et al., 2004; Frontalini and Coccioni, 2008; Naeher et al., 2012).

Το γένος *Bulimina* απαντάται στα ρηχά και στα βαθιά (Jannink, 2001) και είναι ανθεκτική στον εμπλουτισμό της οργανικής ύλης (π.χ., Lutze and Colbourn, 1984, Jorissen et al., 1998, De Rijk et al., 2000, Fontanier κ.ά., 2002), στη μείωση του οξυγόνου (π.χ., Lutze και Colbourn, 1984) και στον ανθρωπογενή ευτροφισμό (Mojtahid et al., 2006). Τα άλλα ευκαιριακά γένη περιλαμβάνουν τις *Bolivina, Melonis, Cassidulina, Hyalinea, Hanzawaia, Globocassidulina, Nonionella* και *Nonion*, τα οποία είναι συνηθισμένα σε συναθροίσεις τρηματοφόρων που συνδέονται με λασπώδη πυθμένα με άφθονη οργανική ύλη και περιοδική ανεπάρκεια οξυγόνου (Barmawidjaja et al., 1995; Fontanier et al., 2002; Mojtahid et al., 2006, 2008; Barras et al., 2014).

Μεταξύ των συγκολλημένων ειδών, η *Textularia agglutinans* θεωρείται ότι είναι σχετικά ανεκτική στις συνθήκες που έχουν εμπλουτιστεί με οργανικά υλικά και επικρατούν συνθήκες έλλειψης οξυγόνου (Barmawidjaja et al., 1995, Naeher

et al., 2012). Στον παρακάτων πίνακα της Portela, (2017) είναι συγκεντρωμένα τα στοιχεία που αναφέρθηκαν παραπάνω, με βάση ορισμένες επιστημονικές εργασίες οι οποίες είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για την περάτωση της έρευνας αυτής.

| (Str) genera | Authors | Ecology | (Sen) | Authors | Ecology |
|---|---|---|---|---|---|
| ***Ammonia*** | (Alve, 1995; Armynot du Châtelet et al., 2004; Cimerman and Langer, 1991; Debenay et al., 2001; Murray, 2006) | Shallow-marine sediments, opportunistic behavior and a high potential to survive under high organic matter and metal contents, tolerant to organic and chemical pollution | ***Peneroplis*** | (Cimerman and Langer, 1991; Sgarrella and Moncharmont Zei, 1993) | Symbiont-bearing foraminifera, preference for shallow marine waters with vegetation cover |
| ***Bigenerina*** | (Goineau et al., 2011; Schmiedl et al., 2000) | Associated with deposition of fresh organic matter, conditions that often accompany pollution | ***Asterigerinata, Cibicides, Elphidium, Lobatula, Planorbulina, Reussella, Rosalina*** | (Barras et al., 2014; Frezza and Carboni, 2009; Jorissen, 1987; Langer, 1993; Sgarrella and Moncharmont Zei, 1993) | Shallow-marine environments with well-oxygenated and vegetated or coarse-grained bottoms |
| ***Bolivina, Cassidulina, Globocassidulina, Hanzawaia, Hyalinea, Melonis, Nonionella, Rectuvigerina, Uvigerina, Valvulineria*** | (Barras et al., 2014; Fontanier et al., 2002; Jorissen, 1987; Mojtahid et al., 2006; Murray, 2006) | Opportunistic, muddy bottoms with abundant organic matter and periodic oxygen deficiency | **Miliolids** | (Barras et al., 2014; Li et al., 2014; Ruiz et al., 2005) | Rich in sandy, well oxygenated sediments, and appear to be highly sensitive to the increase of organic matter |
| ***Bulimina*** | (Barras et al., 2014; Jorissen, 1987; Mojtahid et al., 2006; Murray, 2006) | Shallow to deep infaunal taxon, tolerant of organic matter enrichment, oxygen depletion, and anthropogenic eutrophication | | | |
| ***Haynesina*** | (Albani et al., 2007; Armynot du Châtelet et al., 2004; Debenay et al., 2006; Ruiz et al., 2005) | More tolerant to restricted conditions, pollution tolerant | | | |
| ***Textularia, Spiroplectinella, Trochammina, Haplophragmoides, Eggerelloides*** | (Mojtahid et al., 2006; Murray, 2006) | Relatively tolerant of food-enriched and oxygen-deficient conditions, high stress/eutrophicated conditions | | | |

*Πίνακας 2: Ενδεικτική βιβλιογραφία και οικολογία βασικών βενθονικών τρηματοφόρων (Portela, 2017)*

## 6.4 Αποτελέσματα

Μετά την συλλογή ικανού αριθμού νεκρών τρηματοφόρων από κάθε δείγμα προέκυψαν ορισμένα στατιστικά στοιχεία που αποτυπώνουν τα ποσοστά των ειδών που υπάρχουν σε κάθε δείγμα καθώς και προσδιορίστηκε το περιβαλλοντικό καθεστώς των περιοχών, ανάλογα με τα είδη της θανατοκοινωνίας τρηματοφόρων που κυριαρχούν σε καθένα από αυτά.

Στο σύνολο ταυτοποιήθηκαν 35 διαφορετικά είδη από τα οποία τα 6 επικρατέστερα αντιπροσώπευαν πάνω από το 60% του συνολικού πληθυσμού. Τα 6 κυριότερα είδη βενθονικών τρηματοφόρων που επικρατούν είναι τα *Miliolidae* (13%), το *Elphidium crispum* (12%), η *Bulimina aculeata* (10%), η *Haynesina germanica* (9%) και οι *Amonia becarii* (6%) και *Rosalina Bradyi* (5%). Αυτά τα 6 κυρίαρχα είδη αποτυπώθηκαν στατιστικά σε πίτες για το κάθε δείγμα και παρουσιάζονται στον χάρτη 6.

