



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών
— ΙΔΡΥΘΕΝ ΤΟ 1837 —



Τμήμα Γεωλογίας και
Γεωπεριβάλλοντος

Διπλωματική Εργασία

Επιφανειακά ιζηματολογικά χαρακτηριστικά

του Σαρωνικού Κόλπου

Των Φοιτητών

ΜΠΙΡΠΑΝΑΓΟΥ ΓΕΩΡΓΙΟΥ

ΑΜ:1114201000057

ΤΣΟΛΑΚΙΔΗ ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΥ

ΑΜ:1114201100093

Επιβλέπων Καθηγητής: ΣΕΡΑΦΕΙΜ Ε.ΠΟΥΛΟΣ

Αθήνα, 2023

Περίληψη

Σκοπός της εργασίας είναι να μελετήσει την κοκκομετρία (ιζηματολογία) του Σαρωνικού Κόλπου. Τα δείγματα που αναλύθηκαν προέρχονται από που συλλέχθηκαν τον Οκτώβριο του 2017 με το Ω/Κ ΑΙΓΑΙΟ. Οι κοκκομετρικές αναλύθηκαν και συσχετίστηκαν με το γενικότερο γεωλογικό και ωκεανογραφικό πλαίσιο της ευρύτερης περιοχής. Οι αναλύσεις αποκαλύπτουν διαφοροποιημένες κοκκομετρικές συνθήκες μεταξύ των τριών κατηγοριοποιημένων περιοχών (Ανατολικός τομέας, Δυτικός εσωτερικός (βόρειο τμήμα) και εξωτερικός (νότιο τμήμα) του Σαρωνικού Κόλπου.

Λέξεις-κλειδιά: Κοκκομετρία, Σαρωνικός Κόλπος, κοκκομετρικό μέγεθος, γραφική τιμή απόκλισης ασυμμετρία και κύρτωση της ποσοστιαίας κατανομής του μεγέθους των κόκκων.

Abstract

The aim of this work is to study the grain size distribution (sedimentology) of the Saronic Gulf. The samples analysed are from samples collected in October 2017 with the R/V AEGAIOS. The grain sizes were analysed and correlated with the general geological and oceanographic context of the region. The analyses reveal differentiated grain size conditions between the three categorised areas (Eastern sector, Western Interior (northern part) and Outer (southern part) of the Saronic Gulf.

Keywords: Granulometry, Saronic Gulf, grain size, graphical standard deviation, skewness, kurtosis.

Περιεχόμενα

Περίληψη	2
Περιεχόμενα	3
Κατάλογος εικόνων	4
Κατάλογος πινάκων.....	5
Κεφάλαιο 1 ^ο – Εισαγωγή	6
Κεφάλαιο 2 ^ο – Περιοχή Μελέτης (Σαρωνικός Κόλπος)	10
2.1. Παρουσίαση των γεωγραφικών δεδομένων της περιοχής	10
2.2 Γεωλογικά στοιχεία της περιοχής	12
2.2.1 Το αλπικό υπόβαθρο της περιοχής	12
2.2.2 Ηφαιστειακές εμφανίσεις	16
2.3 Γεωμορφολικά χαρακτηριστικά.....	19
2.3.1 Μορφολογική παρουσίαση του πυθμένα του Σαρωνικού κόλπου	19
2.3.2 Η εξέλιξη του Σαρωνικού Κόλπου και η μορφολογία των παράκτιων περιοχών	19
2.4 Ιζηματολογικά χαρακτηριστικά	23
Κεφάλαιο 3 ^ο – Συλλογή δεδομένων – Εργαστηριακές αναλύσεις	26
3.1 Συλλογή δεδομένων.....	26
3.2 Εργαστηριακές αναλύσεις – κοκκομετρία.....	27
Κεφάλαιο 4 ^ο . Αποτελέσματα - Συζήτηση	35
Κεφάλαιο 5 ^ο – Συμπεράσματα.....	41
Βιβλιογραφικές αναφορές.....	42

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1.	Βαθυμετρικός χάρτης του Σαρωνικού Κόλπου (Τροποποιημένο φύλλο 423-Υδρογραφική Υπηρεσία, 1997)	11
Εικόνα 2.	Γεωλογικός χάρτης της περιοχής (ΙΓΜΕ (ΙΓΕΥ), 1971b, 1971a - ΙΓΜΕ, 1982, 1984a, 1984b, 1984c, 1985, 1986, 1992, 2003, 2007)	12
Εικόνα 3.	Τεκτονο-στωματογραφικά πεδία και γεωτεκτονικές ενότητες που αναγνωρίζονται περιμετρικά του Σαρωνικού Κόλπου (Παπανικολάου, 2015)	13
Εικόνα 4.	Το ενεργό ηφαιστειακό τόξο του νοτίου Αιγαίου	17
Εικόνα 5.	Γεωλογικός χάρτης των Μεθάνων	18
Εικόνα 6.	Παλαιογεωγραφικός χάρτης του Σαρωνικού Κόλπου πριν 18.000 χρόνια. Με την έντονη μαύρη γραμμή απεικονίζεται η σημερινή ακτογραμμή (κατά Μαριολάκος και Θεοχάρης, 2001). 20	
Εικόνα 7.	Παλαιογεωγραφικός χάρτης του Σαρωνικού Κόλπου πριν από 12.000 χρόνια. Με την έντονη μαύρη γραμμή απεικονίζεται η σημερινή ακτογραμμή (κατά Μαριολάκος και Θεοχάρης, 2001).	21
Εικόνα 8.	Παλαιογεωγραφικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής του Κόλπου της Ελευσίνας πριν από 7.000 χρόνια (κατά Μαριολάκος & Θεοχάρης, 2001). Με την έντονη μαύρη γραμμή απεικονίζεται η σημερινή.	22
Εικόνα 9.	Σημερινή τοπογραφία Σαρωνικού Κόλπου (κατά Μαριολάκος και Θεοχάρης, 2001). 22	
Εικόνα 10.	Υποθαλάσσιος Νεοτεκτονικός και Ιζηματολογικός χάρτης του Σαρωνικού Κόλπου (Παπανικολάου et al., 1989)	24
Εικόνα 11.	Διάγραμμα κατανομής των επιφανειακών ιζημάτων στον Σαρωνικό Κόλπο.	25
Εικόνα 12.	Box Core: Διάφορα στάδια από τη συλλογή του δείγματος μέχρι το άνοιγμα του 26	
Εικόνα 13.	Ταξινόμηση κοκκομετρικών κλάσεων (τροποποιημένο από τον Wentworth)	28
Εικόνα 14.	Τριγωνομετρική ταξινόμηση ιζήματος, Folk 1980 όπου α:Κροκάλες-Άμμος-Πηλός και β:Άμμος-Ίλύς-Άργιλος	29
Εικόνα 15.	Απεικονίσεις αποτελεσμάτων μιας κοκκομετρικής ανάλυσης όπου α:ιστόγραμμα, β:καμπύλη συχνότητας και γ: αθροιστική καμπύλη	30
Εικόνα 16.	Θεσεις επιφανειακών δειγμάτων	