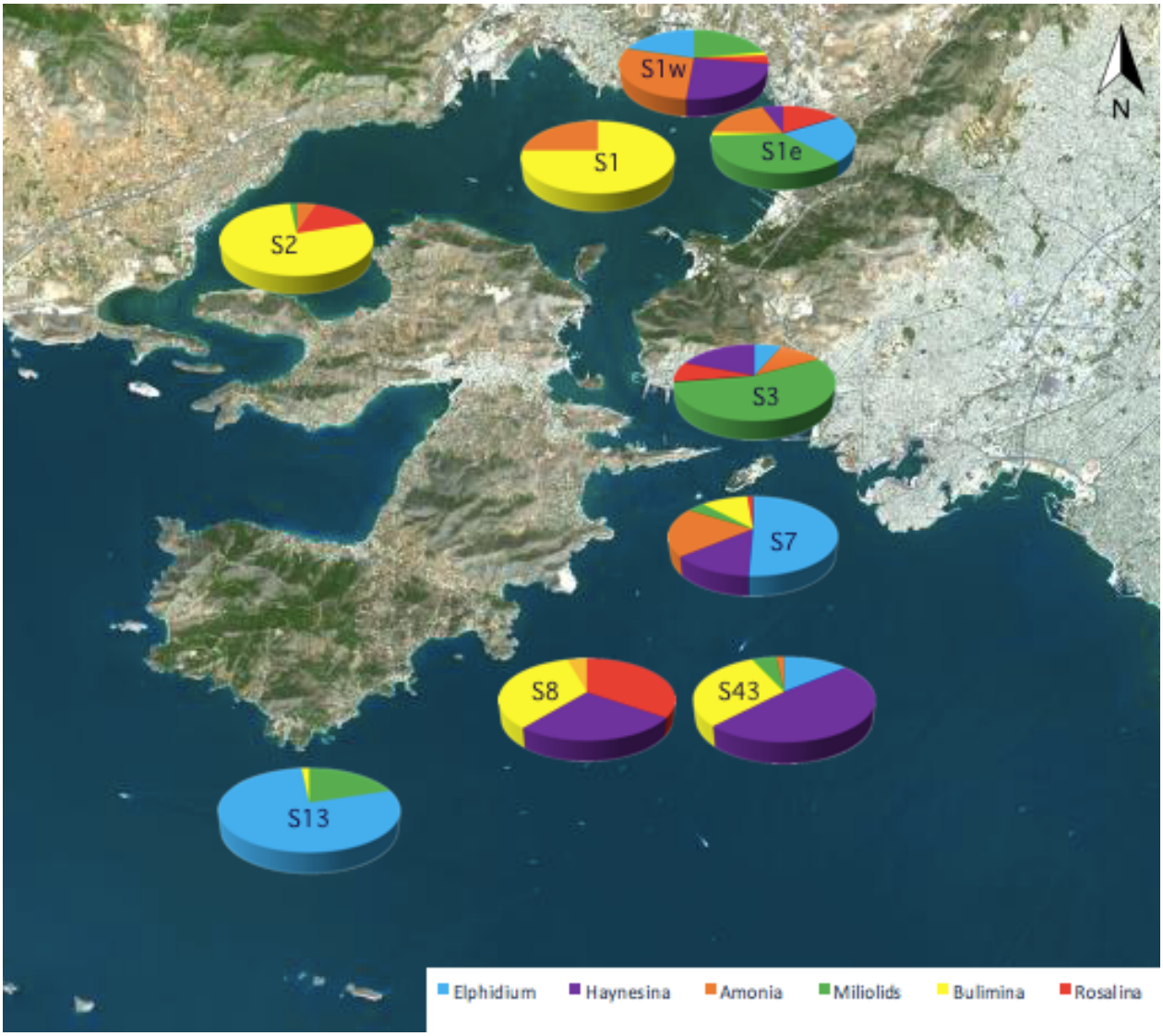
Στο δείγμα από τον πυρήνα S1e κυριαρχούν τα *miliolids* σε ποσοστό 30%, ενώ ακολουθεί το *elphidium crispum* με 19%, η *Rosalina bradyi* με 13% και η *Amonia beccarii* με ποσοστό 10%. Σε μικρότερα ποσοστά απαντώνται τα είδη *Brizalina spathulata, Casidulina laevigata, Brizalina spathulata, Textularia agglutinans, Bulimina aculeata, Peneroplis pertusus* και *Haynesina germanica*.

Στο δείγμα από τον πυρήνα S1w κυριαρχεί η *Amonia beccarii* σε ποσοστό 23% και ακολουθούν τα *Miliolids* (21%) και το *Elphidium crispum* (19%). Επίσης εντοπίζονται τα είδη *Asterigerinata mamilla, Bulimina aculeata, Rosalina bradyi, Haynesina germanica, Haynesina depressula, Amonia tepida* και *Peneroplis pertusus*.

Στην περίπτωση του δείγματος S1, η ύπαρξη νεκρών τρηματοφόρων ήταν σπάνια με αποτέλεσμα να αναγνωριστούν μόλις τέσσερα είδη σε ίσα ποσοστά. Αυτά είναι η *Amonia tepida, η Bulimina aculeata, η Bulimina marginata* και η *Bulimina elongata*.

Στο δείγμα από τον πυρήνα S2 κυριαρχεί η *Bulimina aculeata* σε ποσοστό 76% και ακολουθούν οι *Amonia tepida, Rosalina bradyi, Lobatula lobatula,* τα *Miliolids* και η *Nonionela opima*.

Στο δείγμα του πυρήνα S3 παρατηρήθηκε κυριαρχία των *miliolids* (42%), της *Haynesina germanica* (13%) και της *Amonia tepida* (8%). Στην περιοχή αυτή συναντώνται επίσης τα *Cassidulina laevigata, Asterigerinata spp, Elphidium macellum, Nonion fabum, Bucella frigida*, *Bolivina midwayensis, Haynesina depressula, Elphidium gunteri, Cyclogyra planorbis, Rosalina spp, Hanzawaia boueana* και *Peneroplis pertusus*.




*Χάρτης 6: Χάρτης της περιοχής μελέτης. Στις πίτες απεικονίζονται τα ποσοστά των 6 επικρατέστερων ειδών που ταυτοποιήθηκαν*

Στην περίπτωση του δείγματος S7, το *Elpidium gunteri* βρίσκεται στο μεγαλύτερο ποσοστό (17%) ενώ εντοπίζονται επίσης πληθυσμοί των *Elphidium macellum, Lobatula lobatula, Haynesina germanica, Cibicides dutenplei, Amonia tepida, Nonion fabum, Hanzawaia boueana, Miliolids, Brizalina spathulata, Bulimina elongata, Nonion pompilioides, Obinina elucita, Buccella frigida, Asterigerinata mamilla* και *Rosalina bradyi*.

Στο δείγμα του πυρήνα S8 παρατηρήθηκε ότι ο μεγαλύτερος πληθυσμός της τάξης του 30% αποτελούσε η *Hyalinea balthica* και ακολούθησε σε ποσοστό 22% το *Melonis barleeanus*. Επίσης εντοπίστηκαν τα είδη *Rosalina bradyi, Haynesina germanica, Bulimina aculeata, Amonia tepida, Lobatula lobatula* και *Cassidulina laevigata*.

Στο δείγμα από τον πυρήνα S13 παρατηρήθηκε ότι κυριαρχεί ο πληθυσμός του *Elphidium crispum* σε ποσοστό 46% και ακολουθεί το *Nonion fabum* (15%) και τα *miliolids* (12%). Στο δείγμα αυτό εντοπίστηκαν επίσης πληθυσμοί των *Cibicides dutemplei, Asterigerinata mamilla, Melonis barleeanus, Elphidium crispum, Lobatula lobatula, Spiroplectammina atrata, Nonion pompilioides, Asterigerinata mamilla, Bulimina aculeata.*

Τέλος από το δείγμα του S43 προέκυψε ότι κυριαρχεί η *haynesina germanica* (27%) ενώ ακολουθούν η *hyalinea balthica* και η *bulimina aculeata* σε ίσα μέρη (18%). Στο δείγμα επίσης εντοπίστηκαν πληθυσμοί *των Elphidium macellum, Melonis barleeanus, Cibicides refulgens, Bucella frigida, Globocassidulina subglobosa, Cassidulina laevigata, Brizalina spathulata, Miliolids, Hanzawaia boueana* και *Amonia tepida.*

Στα παράκτια, θαλάσσια και λιμνοθαλάσσια περιβάλλοντα, όπου η φυσική περιβαλλοντική πίεση (stress) είναι υψηλή, τα βενθονικά τρηματοφόρα είναι οι πλέον άφθονοι οργανισμοί που φέρουν κέλυφος (Κουκουσιούρα, 2012). Τα βενθονικά τρηματοφόρα είναι ευρέως διαδεδομένα, έχοντας κατακτήσει θαλάσσια είτε υφάλμυρα περιβάλλοντα, και αντιπροσωπεύουν έναν από τους πιο ευαίσθητους περιβαλλοντικούς δείκτες (Murray, 2007). Οι αλλαγές στην αφθονία της βενθονικής πανίδας, στη σύνθεση των ειδών (π.χ., Debenay, 2000) και στην

ποικιλότητα της μορφολογίας των κελύφων (Boltovskoy et al., 1991), παρέχουν στοιχεία για τη διακύμανση διαφόρων περιβαλλοντικών μεταβλητών και μπορούν επομένως να χρησιμοποιηθούν ως μία δραστική μέθοδος καθορισμού των περιβαλλοντικών συνθηκών (π.χ., Coccioni, 2000; Frontalini and Coccioni, 2008; Koukousioura et al., 2012).

Στην περίπτωση της μελέτης των θανατοκοινωνιών των τρηματοφόρων, είναι δυνατός ο προσδιορισμός του είδους του περιβάλλοντος στο οποίο βρέθηκαν τα τρηματοφόρα αυτά, μέσα από την αναγνώριση και ταξινόμισή τους, ωστόσο σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι πάντα υπάρχει η περίπτωση ένα είδος να υπάρχει ως τμήμα της θανατοκοινωνίας μιας περιοχής στην οποία έχει καταφθάσει από μεταφορά του μέσα στο νερό.

Από τα δεδομένα που προέκυψαν μέσα από την επεξεργασία και την ανάλυση του κάθε δείγματος, προέκυψε ότι οι περιοχές των σταθμών S1 και S2 στις οποίες κυριαρχεί η *Bulimina*, αποτελούν αβαθή θαλάσσια περιβάλλοντα με ισχυρά περιοδικά ανοξικά φαινόμενα και ενδεχόμενη ύπαρξη ανθρωπογενούς ευτροφισμού, γεγονός που δικαιολογείται από την βαθυμετρία αλλά και την κυριαρχία της *Bulimina*, η οποία αποτελεί πιστό δείκτη ανοξικού περιβάλλοντος. Στις περιοχές των σταθμών S1e και S1w, κυριαρχούν τα *Miliolids* και το *Elphidium*, τα οποία επιβιώνουν σε ρηχά περιβάλλοντα με αμμώδες ίζημα, εμπλουτισμένα με οξυγόνο και ύπαρξη υδάτινης βλάστησης. Το γεγονός αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το περιβάλλον στις περιοχές αυτές μπορεί να χαρακτηριστεί ως παράκτιο.