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1. Παρουσίαση των στατιστικών παραμέτρων της κοκκομετρίας καθώς και το ποσοστό σε άμμο, ιλύς, άργιλο και CaCO_3 των δειγμάτων A4, A3, A1, A2, A4 και A5 που αφορούν τον Δυτικό Σαρωνικό κόλπο 36

Πίνακας 2. Παρουσίαση των στατιστικών παραμέτρων της κοκκομετρίας καθώς και το ποσοστό σε άμμο, ιλύς, άργιλο και CaCO_3 των επιφανειακών δειγμάτων B1, B2, B3, B4 και B5 που αφορούν τον Ανατολικό Εσωτερικό Σαρωνικό κόλπο 36

Πίνακας 3. Παρουσίαση των στατιστικών παραμέτρων της κοκκομετρίας καθώς και το ποσοστό σε άμμο, ιλύς, άργιλο και CaCO_3 των δειγμάτων Γ1, Γ3 και Γ2 που αφορούν τον Ανατολικό Εξωτερικό Σαρωνικό κόλπο 37

Κεφάλαιο 1^ο – Εισαγωγή

Η ιζηματολογία ως επιστημονικό πεδίο, ασχολείται με την μελέτη των ιζημάτων - αυτών των λεπτόκοκκων, οργανογενών ή ανόργανων υλικών που καταλήγουν στον πυθμένα υδάτινων σωμάτων (Deng, et al, 2022 - Belkina, et al, 2023). Τα ιζήματα αποτελούν σημαντικούς δείκτες των γεωλογικών, ωκεανογραφικών, βιολογικών και περιβαλλοντικών συνθηκών σε μια δεδομένη περιοχή.

Ο Σαρωνικός κόλπος, που βρίσκεται στο νοτιοανατολικό τμήμα της Αττικής, αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς και ιστορικούς κόλπους της Ελλάδας. Στα δυτικά όρια του Σαρωνικού βρίσκεται ο κόλπος της Ελευσίνας, μια περιοχή με βαθιά ιστορική και πολιτιστική κληρονομιά. Λόγω της γεωγραφικής τους θέσης, των πολιτικών και οικονομικών δραστηριοτήτων, καθώς και της ανθρώπινης επιρροής, αυτές οι περιοχές έχουν υποστεί ποικίλες περιβαλλοντικές αλλαγές κατά τη διάρκεια των χρόνων.

Η ιζηματολογία, δηλαδή η επιστημονική μελέτη των ιζημάτων, διαδραματίζει κεντρικό ρόλο στη γεωλογική και περιβαλλοντική έρευνα. Τα ιζήματα αποτελούν ανακολουθικά επικαθήμενες λεπτόρρευστες στρώσεις στον πυθμένα των υδάτινων σωμάτων. Κάθε στρώση είναι ένα στιγμιότυπο του χρόνου, καταγράφοντας πληροφορίες σχετικά με τις συνθήκες που επικρατούσαν κατά την περίοδο της δημιουργίας της (Zolitschka et al., 2015 - Rebesco et al., 2014). Μέσα από την προσεκτική ανάλυση αυτών των στρωμάτων, οι γεωλόγοι και οι περιβαλλοντολόγοι μπορούν να αποκαλύψουν σημαντικές πληροφορίες για γεγονότα, όπως αλλαγές στο κλίμα, γεωλογικές διαδικασίες όπως αναγωγές και διαβρώσεις, και ανθρωπογενείς επιδράσεις, όπως η ρύπανση (Irrgang et al., 2022 - Zalasiewicz et al., 2011). Επιπλέον, τα χημικά στοιχεία, οι μικροοργανισμοί και οι κόκκοι που περιλαμβάνονται στα ιζήματα μπορούν να παράσχουν ενδείξεις για τις θαλάσσιες συνθήκες, τη διατροφική αλυσίδα και άλλες περιβαλλοντικές παραμέτρους. Συνεπώς, τα ιζήματα αποτελούν ένα σημαντικό αρχείο της γεωλογικής και περιβαλλοντικής ιστορίας μιας περιοχής (Ali et al., 2019 - Chapman & Wang, 2001).

Τα ιζήματα σε θαλάσσιο περιβάλλον διαφέρουν αναλόγως των συνθηκών της περιοχής, των υπαρχόντων ρευμάτων, της προέλευσης του υλικού, καθώς και πολλών άλλων παραγόντων. Παρ' όλα αυτά, υπάρχουν κάποια γενικά χαρακτηριστικά που εντοπίζονται στα θαλάσσια ιζήματα όπως (Smrzka et al., 2019 - Birch, 2017):

- Σωματιδιακό Μέγεθος:** Τα θαλάσσια ιζήματα συνήθως αποτελούνται από λεπτόρρευστα σωματίδια, όπως λάσπη, άμμος ή πηλός. Η λάσπη είναι το λεπτότερο σωματίδιο μεταξύ των τριών και αποτελείται κυρίως από πηλικά και σιλτικά σωματίδια (Vandenberghe, 2013 - Blott & Pye, 2012). Λόγω του μικροσκοπικού μεγέθους των σωματιδίων, η λάσπη έχει υψηλή ικανότητα να διατηρεί νερό και να σχηματίζει στρώσεις με χαμηλή διαπερατότητα (Murray, 1991 - Mills, 1983). Η άμμος συνήθως αποτελείται από πιο σκληρά και μεγαλύτερα σωματίδια σε σχέση με τη λάσπη. Η άμμος έχει σχετικά υψηλή διαπερατότητα και δεν μπορεί να διατηρήσει την υγρασία όπως η λάσπη. Τα σωματίδια της άμμου είναι συνήθως πολύγωνα και ποικίλουν σε μέγεθος από 0,0625 ως 2 χιλιοστά (Evans, 2007 - Hurst et al., 2011). Τέλος ο πηλός αποτελείται από τα λεπτότερα σωματίδια που είναι μικρότερα από 0,00375 χιλιοστά. Ο πηλός έχει την ιδιότητα να διογκώνεται όταν είναι υγρός και να συρρικνώνεται όταν στεγνώνει, δημιουργώντας ρωγμές (Elert & Rodríguez-Navarro, 2022 - Somasundaram et al., 2018). Το σωματιδιακό μέγεθος των ιζημάτων είναι ένας κρίσιμος παράγοντας που επηρεάζει την κινητικότητα των ρύπων, την διάχυση ουσιών και τις βιοχημικές διεργασίες στο θαλάσσιο περιβάλλον. Επίσης, οι περιοχές με διαφορετικά σωματιδιακά μεγέθη συχνά υποστηρίζουν διαφορετικές βιολογικές κοινότητες (Joo & Zhao, 2017 - Perele, 2010).
- Οργανικό Περιεχόμενο:** Τα ιζήματα συχνά περιέχουν οργανική ύλη, όπως φυτοπλαγκτόν, ζωοπλαγκτόν, φύκια και μικροοργανισμούς. Η οργανική ύλη που βρίσκεται στα ιζήματα προέρχεται κυρίως από τον νεκρό βιοτικό παράγοντα του θαλάσσιου περιβάλλοντος (Hedges & Oades, 1997). Καθώς τα οργανισμοί πεθαίνουν και κατακαθίζουν στον πυθμένα, οι αναλυτικοί μικροοργανισμοί αρχίζουν να διασπάζουν την οργανική ύλη, απελευθερώνοντας διάφορα θρεπτικά στοιχεία στο ιζηματικό περιβάλλον (Simon et al., 2002 - Thomas, 1997). Η αποικοδόμηση της οργανικής ύλης από τους μικροοργανισμούς μπορεί να αποτελέσει μια σημαντική πηγή ανοξειδωτων συνθηκών στον πυθμένα, επηρεάζοντας τη γεωχημία των ιζημάτων (Hedges & Oades, 1997 - Zhang et al., 2014). Επιπρόσθετα, η οργανική ύλη μπορεί να επηρεάσει τη φυσική συμπεριφορά των ιζημάτων, καθιστώντας τα περισσότερο ευαίσθητα σε ερευνητικές διεργασίες ή στην ανακίνηση από έργα συντήρησης/ διατήρησης (Spreybroeck et al., 2006 - Burton & Johnston, 2010). Τέλος, η οργανική ύλη στα ιζήματα μπορεί να δεσμεύσει ή να ελευθερώσει τοξικά ή ρυπογόνα στοιχεία, επηρεάζοντας την κινητικότητά τους στο θαλάσσιο περιβάλλον (Peng et al., 2009 - Eggleton & Thomas, 2004).