Οι σταθμοί S3 και S7 αποτελούν τους πιο καλά οξυγωνομένους σταθμούς και αυτό δικαιολογείται από την αυξημένη παρουσία των *Miliolids* και *Elphidium* αλλά και από την ύπαρξη του είδους *Peneroplis pertusus* στα δείγματα. Τα δεδομένα αυτά οδηγούν στο συμπέρασμα ότι οι περιοχές των σταθμών S3 και S7 αποτελούν θαλάσσια περιβάλλοντα, πλούσια σε οξυγόνο και θαλάσσιο ίζημα, με ύπαρξη θαλάσσιας πανίδας και μικρά βάθη. Το ίδιο συμβαίνει και στην περιοχή του σταθμού S13 όπου κυριαρχούν τα *Miliolids* και το *Elphidium*, ωστόσο υπάρχουν και υψηλά ποσοστά εμφάνισης της *Bulimina* γεγονός που υποδεικνύει την ύπαρξη ανοξικών περιόδων στην περιοχή που χαρακτηρίζεται ως βαθύ θαλάσσιο περιβάλλον. Τέλος, στους σταθμούς S8 και S43 είναι έντονη η παρουσία της *Bulimina* αλλά εμφανίζονται και υψηλά ποσοστά του γένους *Hyalinea* και συγκεκριμένα η *Hyalinea balthica*. Τα ποσοστά των *Miliolids* και *Elphidium* είναι μικρότερα αλλά εμφανή, γεγονός που χαρακτηρίζει το περιβάλλον ως θαλάσσιο πλούσιο σε αμμώδες ίζημα με ύπαρξη ανοξικών φαινομένων και είναι πιθανό να

έχει εκτεθεί σε περιβαλλοντική ρύπανση που δικαιολογείται από την ύπαρξη της *Bulimina* και της *Hyalinea,* οι οποίες είναι ανθεκτικές στη ρύπανση του περιβάλλοντος. Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται συνοπτικά και στο Σχήμα 4.

| S1,S2 | S1e, S1w | S3, S7 | S13 | S8, S43 |
|---|---|---|---|---|
| • Αβαθές θαλάσσιο<br>• Ισχυρά περιοδικά ανοξικά φαινόμενα και ενδεχόμενη ύπαρξη ανθρωπογενούς ευτροφισμού | • Παράκτιο περιβάλλον<br>• αμμώδες ίζημα, εμπλουτισμένο με οξυγόνο και ύπαρξη υδάτινης βλάστησης | • θαλάσσια περιβάλλοντα, πλούσια σε οξυγόνο και θαλάσσιο ίζημα<br>• ύπαρξη θαλάσσιας πανίδας και μικρά βάθη | • Θαλάσσιο περιβάλλον<br>• Ενδεχόμενη ύπαρξη ανοξικών περιόδων στην περιοχή | • Θαλάσσιο περιβάλλον<br>• Πλούσιο σε αμμώδες ίζημα<br>• ύπαρξη ανοξικών φαινομένων<br>• Πιθανή έκθεση σε ρύπανση |

*Σχήμα 5: Συνοπτική απεικόνηση των αποτελεσμάτων*

# Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα – Συζήτηση

Η περιοχή του Σαρωνικού κόλπου έχει υποστεί πολλές αλλαγές τα τελευταία 11.500 χιλιάδες χρόνια οι οποίες οφείλονται τόσο στον άνθρωπο όσο και στην ίδια τη δυναμική του περιβάλλοντος. Παρατηρώντας τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εργασία αυτή, εύκολα μπορεί να διαπιστωθεί ότι οι περιβαλλοντικές συνθήκες σε συνδυασμό με την ανθρώπινη δραστηριότητα, επηρεάζουν την γεωμορφολογική και περιβαλλοντική εξέλιξη μιας περιοχής. Οι αλλαγές που έχουν επέλθει μέσα από την μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης αλλά και την ανθρωπογενή παρέμβαση στο περιβάλλον, κυρίως μέσα από τις βιομηχανικές δραστηριότητες, έχουν αφήσει το αντίκτυπό τους τόσο στη διαμόρφωση των ακτογραμμών όσο και στα διαφορετικά είδη τρηματοφόρων τα οποία κυριαρχούν σήμερα στις θανατοκοινωνίες της περιοχής του εσωτερικού Σαρωνικού.

Η ιδιαίτερη παλαιογεωγραφική εξέλιξη του κόλπου της Ελευσίνας, που οδήγησε στη δημιουργία ενός αβαθούς κόλπου με μικρή επικοινωνία με τον υπόλοιπο Σαρωνικό που μαρτυρείται από τις μεταβολές της θαλάσσιας στάθμης που μελετήθηκαν παραπάνω, αποτυπώνεται και στους πληθυσμούς των βενθονικών τρηματοφόρων, μέσα από είδη που επιβιώνουν σε τέτοια περιορισμένα θαλάσσια και λιμνοθαλάσσια περιβάλλοντα με μειωμένη παροχή οξυγόνου όπως η Bulimina elongata που εντοπίστηκε σε σημαντικούς αριθμούς σε εκείνες τις περιοχές. Το φαινόμενο αυτό του Κόλπου της Ελευσίνας αποτελεί ένα εξαιρετικό παράδειγμα για τη σημασία της χρήσης ενός συνδυασμού επιστημονικών μεθόδων από ποικίλους κλάδους των επιστημών του περιβάλλοντος για την καλύτερη και πιο πλήρη κατανόηση των συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή όπου έχει επιλεχτεί προς μελέτη.

Στην εποχή της κλιματικής αλλαγής, όπου έχει ενταθεί η δυναμική ενός πλήθους φαινομένων, είναι αναγκαία η συνδυαστική μελέτη των περιπτώσεων. Από τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής και την διάκριση της σύνθεσης, τόσο των μεταβολών της θαλάσσιας στάθμης, όσο και της κατανομής των ειδών των βενθονικών τρηματοφόρων, γεννιέται η θεωρία πως οι αλλαγές συνεχίζονται και πλέον η κλιματική αλλαγή είναι μια πραγματικότητα. Η συστηματική μελέτη των τρηματοφόρων σε περιοχές όπως ο κόλπος της Ελευσίνας θα μπορούσαν να δώσουν απαντήσεις τόσο για το περιβαλλοντικό καθεστώς, όσο και για την επιρροή της κλιματικής αλλαγής και τις μελλοντικές τάσεις σε κλειστούς κόλπους ανά τον πλανήτη.

Μέσα από τον συνδυασμό μεθόδων γίνεται μια πιο πιστή περιγραφή των χαρακτηριστικών της περιοχής μελέτης και ο ερευνητής οδηγείται σε ένα πιο ακριβές συμπέρασμα για την δυναμική της περιοχής αλλά και την σύνδεση και τη σχέση αίτιου- αποτελέσματος μεταξύ των διεργασιών μέσα από τις οποίες προκύπτει η εικόνα που αντικρίζουμε σήμερα. Μέσα από αυτή τη γνώση και κατανόηση του παρελθόντος, βγαίνουν πιο πιστά συμπεράσματα για το παρόν αλλά και γίνονται πιο σαφείς εκτιμήσεις για το μέλλον. Μέσα από αυτήν την πτυχιακή εργασία, ένας βασικός μετέπειτα στόχος είναι η περαιτέρω μελέτη της μορφολογίας και του περιβάλλοντος του Σαρωνικού κόλπου, το οποίο σκοπεύω να πραγματοποιήσω σε επόμενες μελέτες.

# Βιβλιογραφία


1. Alve, E., 1995. Benthic foraminifera response to estuarine pollution. A review. Journal of Foraminiferal Research 25, 190-203.
2. Bentham, P., Collier, R.E., Gawthorpe, R.L., Leeder, R., Stark, C., 1991. Tectono-sedimentary development of an extensional basin: the Neogene Megara Basin, Greece. Journal of the Geological Society. doi:10.1144/gsjgs.148.5.0923
3. Bernhard, J.M., Sen Gupta, B.K., Borne, P.F., 1997. Benthic foraminiferal proxy to estimate dysoxic bottom-water oxygen concentrations: Santa Barbara Basin, U.S. Pacific continental margin. Journal of Foraminiferal Research 27, 10-301.
4. Blanc-Vernet, L., 1969. Contribution à l'étude des foraminifères de Méditerranée. Thèse de Doctorat Etat. Recueil des Travaux de la Station Marine d'Endoume 48, p. 281, pls. 17, Marseille.
5. Barmawidjaja, D.M., van der Zwaan, G.J., Jorissen, F.J., Puskaric, S., 1995. 150years of eutrophication in the northern Adriatic Sea, evidence from a benthicforaminiferal record. Mar. Geol. 122, 367–384.
6. Carnahan, E.A., 2005. Foraminiferal assemblages as bioindicators of potentially toxic elements in Biscayne Bay, Florida. PhD Thesis, University of South Florida, Tampa, Florida, p. 228.
7. Collier, R.E.L., 1990. Eustatic and tectonic controls upon Quaternary coastal sedimentation in the Corinth Basin, Greece. Journal of the Geological Society 147, 301–314. doi:10.1144/gsjgs.147.2.0301
8. Collier, R.E.L., Dart, C.J., 1991. Neogene to Quaternary rifting, sedimentation and uplift in the Corinth Basin,Greece. Journal of the Geological Society. doi:10.1144/gsjgs.148.6.1049
9. Coachman, L. K., T. S. Hopkins, and R. C. Dugdale (1976), Water masses of the Saronikos Gulf in winter, Acta Adriatica, 18, 131–161.
10. Clark, J.A., 1978. A numerical model of worldwide sea level changes on a visco-elastic earth. Proceedings of the Stockholm Conference on Earth Rheology and Late Ceno- zoic Vertical Movements.
11. Clark, J.A., Farrell, W.E. and Peltier, W.R., 1978. Global changes in postglacial sea level: a numerical calculation. Quat. Res. (N.Y.).
12. Cimerman, F., Langer, M.R., 1991. Mediterranean foraminifera. Academia Scientarium et Artium Slovenica, Dela, Opera 30, Classis IV: Historia Naturalis, p. 119.
13. Dimiza, M. και συν., 2016. The Foram Stress Index: A new tool for environmental assessment of soft-bottom environments using benthic foraminifera. A case study from the Saronikos Gulf, Greece, Eastern Mediterranean. Ecological Indicators, Issue 60
14. Debenay, J.-P., Geslin, E., Eichler, B.B., Duleba, W., Sylvestre, F., Eichler, P., 2001. Foraminiferal assemblages in a hypersaline lagoon, Araruama (R.J.) Brazil. Journal of Foraminiferal Research 31(2), 133-151.
15. De Stigter, H.C., Jorissen, F.J., Van der Zwaan, G.J., 1998. Bathymetric distribution and microhabitat partitioning of live (Rose Bengal stained) benthic foraminifera along a shelf