- **Μεταλλικά Στοιχεία:** Τα μεταλλικά στοιχεία στα ιζήματα μπορούν να προέρχονται από φυσικές πηγές (όπως το φυσικό υπόβαθρο της περιοχής) ή από ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως η βιομηχανία, η γεωργία και η απόρριψη ακαθάρτων στοιχείων. Ανάλογα με την προέλευση και την κινητικότητα τους, αυτά τα μεταλλικά στοιχεία μπορούν να έχουν διάφορες επιδράσεις στο θαλάσσιο περιβάλλον και στην ανθρώπινη υγεία (Raju, 2022 - Taylor & Owens, 2009). Μερικά βαρέα μέταλλα, όπως το μόλυβδος, το κάδμιο και τον υδράργυρο, μπορούν να είναι τοξικά για τους ανθρώπους και μπορεί να εισέλθουν στη διατροφική αλυσίδα μέσω των θαλάσσιων οργανισμών (Bosch et al., 2015 - Negahdari et al., 2021 - Jaishankar et al., 2014).
- **Χημική Σύσταση:** Η χημική σύσταση των ιζημάτων αποτελεί ένα ζωτικό παράγοντα για την κατανόηση των γεωχημικών και περιβαλλοντικών συνθηκών μιας θαλάσσιας περιοχής. Τα διάφορα χημικά στοιχεία και ιόντα που βρίσκονται στα ιζήματα αντανακλούν την αλληλεπίδραση μεταξύ του υποβάθρου, των υδάτινων μαζών και της βιολογικής δραστηριότητας (Warren et al., 2003 - Rashid, 1985). Η περιεκτικότητα σε ιόντα όπως τα ιόντα ασβεστίου, μαγνησίου, θείου και φωσφόρου μπορεί να δώσουν πληροφορίες για τις γεωχημικές διεργασίες στο θαλάσσιο περιβάλλον. Για παράδειγμα, υψηλές ποσότητες θείου, κυρίως σε μορφή διθειού, μπορούν να αναδείξουν αναερόβιες συνθήκες στο ιζηματικό περιβάλλον, όπου η βαθμιαία απόσπαση του οργανικού θείου από τους αποθαμένους οργανισμούς συμβαίνει υπό αναερόβιες συνθήκες (Cheng et al., 2009 - Pokorná & Záborská, 2015).
- **Στρωματογραφία:** Η στρωματογραφία αποτελεί ένα βασικό εργαλείο στη γεωλογία και την παλαιοντολογία. Με τη μελέτη των διαδοχικών στρωμάτων των ιζημάτων και της δομής τους, ανάγονται πληροφορίες για την ιστορία του περιβάλλοντος σε μια συγκεκριμένη περιοχή (NRC, 2001 - Wilke et al., 2016). Για παράδειγμα, τα παλαιότερα στρώματα βρίσκονται συνήθως στο κάτω μέρος, ενώ τα νεότερα στο πάνω μέρος. Η διαδοχή αυτή μπορεί να παράσχει πληροφορίες για την ιστορική εξέλιξη του περιβάλλοντος. Διαφοροποιήσεις στην κοκκομετρία, το χρώμα, το περιεχόμενο οργανικής ύλης ή τα μεταλλικά στοιχεία μπορούν να δείχνουν διαφορετικές συνθήκες κατά τη διάρκεια της απόθεσης των ιζημάτων (Koiter et al., 2013 - Laceby et al., 2017).

- **Φυσικές Ιδιότητες:** Οι φυσικές ιδιότητες των ιζημάτων είναι θεμελιώδεις για την κατανόηση της συμπεριφοράς τους υπό διάφορες συνθήκες και των αλληλεπιδράσεων τους με το περιβάλλον (Koiter et al., 2013). Οι πιο σημαντικές φυσικές ιδιότητες των ιζημάτων περιλαμβάνουν την πυκνότητα, τη διαπερατότητα και τη συμπίεση, ανάλογα με τη σύσταση και την προέλευση τους. Η πυκνότητα ενός ιζήματος ενδέχεται να επηρεάζεται από την περιεκτικότητα σε νερό, τον τύπο των σωματιδίων και την περιεκτικότητα σε οργανική ύλη (Li et al., 2022 - Bjørlykke, 2014). Η διαπερατότητα εξαρτάται κυρίως από το μέγεθος και τη διάταξη των σωματιδιακών πόρων (Lee et al., 2004). Τα ιζήματα με υψηλή περιεκτικότητα σε νερό είναι πιο συμπιεστικά σε σχέση με αυτά που είναι πιο στερεά (Waite et al., 2009).

Σκοπός και στόχοι της έρευνας

Ο βασικός σκοπός αυτής της έρευνας είναι η κατανόηση των γεωλογικών, ωκεανογραφικών και περιβαλλοντικών συνθηκών στον Σαρωνικό κόλπο, μέσω της ανάλυσης των ιζημάτων που συλλέχθηκαν από τον πυθμένα του.