to bathyal transect in the southern Adriatic Sea. Journal of Foraminiferal Research 28(1), 40–65.
16. De Stigter, H.C., Van der Zwaan, G.J., Langone, L., 1999. Differential rates of benthic foraminiferal test production in surface and subsurface sediment habitats in the southern Adriatic Sea. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 149, 67–88.
17. Douglas, R.G., 1973. Benthonic foraminiferal biostratigraphy in the central North Pacific, Leg 17, Deep Sea Drilling Project. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, XVII, Washington (U. S. Government Printing Office), 607-671.
18. Dimiza, M.D., Koukousioura, O., Triantaphyllou, M.V., and Dermitzakis, M.D. (2016b). Live and dead benthic foraminiferal assemblages from coastal environments of the Aegean Sea (Greece) : Distribution and diversity. Rev. Micropaléontologie 59, 19–32.
19. Dietrich, V., Gaitanakis, P., Mercolli, I., Oberhaensli, R., 1993. Geological map of Greece, Aegina Island, 1:25000. Bulletin of the Geological Society of Greece 28, 555–566.
20. Dieckman, G.S., Spindler, M., Lange, M.A., Ackley, S.F., Eicken, H., 1991. Antarctic Sea ice: a habitat for the foraminifer Neogloboquadrina pachyderma. Journal of Foraminiferal Research 21, 182-189.
21. Frontalini, F., Buosi, C., Da Pelo, S., Coccioni, R., Cherchi, A., Bucci, C., 2009. Benthic foraminifera as bio-indicators of trace element pollution in the heavily contaminated Santa Gilla lagoon (Cagliari, Italy). Marine Pollution Bulletin 58, 858-877.
22. Frontalini, F., Buosi, C., Da Pelo, S., Coccioni, R., Cherchi, A., Bucci, C., 2009. Ben-thic foraminifera as bio-indicators of trace element pollution in the heavilycontaminated Santa Gilla lagoon (Cagliari, Italy). Mar. Pollut. Bull. 58, 858–877.
23. Fontanier, C., Jorissen, F.J., Licari, L., 2002. Live benthic foraminiferal faunas from theBay of Biscay: faunal density, composition, and microhabitats. Deep-Sea Res.Part II 49, 751–785.
24. Fontanier, C., Jorissen, F.J., Licari, L., 2002. Live benthic foraminiferal faunas from theBay of Biscay: faunal density, composition, and microhabitats. Deep-Sea Res.Part II 49, 751–785.
25. Fytikas, M., Innocenti, F., Kolios, N., Manetti, P., Mazzuoli, R., 1988. The Plio-Quaternary volcanism of Saronikos area (western part of the active Aegean volcanic arc). Anales Geologiquesdes Pays Helleniques 33, 23–46.
26. Goiran, J.P., Pavlopoulos, K.P., Fouache, E., Triantaphyllou, M., Etienne, R., 2011. Piraeus, the ancient island of Athens: Evidence from Holocene sediments and historical archives. Geology 39, 531–534. doi:10.1130/G31818.1
27. Georgiades-Dikeoulia, E., Dermitzakis, M.D., 1983. Field Guide to the Neogene of Aegina Island (Saronikos Gulf, Greece). University of Athens, Subfaculty of earth sciences.
28. Goldstein, S.T., 2000. Foraminifera: A biological overview. In: Sen Gupta, B.K., (Ed.), Modern Foraminifera, Kluwer Academic Publishers, Great Britain, pp. 37-55.
29. Hatzikakidis, A.D., 1968. No Title, in: Proc. First Int. Offshore Exploration Conference. California, pp. 455–468.
30. Hopkins, T. S. (1974) On time depended wind induced motions, Rapp. Comm. Int. Mer Mediterranee, 167, 21–36.

31. Hopkins, T. S. (1975), Environmental Pollution Control Project Athens, Circulation patterns in the Saronikos Gulf in relation to the winds: Data from the Saronikos Systems Cruises SSP-1 through SSP-11 (December 1972 through June 1974), Hellenic Centre for Marine Research Technical Report.
32. ΙΓΜΕ, 1982. Γεωλογικός χάρτης της Ελλαδος, Φύλλο Αθήνα - Πειραιάς, Κλίμακα 1:50000.
33. ΙΓΜΕ, 1986. Γεωλογικός χάρτης της Ελλαδος, Φύλλο Αθήνα - Ελευσίνα, Κλίμακα 1:50000.
34. Jonasson, K.E., Schroder-Adams, C.J., Patterson, R.T., 1995. Benthic foraminiferal distribution at Middle Valley, Juan de Fuca Ridge, a northeast Pacific hydrothermal venting site. Marine Micropaleontology 25, 151-167.
35. Jannink, N.T., 2001. Seasonality, biodiversity and microhabitats in benthicforaminifera. Geol. Ultraiectina 203, 1–191.
36. Jorissen, F.J., 1987. The distribution of benthic foraminifera in the Adriatic Sea. Mar.Micropaleontol. 12, 21–48.
37. Jorissen, F.J., 1988. Benthic foraminifera from the Adriatic Sea: principles of pheno-typic variation. Utrecht Micropaleontol. Bull. 37, 1–174.
38. Jorissen, F.J., 1999. Benthic foraminiferal microhabitats below the sediment–waterinterface. In: Sen Gupta, B.K. (Ed.), Modern Foraminifera. Kluwer Academic,Great Britain, pp. 161–179.
39. Jorissen, F.J., Wittling, I., Peypouquet, J.P., Rabouille, C., Relexans, J.C., 1998. Livebenthic foraminiferal faunas off Cap Blanc, NW Africa: community structureand microhabitats. Deep-Sea Res. Part I 45, 2157–2188
40. Kaltsounidis, N., and A. Lascaratos (1989), A study of the currents in the Inner Saronikos Gulf, Technical Report, Dept. of Applied Physics, Univ. of Athens, February.
41. Kardaras, T. (1984), Sea curents in the Saronikos Gulf, Proceedings, 1st Panhellenic Symposium of Oceanography and Fisheries, p. 140, Hellenic Center for Marine Research, Athens, Greece.
42. Kontoyiannis, H. (1997), Quasi-geostrophic modelling of mixed instabilities in the Gulf Stream at 73°W, Dyn. Atmos. Oceans, 26, 133–158, doi:10.1016/S0377-0265(96)00488-5.
43. Kontoyiannis, H. (2009), Inner Saronikos Gulf: Turbidity, salinity, northerly winds and water quality, Proceedings, 9th Panhellenic Conference in Oceanography and Fisheries, Hellenic Center for Marine Research,Athens, Greece.
44. Kontoyiannis, H., and V. Papadopoulos (1999), Hydrography and circulation of Saronikos Gulf during May 98–October 98, in Monitoring of the Saronikos Gulf Ecosystem Under the Influence of the Psitallia Treated Sewage Outflow, First technical report to YPEXWDE, Hellenic Centre for Marine Research, February.
45. Kontoyiannis, H., V. Kourafalou, and V. Papadopoulos (2003), Seasonal characteristics of the hydrology and circulation in the northwest Aegean Sea (eastern Mediterranean): Observations and modelling, J. Geophys. Res., 108(C9), 3302, doi:10.1029/2001JC001132.
46. Κουκουσιούρα, Ό., 2012. *Τα βενθονικά τρηματοφόρα ως δείκτες περιβαλλοντικής υγείας των ολοκαινικών παράκτιων οικοσυστημάτων: Οι περιπτώσεις του Ευβοϊκού, Θερμαϊκού κόλπου και των ακτών του Ν.Ξάνθης,* Αθήνα: s.n.