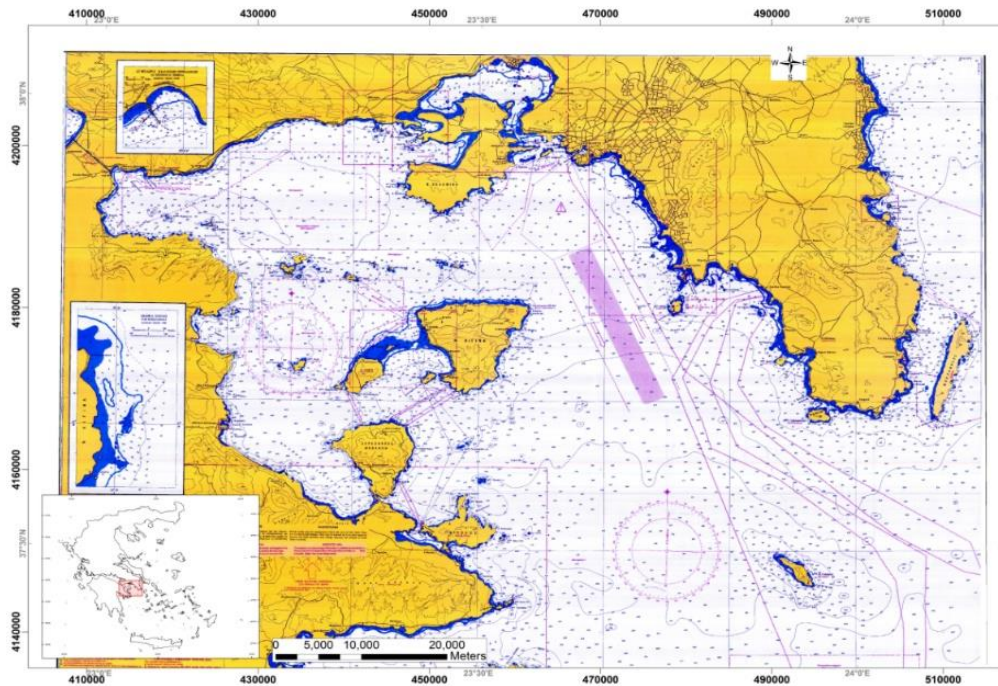
Κεφάλαιο 2^ο – Περιοχή Μελέτης (Σαρωνικός Κόλπος)

Ο Σαρωνικός κόλπος αποτελεί μια σημαντική γεωγραφική οντότητα της κεντρικής Ελλάδας, με μακρόχρονη ιστορική, οικονομική και περιβαλλοντική σημασία. Η γεωγραφική του θέση και η προσβασιμότητά του έχουν διαμορφώσει σημαντικά τις οικονομικές και πολιτιστικές διαδικασίες της περιοχής. Η μορφολογία του Σαρωνικού κόλπου, καθώς και η σύνδεσή του με άλλα γειτονικά υδάτινα σώματα, είναι αποτέλεσμα πολύπλοκων τεκτονικών διεργασιών που έχουν συμβεί στην περιοχή. Η διώρυγα του Ισθμού της Κορίνθου, παρόλο που είναι τεχνητό έργο, έχει διαμορφώσει σημαντικά τις ναυτιλιακές δραστηριότητες και την οικονομική δυναμική της περιοχής. Επίσης, η περιοχή γύρω από τον Σαρωνικό κόλπο έχει μεγάλη ιστορική και πολιτιστική κληρονομιά, καθώς στις ακτές του βρίσκονται σημαντικά αρχαιολογικά μνημεία, όπως ο ναός του Ποσειδώνα στο Σούνιο.

2.1. Παρουσίαση των γεωγραφικών δεδομένων της περιοχής

Ο Σαρωνικός κόλπος είναι μια περιοχή στην κεντρική Ελλάδα, αναπτύσσοντας ένα τμήμα του Αιγαίου Πελάγους με επιφάνεια περίπου 3000 km². Βρίσκεται μεταξύ των ακτών της Αττικής στα βόρεια και βορειοανατολικά, της Κορινθίας στα δυτικά, και της Αργολίδος στα νοτιοδυτικά (βλ. Εικόνα 1). Διαθέτει επίσης σύνδεση με τον Κορινθιακό κόλπο από τη διώρυγα του Ισθμού της Κορίνθου που κατασκευάστηκε το 1893, ενώ τα νοτιοανατολικά όρια του καθορίζονται από την εικονική γραμμή μεταξύ των ακρωτηρίων του Σουνίου και του Σκυλαίου, έχοντας μήκος περίπου 27 ναυτικά μίλια.

Ο Σαρωνικός κόλπος διαθέτει δύο κύριες λεκάνες: μια προς τη δύση και μια προς την ανατολή. Η δυτική λεκάνη καθορίζεται από τη γραμμή που συνδέει τα Μέθανα με την Αίγινα και τη Σαλαμίνα, ενώ η ανατολική λεκάνη χωρίζεται σε εσωτερικό βόρειο τμήμα και εξωτερικό νότιο τμήμα από τη γραμμή που συνδέει την Αίγινα με τις Φλέβες. Στο δυτικό τμήμα, υπάρχουν οι λεκάνες της Επιδαύρου, με μέγιστο βάθος περισσότερο από 400 μέτρα, και των Μεγάρων, με βάθος περίπου 250 μέτρα. Αντίθετα, το ανατολικό τμήμα παρουσιάζει πιο επίπεδη τοπογραφία και συνδέεται άμεσα με το Αιγαίο Πέλαγος. Προς τα βόρεια βρίσκεται το λιμάνι της Ελευσίνας, με βάθος ανάμεσα στα 20-30 μέτρα, το οποίο συνδέεται με τον κόλπο μέσω δύο στενών διαύλων με διαφορετικά βάθη, περίπου 10 μέτρα στα δυτικά και 30 μέτρα στα ανατολικά.



Εικόνα 1. Βαθυμετρικός χάρτης του Σαρωνικού Κόλπου (Τροποποιημένο φύλλο 423-Υδρογραφική Υπηρεσία, 1997)

Στον κόλπο βρίσκονται τα νησιά Σαλαμίνα, Αίγινα, Αγκίστρι και Πόρος, ενώ στην περιφέρεια του υπάρχουν πολλές νησίδες και βραχονησίδες. Οι πιο σημαντικές χερσόνησοι του κόλπου είναι αυτές του Πειραιά και των Μεθάνων. Στα δυτικά του ηφαιστείου των Μεθάνων, στην περιοχή που ονομάζεται Βαθύ, βρίσκεται το βαθύτερο σημείο του κόλπου, φτάνοντας τα 416 μέτρα.

Στον Σαρωνικό Κόλπο βρίσκονται περιοχές από διάφορους δήμους και δημοτικά διαμερίσματα. Βάσει της διαίρεσης, οι παράκτιες περιοχές κατανέμονται ως εξής:

- ΑΘΗΝΩΝ-ΠΕΙΡΑΙΩΣ: Πέραμα, Νέο Ικόνιο, Κερατσίνι, Χαραυγή, Δραπετσώνα, Πειραιάς, Νέο Φάληρο, Μοσχάτο, Καλλιθέα, Τζιτζιφιές, Δέλτα Φαλήρου, Φάληρο, Άλιμος ή Καλαμάκι, Ελληνικό, Άγιος Κοσμάς, Γλυφάδα
- ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ: Βούλα, Βουλιαγμένη, Βάρκιζα, Αγία Μαρίνα, Λαγονήσι, Σαρωνίδα, Ανάβυσσος, Παλαιά Φώκαια, Θυμάρι, Χάρακας, Λεγρενά
- ΝΟΜΟΣ ΚΟΡΙΝΘΙΑΣ: Μέγαρα, Λουτράκι
- ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ: Αφαία Χαϊδαρίου, Σκαρामαγκάς, Ασπρόπυργος, Ελευσίνα, Λουτρόπυργος, Νέα Πέραμος (Μεγάλο Πεύκο), Πάχη, Κινέτα
- ΝΟΜΟΣ ΑΡΓΟΛΙΔΟΣ: Επίδαυρος

ερευνητών (Papanikolaou, 1997 - Papanikolaou et al., 2004 - Παπανικολάου, 2015 - Papanikolaou, 2009):

- i. Το H1 αφορά την Εξωτερική πλατφόρμα των Ελληνίδων, όπου βρίσκεται και η ενότητα της Αττικής.
- ii. Το H2 σχετίζεται με τον Ωκεανό Πίνδου – Κυκλάδων, καλύπτοντας τμήματα της νότιας και ανατολικής Αττικής, καθώς και την περιοχή νότια των Μεθάνων, όπου υπάρχουν και οφιολιθικές εμφανίσεις.
- iii. Το H3 αναφέρεται στην Εσωτερική πλατφόρμα των Ελληνίδων, καταλαμβάνοντας το μεγαλύτερο μέρος της χερσαίας περιοχής γύρω από τον κόλπο.
- iv. Τέλος, το H4 συνδέεται με τον Ωκεανό Αξιού, όπου στην περιοχή της Αργολίδας σημειώνονται και εμφανίσεις οφιολίθων.



Εικόνα 3. Τεκτονο-στοματογραφικά πεδία και γεωτεκτονικές ενότητες που αναγνωρίζονται περιμετρικά του Σαρωνικού Κόλπου (Παπανικολάου, 2015)

Αναλυτικά, αρχίζοντας από την ανατολική πλευρά του Σαρωνικού Κόλπου, προσέρχονται κυρίως μάρμαρα και ασβεστολιθικοί σχηματισμοί, με εμφανίσεις που αναφέρονται στη σχιστοκερατολιθική σειρά, τα οποία χρονολογούνται στην Ιουρασική εποχή, σύμφωνα με τα δεδομένα του ΙΓΜΕ (ΙΓΜΕ, 1982, 1983, 2007). Προχωρώντας προς τον κόλπο της Ελευσίνας, παρατηρούμε την παρουσία τριαδικών-ιουρασικών ασβεστολίθων και δολομιτών, ενώ συμπληρώνονται από ασβεστόλιθους της περιόδου του Ανώτερου Κρητιδικού. Στη Σαλαμίνα,

η κατάσταση είναι παρόμοια, αλλά είναι αξιοσημείωτη η παρουσία φλυσχοειδών δομών από διαφορετικά στάδια. Στο νότιο μέρος του νησιού, υπάρχουν σημάδια προαλπικών σταδίων της Ανώτερης Παλαιοζωικής περιόδου, όπως καταγράφεται από τις δημοσιεύσεις του ΙΓΜΕ (ΙΓΜΕ (ΙΓΕΥ), 1971a - ΙΓΜΕ, 1982, 1983, 1984a, 1986).

Στο βόρειο και ανατολικό μέρος του ισθμού της Κορίνθου, εντοπίζονται σημαντικές εμφανίσεις ασβεστόλιθων και δολομιτών που χρονολογούνται από την περίοδο Τριαδικό-Ιουρασικό, ενώ παρουσιάζονται και οφιόλιθοι (ΙΓΜΕ (ΙΓΕΥ), 1971b - ΙΓΜΕ, 1983, 1984a - Papanikolaou, 2009), οι οποίοι αποτελούν ένα ενδιαφέρον γεωλογικό χαρακτηριστικό λόγω της διαδικασίας σχηματισμού τους στον βυθό των ωκεανών. Στο νότιο μέρος του ισθμού, στο δυτικό παράκτιο τμήμα του Σαρωνικού, ασβεστόλιθοι διαφόρων γεωλογικών περιόδων είναι ορατοί, ήτοι του Τριαδικού, Ιουρασικού και Ανώτερου Κρητιδικού, δημιουργώντας ένα ιδιαίτερο φυσικό τοπίο. Στη Νέα Επίδαυρο, και συγκεκριμένα στο δυτικό και νοτιοδυτικό μέρος της, εκτός από τα παραπάνω, υπάρχουν επίσης σχιστοκερατολιθικά ευρήματα της Ιουρασικής περιόδου, οφιόλιθοι και φλύσχη, τα οποία είναι σημαντικά για τη γεωλογική ιστορία της περιοχής (ΙΓΜΕ (ΙΓΕΥ), 1971b - ΙΓΜΕ, 1983, 1984a, 1984b, 1984c, 1985 - Papanikolaou, 2009). Εγγύτερα στην Επίδαυρο και συγκεκριμένα νότια του κόλπου, τα ευρήματα φλύσχη κυριαρχούν καλύπτοντας ένα ιδιαίτερα μεγάλο τμήμα της περιοχής της Τροιζήνας (ΙΓΜΕ, 1983, 1984b), ενώ στο νότιο μέρος των παραλιών του Σαρωνικού και στον Πόρο, παρατηρούμε πλούσιες εμφανίσεις φλύσχη. Ενδιαφέροντα γεωλογικά δείγματα ασβεστόλιθων της περιόδου Ανώτερου Κρητιδικού υπάρχουν στην νότια ζώνη της χερσονήσου των Μεθάνων και σε ορισμένες περιοχές του Πόρου. Στο βορειοδυτικό τμήμα των Μεθάνων ξεχωρίζουν ασβεστόλιθοι του Τριαδικού-Κατωτέρου Ιουρασικού, ενώ στη Τροιζήνα και τον Πόρο παρατηρούνται θραύσματα οφιολίθων, αναδεικνύοντας τη γεωλογική πολυπλοκότητα της περιοχής (ΙΓΜΕ, 1983, 1984b - Papanikolaou, 2009).

Στη βόρεια περιοχή της Αίγινας υπάρχουν μικρές περιοχές με ασβεστόλιθους Πέρμιου-Τριαδικού και Ιουρασικού – Κρητιδικού, ενώ σε τεκτονικές ζώνες ξεχωρίζουν αυτές οι εμφανίσεις. Στον τοπικό οικισμό Καμάρα οι ασβεστόλιθοι της περιόδου Ανώτερου Κρητιδικού είναι ευδιάκριτοι, όπως αναφέρεται στην έρευνα του Dietrich και συνεργατών του το 1993. Στα υπόλοιπα νησιά του Σαρωνικού, όπως Αγκίστρι, Μονή, Μετόπη, Λαγούσες, Διαπόρια, η κύρια γεωλογική σύνθεση είναι ασβεστόλιθοι Ανώτερου Κρητιδικού. Στον Εβραίο και την Πλατειά υπάρχουν ασβεστόλιθοι Τριαδικού και Ιουρασικού, ενώ ο Αγ.