47. Karageorgis, A.P., Katsanevakis, S., and Kaberi, H. (2009). Use of enrichment factors for the assessment of heavy metal contamination in the sediments of Koumoundourou Lake, Greece. Water. Air. Soil Pollut. 204, 243–258.
48. Koukousioura, O., Dimiza, M.D., Triantaphyllou, M.V., Hallock, P., 2011. Living benthic foraminifera as an environmental proxy in coastal ecosystems: a case study from the Aegean Sea (Greece, NE. Mediterranean). Journal of Marine Systems 88(4), 489-501.
49. Lambeck, K., 1996. Sea-level change and shore-line evolution in Aegean Greece since Upper Palaeolithic time. Antiquity 70, 588–611. doi:10.1017/S0003598X00083733
50. Lambeck, K., Bard, E., 2000. Sea-level change along the French Mediterranean coast for the past 30 000 years. Earth and Planetary Science Letters 175, 203–222. doi:10.1016/S0012-821X(99)00289-7
51. Lambeck, K., Chappell, J., 2001. Sea level change through the last glacial cycle. Science (New York, N.Y.) 292, 679–686. doi:10.1126/science.1059549
52. Lambeck, K., Purcell, A., Dutton, A., 2012. The anatomy of interglacial sea levels: The relationship between sea levels and ice volumes during the Last Interglacial. Earth and Planetary Science Letters 315-316, 4–11. doi:10.1016/j.epsl.2011.08.026
53. Pirazzoli, P.., Radtke, U., Hantoro, W.., Jouannic, C., Hoang, C.., Causse, C., Best, M.B., 1993. A one million-year-long sequence of marine terraces on Sumba Island, Indonesia. Marine Geology 109, 221–236. doi:10.1016/0025-3227(93)90062-Z
54. Leeder, M.R., Mack, G.H., Brasier, A.T., Parrish, R.R., McIntosh, W.C., Andrews, J.., Duermeijer, C.E., 2008. Late-Pliocene timing of Corinth (Greece) rift-margin fault migration. Earth and Planetary ScienceLetters 274, 132–141. doi:10.1016/j.epsl.2008.07.006
55. Lipps, J.H., Langer, M.R., 1999. Benthic foraminifera from the meromictic Mecherchar Jellyfish Lake, Palau (western Pacific), Micropaleontology 45(3), 278-284.
56. Loeblich, A.R., Tappan, H., 1988. Foraminiferal Genera and Their Classification, Van Nostrand Reinhold Co., New York.
57. Loeblich, A.R., Tappan, H., 1994. Foramifera of the Sahul Shelf and Timor Sea. Cushman Foundation for Foraminiferal Research, Special Publication 31, 1-661.
58. Loeblich, A.R., Tappan, H., 1964. Foraminiferal Classification and Evolution. Journal of the Geological Society of India 5, 5-39.
59. Long, E.R., MacDonald, D.D., Smith, S.L., and Calder, F.. (1995). Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarinesediments. Environ. Manage.19, 81–97.
60. Long, E.R., Field, L.J., and MacDonald, D.D. (1998). Predicting toxicity in marine sediments with numerical sediment quality guidelines. Environ. Toxicol. Chem. 17, 714–727.
61. Lutze, G.F., Altenbach, A., 1991. Technik und Signifikanz der Lebendfärbung benthischer Foraminiferen mit Bengalrot. Geologisches Jahrbuch A128, 251-65.
62. Lykousis, V., Anagnostou, C., Pavlakis, P., 1995. Quaternary sedimentary history and neotectonic evolution of the eastern part of Central Aegean Sea, Greece. Marine Geology 128, 59–71.

63. Lutze, G.F., Colbourn, W.T., 1984. Recent benthic foraminifera from the continen-tal margin of Northwest Africa, community structure and distribution. Mar.Micropaleontol. 8, 361–401.
64. Λιώσης Ν., "Μέθοδοι και τεχνικές γεωμορφολιγικής χαρτογράφισης: φύλλα χάρτη Γ.Υ.Σ. Κορωπί και Πλάκα (κλίμακα 1:50.000), (2013)
65. Mojtahid, M., Jorissen, F., Durrieu, J., Galgani, F., Howa, H., Redois, F., Camps, R.,2006. Benthic foraminifera as bio-indicators of drill cutting disposal in tropicaleast Atlantic outer shelf environments. Mar. Micropaleontol. 61, 58–75.
66. Murray, J.W., 1991. Ecology and Palaeoecology of Benthic Foraminifera. Longman, Wiley, Harlow/Essex, New York, NY, p. 397.
67. Murray, J.W., 2006. Ecology and Applications of Benthic Foraminifera. CambridgeUniversity Press, New York, pp. 426–429.
68.
69. Naeher, S., Geraga, M., Papatheodorou, G., Ferentinos, G., Kaberi, H., Schubert, C.J.,2012. Environmental variations in a semi-enclosed embayment (AmvrakikosGulf, Greece) – reconstructions based on benthic foraminifera abundance andlipid biomarker pattern. Biogeosciences 9, 5081–5094.
70. Nikulina, A., Polovodova, I., Schönfeld, J., 2008. Foraminiferal response to environmental changes in Kiel Fjord, SW Baltic Sea. eEarth 3, 37–49.
71. Ori, G.G., 1989. Geologic history of the extensional basin of the Gulf of Corinth (?Miocene-Pleistocene),Greece 918–921. doi:10.1130/0091 7613(1989)017<0918
72. Pavlopoulos K.. Evelpidou N. Vassilopoulos A., (2009), Mapping Geomorphological Environments, Berlin, Springer.
73. Παυλόπουλος Κ., (2011), Γεωμορφολογια – Εισαγωγή στις Γεωεπιστήμες, Αθήνα, εκδ. ΙΩΝ.
74. Παυλοπουλος Κ., Κοτάμπαση Χ., Σκέντος Α., «Γεωμορφολογική εξέλιξη του Λεκανοπεδίου των Αθηνών», Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας τομ.XXXVIII, (2005), σελ. 1-13.
75. Papanikolaou, D., Lykousis, V., Chronis, G., Pavlakis, P., 1988. A comparative study of neotectonic basins across the Hellenic arc: the Messiniakos, Argolikos, Saronikos and Southern Evoikos Gulfs. Basin Research.
76. Papanikolaou, I.D., Triantaphyllou, M., Pallikarakis, A., Migiros, G., 2015. Active faulting at the Corinth Canal based on surface observations, borehole data and paleoenvironmental interpretations. Passive rupture during the 1981 earthquake sequence? Geomorphology 237, 65–78. doi:10.1016/j.geomorph.2014.10.036
77. Piper, D.J.W., Stamatopoulos, L., Poulimenos, G., Doutsos, T., Kontopoulos, N., 1990. Quaternary history of the Gulfs of Patras and Corinth, Greece. Zeitschrift für Geomorphologie 34, 451–458.
78. Rögl, F., Bernor, R.L., Dermitzakis, M.D., Müller, C., Stancheva, M., 1991. On the Pontian Correlation in the Aegean (Aegina Island). Newsletters on Stratigraphy 24, 137–158.
79. Roberts, G.P., Houghton, S.L., Underwood, C., Papanikolaou, I., Cowie, P.A., van Calsteren, P., Wigley, T., Cooper, F.J., McArthur, J.M., 2009. Localization of Quaternary slip rates in an active rift in 105 years: An example from central Greece constrained by 234 U- 230 Th