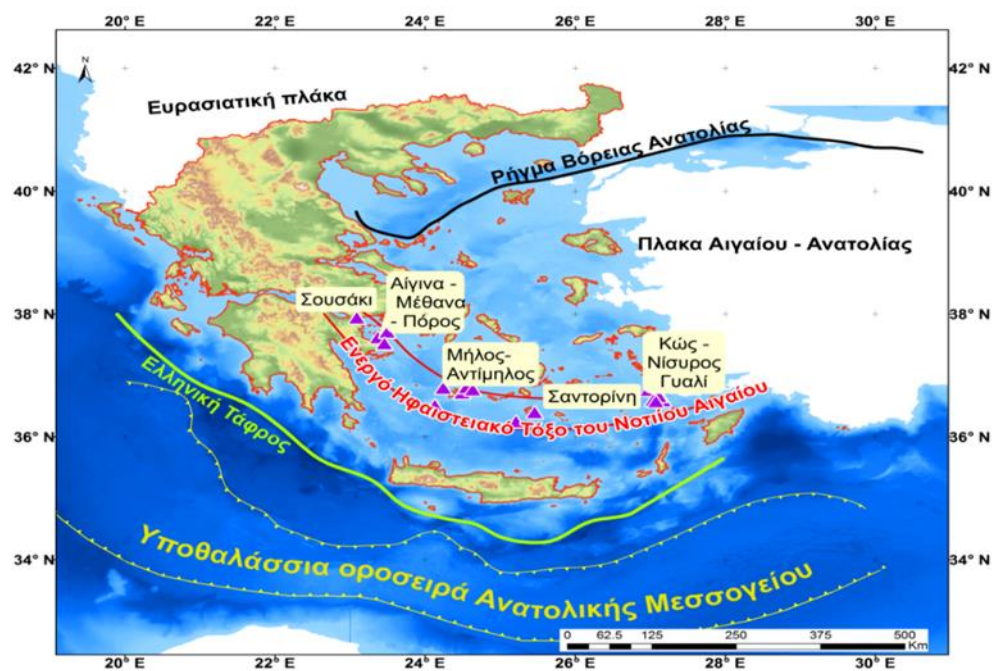
Γεώργιος (ή Βελβίνα) διαθέτει μεταμορφωμένα πετρώματα, σύμφωνα με τα δεδομένα του ΙΓΜΕ του 1983.

2.2.2 Ηφαιστειακές εμφανίσεις

Ο Σαρωνικός κόλπος ανήκει στο βορειοδυτικό τμήμα του Ηφαιστειακού τόξου του Νοτίου Αιγαίου, με τα κυριότερα ηφαιστειακά κέντρα του να είναι το Σουσάκι, τα Μέθανα, η Αίγινα και ο Πόρος. Η περίοδος δημιουργίας αυτών των κέντρων κυμαίνεται μεταξύ Πλειόκαινου και Πλειστόκαινου, όπως καταγράφεται από πολλούς ερευνητές, όπως Washington, Davis, Georgalas, Dietrich και άλλους, σε διάφορες δημοσιεύσεις (Washington, 1894, 1895a, 1895b - Davis, 1957 - Georgalas, 1962 - Dietrich et al., 1968, 1993 - Pe, 1974 - Fytikas et al., 1976, 1988 - ΙΓΜΕ, 1983 - Pe-Piper and Piper, 2013 - Francalanci et al., 2005 - Pe-Piper and Piper, 2005 - Nomikou et al., 2013) (Αναφορά στην Εικόνα 4). Προς τη νοτιοανατολική κατεύθυνση, το Ηφαιστειακό τόξο επεκτείνεται και καλύπτει περιοχές όπως η Μήλος, η Σαντορίνη, η Κως και η Νίσυρος.

Στο συγκεκριμένο σημείο του ηφαιστειακού τόξου -που περιλαμβάνει την Αίγινα, τα Μέθανα, τον Πόρο και τη Μήλο- τα πετρώματα είναι αντιπροσωπευτικά ασβεσταλκαλικά ηφαιστειακά. Συχνά αναφέρονται ως μέρος της "παλιάς δυτικής ομάδας". Στο Σουσάκι, τα μικρότερα ηφαιστειακά κέντρα παρουσιάζουν ρυοδακίτες και ρυολίθους, παρόμοια με αυτά που βρίσκονται στην Κω, και γίνονται γνωστά ως "περιθωριακοί ρυόλιθοι" (Pe-Piper and Piper, 2005). Τα ηφαιστειακά κέντρα του Σαρωνικού κόλπου εκτείνονται κατά μήκος τεκτονικών γραμμών με διαφορετικές κατευθύνσεις: Α-Δ και ΒΔ-ΝΑ στο Σουσάκι, Α-Δ, ΑΒΑ-ΔΝΔ και σε ορισμένες περιοχές ΒΔ-ΝΑ στην Αίγινα, Α-Δ και ΒΔ-ΝΑ στα Μέθανα, ενώ στον Πόρο η κατεύθυνση είναι κυρίως ΑΒΑ-ΔΝΔ, βάσει των στοιχείων που δόθηκαν από τους (Fytikas et al., 1988 - Francalanci et al., 2005).

Στην περιοχή του Σουσάκι, που είναι κοντά στους Αγίους Θεοδώρους, υπάρχουν εννέα μικρές περιοχές με λάβες που δημιουργούν ένα δομικό σχήμα καθώς και πυροκλαστικές ροές με περιορισμένο μέγεθος, όπως καταγράφηκε από τον Fytikas και τους συνεργάτες του το 1988. Στη σημερινή εποχή, στην ίδια περιοχή, υπάρχει ένα γεωθερμικό πεδίο με χαμηλή ενεργειακή αξία, όπως ανέφερε ο Fytikas το 1988. Επιπλέον, παρατηρείται μεταηφαιστειακή δραστηριότητα με την εκπομπή ατμίδων που έχουν θερμοκρασία περίπου 35-45°C και εκλύουν αέρια, όπως υδρόθειο, διοξείδιο του άνθρακα και υδρατμούς, βάσει ερευνών που διεξήχθησαν από τους Kyriakopoulos et al., 1990 - D'Alessandro et al., 2006.



Εικόνα 4. Το ενεργό ηφαιστειακό τόξο του νοτίου Αιγαίου

Το μεγαλύτερο μέρος της Αίγινας, περίπου τα 2/3, καλύπτεται από ηφαιστειακά πετρώματα. Η διανομή των ηφαιστειακών κέντρων και το γεωμετρικό τους πρότυπο φαίνεται να σχετίζεται με ρήγματα που έχουν διευθύνσεις Α-Δ, ΑΒΑ-ΔΝΔ και, σε κάποιες περιπτώσεις, ΒΔ-ΝΑ. Τα πετρώματα ποικίλλουν από βασαλτικούς ανδεσίτες έως δακίτες.

Στην περιοχή του Πόρου υπάρχει μια μικρή ηφαιστειακή περιοχή στο νότιο τμήμα του, που καλύπτει περίπου 1km². Αυτή η περιοχή φαίνεται να σχετίζεται με το τεκτονικό ρήγμα της Τροιζήνας που έχει διεύθυνση ΑΒΑ-ΔΝΔ. Τα κύρια πετρώματα εκεί είναι ανδεσιτικές λάβες, οι οποίες συνδέονται με ανδεσιτικές ροές που χρονολογούνται στα 3,1Ma, σύμφωνα με τον Fytikas και τους συνεργάτες του το 1988, και στα 2,6Ma βάσει των ερευνών του Matsuda και της ομάδας του το 1999.

Στη χερσόνησο των Μεθάνων υπάρχει ένα ηφαιστειακό κέντρο με έκταση περίπου 35km², το οποίο χαρακτηρίζεται από ανδεσιτική και δακιτική σύσταση (Fytikas et al., 1988). Στα βορειοδυτικά της χερσονήσου ανακαλύφθηκε το υποθαλάσσιο ηφαίστειο του Πανυσανία μέσω γεωφυσικών μεθόδων, όπως η σεισμική ανάκλαση (Παπανικολάου et al., 1989 - Παυλάκης et al., 1990). Το ηφαίστειο αυτό αποτελείται κυρίως από δακίτες. Τα δείγματα που λήφθηκαν από το υποθαλάσσιο ηφαίστειο δείχνουν ότι έχουν παρόμοιο χημισμό με αυτά του

ηφαιστειακού κέντρου των Μεθάνων, βάσει συγκριτικής ανάλυσης δειγμάτων (Mitropoulos et al., 1987 - Παυλάκης et al., 1990).



Εικόνα 5. Γεωλογικός χάρτης των Μεθάνων

Στην περιοχή των Μεθάνων, η μετα-ηφαιστειακή δραστηριότητα παρατηρείται σε διάφορα σημεία, όπως κοντά στο νότιο μέρος της πόλης των Μεθάνων, στην περιοχή Λουτρά, υπάρχουν θερμάλιδες πηγές με θερμοκρασίες μεταξύ 27-34°C, πλούσιες σε H₂S και CO₂, στο βόρειο μέρος της πόλης, η πηγή Αγίου Νικολάου έχει θερμοκρασία περίπου 40°C και στο βόρειο μέρος της χερσονήσου, στον Άγιο Νικόλαο, υπάρχει μια πηγή γνωστή ως Παισανία ή Παλαιά Λουτρά, με θερμοκρασίες από 32,8-38,8°C.

Επίσης, στην ανατολική πλευρά των Μεθάνων, στον κόλπο Λημνιώνας (Θειάφι), υπάρχουν ενδείξεις πρόσφατης φουμαρικής δραστηριότητας, αν και όχι σε σύγχρονη περίοδο, ενώ κοντά στην ακτή υπάρχουν υποθαλάσσιες πηγές από τις οποίες διαφεύγουν ρευστά (Alessandro et al., 2008).

2.3 Γεωμορφολικά χαρακτηριστικά

2.3.1 Μορφολογική παρουσίαση του πυθμένα του Σαρωνικού κόλπου

Ο Σαρωνικός κόλπος διαθέτει μια ρηχή υποθαλάσσια ζώνη που προσανατολίζεται από βόρεια προς νότια, χωρίζοντας τον κόλπο σε δύο πιο βαθιές περιοχές. Στο δυτικό μέρος, η λεκάνη περιλαμβάνει τις υπολεκάνες των Μεγάρων και της Επιδαύρου, φτάνοντας σε βάθος κοντά στα 416m κοντά στα Μέθανα. Αυτή η περιοχή διαθέτει απότομη τοπογραφία με αυξημένες κλίσεις και βραχώδεις ακτές.

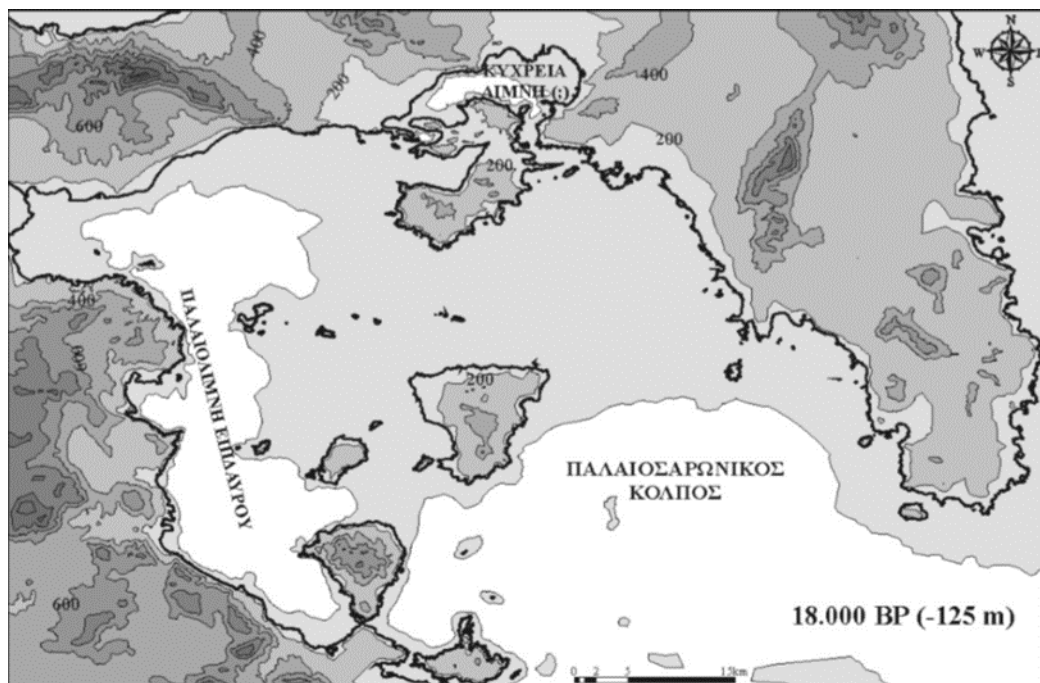
Από την άλλη πλευρά, ο ανατολικός Σαρωνικός έχει πιο επίπεδο ανάγλυφο με ζώνη βαθύτητας ανάμεσα στα 0 και 100m. Προς το νότο, υπάρχει μια περιοχή που ξεπερνά τα 200m βάθος, αλλά πιο νότια το βάθος μειώνεται εκ νέου. Οι κλίσεις εδώ είναι γενικά λιγότερο απότομες. Τέλος, το κεντρικό μέρος του Σαρωνικού, περιλαμβάνοντας τις περιοχές από τα Διαπόρια ως τις Φλέβες και από την Ελευσίνα μέχρι το Αγκίστρι και την Αίγινα, σχηματίζει ένα σταθερό πλάτωμα με βάθος κοντά στα 50m, σύμφωνα με τον Καλόσακας (2000).

2.3.2 Η εξέλιξη του Σαρωνικού Κόλπου και η μορφολογία των παράκτιων περιοχών

Ο Σαρωνικός κόλπος αποτελεί μια νεοτεκτονική περιοχή που δημιουργήθηκε τα τελευταία 4-5 εκατομμύρια ετών, όπως έχει τεκμηριωθεί από διάφορες επιστημονικές μελέτες (Fytikas et al., 1988 - Papanikolaou et al., 1988). Αυτή η εξέλιξη επιβεβαιώνεται και από τους θαλάσσιους γεωλογικούς σχηματισμούς των περιόδων Άνω Μειοκαινίου, Πλειοκαινίου και Πλειστοκαινίου που έχουν καταγραφεί γύρω από τον κόλπο, όπως αναφέρουν οι Leeder et al. (2008) και Papanikolaou et al. (2015) στις εργασίες τους και έχουν μελετηθεί στο παρελθόν.

Εξετάζοντας τις εικόνες 6, 7, 8 & 9, παρατηρούμε τις διαδοχικές αλλαγές στην παράκτια δομή του κόλπου κατά τη διάρκεια χιλιάδων ετών, καθώς επίσης και το πώς φαίνεται σήμερα. Ειδικότερα, φαίνονται οι αλλαγές στις ακτογραμμές και στην κατανομή της ξηράς και της θάλασσας 18.000 χρόνια πριν, στο τέλος της τελευταίας παγετώδους περιόδου, 12.000 χρόνια πριν, 7.000 χρόνια πριν, καθώς και το πως είναι η ακτογραμμή στις ημέρες μας, σύμφωνα με την μελέτη των Μαριολάκου και Θεοχάρη (2001).