coral dates from uplifted paleoshorelines. Journal of Geophysical Research 114, B10406. doi:10.1029/2008JB005818

80. Saffert, H., Thomas, E., 1998. Living foraminifera and total populations in salt marsh peat cores: Kelsey Marsh (Clinton, CT) and the Great Marshes (Barnstable, MA), Marine Micropaleontology 33(3-4), 175-202.
81. Shackleton, N.J., Opdyke, N.D., 1976. Oxygen isotope and palaeomagnetic stratigraphy of Equatorial Pacific Core V28-239, Late Pliocene to Latest Pleistocene, in: Investigations of Late Quaternary Paleoceanography and Paleoclimatology. pp. 449–464. doi:10.1130/MEM145-p449
82. Shackleton, N.J., 2000. The 100,000-Year Ice-Age Cycle Identified and Found to Lag Temperature, Carbon Dioxide, and Orbital Eccentricity. Science 289, 1897–1902. doi:10.1126/science.289.5486.1897
83. Siddall, M., Rohling, E., Almogi-Labin, A., Hemleben, C., Meischner, D., Schmelzer, I., Smeed, D. a, 2003. Sea-level fluctuations during the last glacial cycle. Nature 423, 19–24. doi:10.1038/nature01687.1.
84. Simboura, N., Zenetos, A., and Pancucci-Papadopoulou, M.A. (2014). Benthic communityindicators over a long period of monitoring (2000–2012) of the Saronikos Gulf, Greece, Eastern Mediterranean. Environ. Monit. Assess. 186, 3809–3821.
85. Scott, D.B., Schafer, C.T., Medioli, F.S., 2004. Monitoring in coastal environments using foraminifera and thecamoebian indicators. Cambridge University Press, p. 177.
86. Schafer, C.T., Wagner, F.J.E., Ferguson, C., 1975. Occurrence of foraminifera, molluscs and ostracods adjacent to the industrialized shoreline of Canso Strait, Nova Scotia. Water, Air and Soil Pollution 5, 79–96.
87. Sen Gupta, B.K., 2000. Introduction to modern Foraminifera. In: Sen Gupta, B.K., (Ed.), Modern Foraminifera, Kluwer Academic Publishers, Great Britain, pp. 3-6.
88. Sen Gupta, B.K., Turner, R.E., Rabalais, N.N., 1996. Seasonal oxygen depletion on continental-shelf waters of Louisiana: historical records on benthic foraminifera. Geology 24, 227–230.
89. Sgarrella, F., Moncharmont Zei, M., 1993. Benthic foraminifera of the Gulf of Naples (Italy): systematics and autoecology. Bollettino della Società Paleontologica Italiana 32, 145-264.
90. Samir, A.M., El-Din, A.B., 2001. Benthic foraminiferal assemblages and morphologicalabnormalities as pollution proxies in two Egyptian bays. Mar. Micropaleontol.41, 193–227.
91. Schafer, C.T., 2000. Monitoring nearshore marine environments using benthicforaminifera: some protocols and pitfalls. Micropaleontology 46, 161–169.
92. Vilks, G., Schafer, C.T., Walker, D.A., 1975. Influence of a causeway on oceanography and foraminifera in the Strait of Canso, Nova Scotia. Canadian Journal of Earth Sciences 12, 2086–2102.
93. Voutsinou-Taliadouri, F. (1981). Metal pollution in the Saronikos Gulf. Mar. Pollut. Bull. 12, 163–168.
94. Waelbroeck, C., Labeyrie, L., Michel, E., Duplessy, J.C., McManus, J.F., Lambeck, K., Balbon, E., Labracherie, M., 2002. Sea-level and deep water temperature changes derived from

benthic foraminifera isotopic records. Quaternary Science Reviews 21, 295–305. doi:10.1016/S0277-3791(01)00101-9

95. Χαραλαμπάκης, Σ., 1952. Συμβολή στη γνώση του Νεογενούς της Αττικής. Anales Geologiques des Pays Helleniques 1, 1–156.
96. Χριστοδούλου, Γ., 1961. Τα τρηματοφόρα του θαλάσσιου Νεογενούς της Αττικής. Γεωλογικές και Γεωφυσικές Μελέτες. Ι.Γ.Μ.Ε. VII.
97. Yanko, V., Ahmad, M., Kaminski, M.A., 1998. Morphological deformities of benthic foraminiferal tests in response to pollution by heavy metals: Implications for pollution monitoring. Journal of Foraminiferal Research 28, 177-200.
98. Zarkanellas, A.J. (1979a). The effects of pollution-induced oxygen deficiency on the benthos in Elefsis Bay, Greece. Mar. Environ. Res. 2, 191–207.
99. Zarkanellas, A.J. (1979b). Oxygen-deficient and organic carbon fields expansion in Elefsis Bay, Greece. Mar. Pollut. Bull. 10, 11–13.