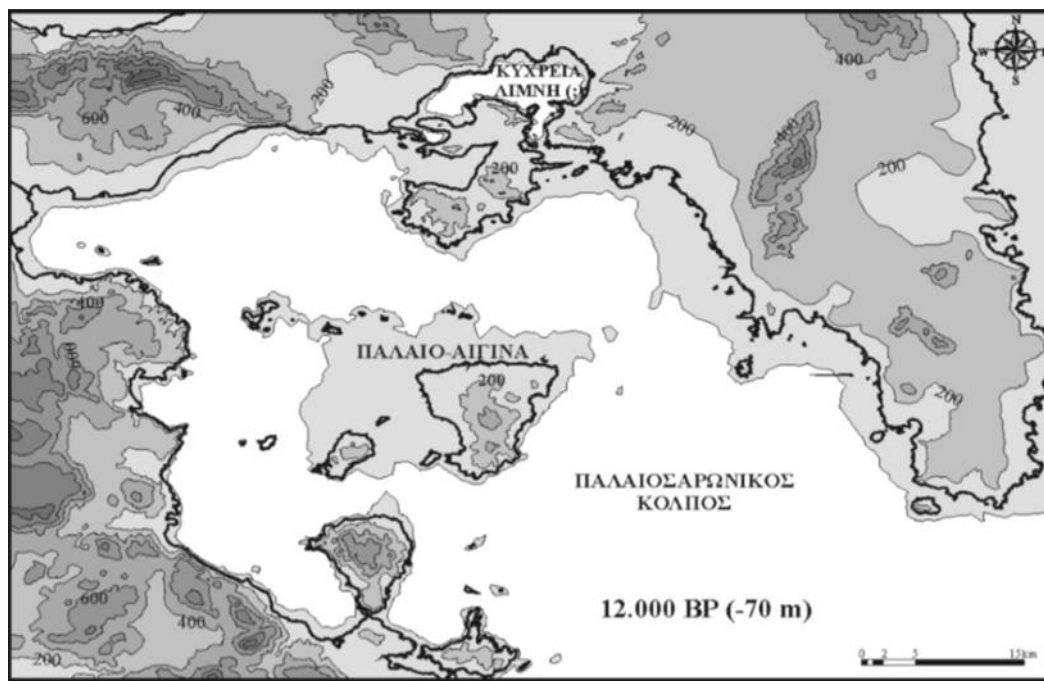
Πριν 18.000 χρόνια, η στάθμη της θάλασσας ήταν περίπου 125m χαμηλότερα απ' ό,τι σήμερα. Ο Πόρος, τα Μέθανα, το Αγκίστρι, η Αίγινα, η Σαλαμίνα και άλλα νησιά ήταν ενωμένα σε μια συνεχή ξηρά. Αυτή η μεγάλη ξηρά έκανε δύσκολη την επικοινωνία με άλλες θαλάσσιες περιοχές, με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί η λίμνη Επιδαύρου. Οι ωκεανογραφικές εργασίες επιβεβαίωσαν την ύπαρξη αυτής της λίμνης μέσω λιμναίων καταθέσεων στον πυθμένα. Σε εκείνη την εποχή, μόνο το νότιο μέρος του Σαρωνικού ήταν θάλασσα, ενώ το βόρειο τμήμα εκτεινόταν προς τα Μέθανα την Αίγινα και τις Φλέβες. Επιπλέον, το λιμάνι της Ελευσίνας ήταν μια κλειστή λίμνη σε υψόμετρο 115m χωρίς σύνδεση με τη θάλασσα, και υπήρχαν και άλλες παρόμοιες λιμναίες λεκάνες στην περιοχή.



Εικόνα 6. Παλαιογεωγραφικός χάρτης του Σαρωνικού Κόλπου πριν 18.000 χρόνια. Με την έντονη μαύρη γραμμή απεικονίζεται η σημερινή ακτογραμμή (κατά Μαριολάκος και Θεοχάρης, 2001).

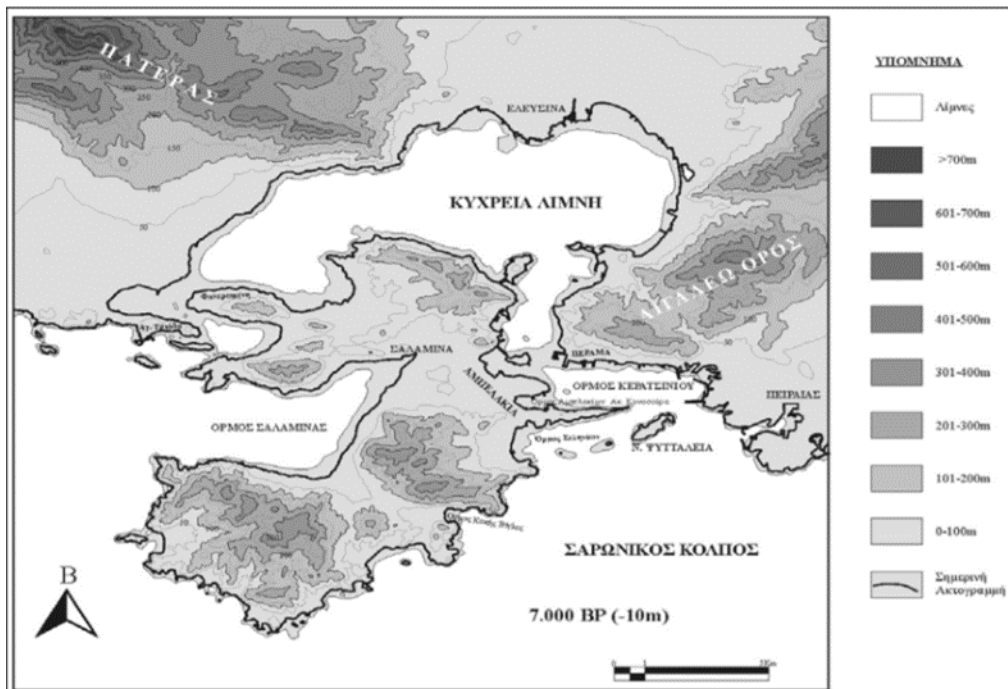
Πριν 12.000 χρόνια, η στάθμη της θάλασσας ήταν κατά προσέγγιση 70m χαμηλότερη από τη σημερινή. Σύμφωνα με την εικόνα, η Σαλαμίνα ήταν συνδεδεμένη με την Αττική, η Αργολίδα με τα Μέθανα, ενώ η Αίγινα, το Αγκίστρι και άλλα περισσότερα νησιά αποτελούσαν ένα ενιαίο μεγαλύτερο νησί που ονομάζεται Παλαιο-Αίγινα ή Πρωτο-Αίγινα. Η Ελευσίνα ήταν μια κλειστή λίμνη σε υψόμετρο 60m, λόγω της ανόδου της στάθμης της θάλασσας. Ωστόσο,

δεν είναι βέβαιο ότι ανάμεσα στα 18.000 και 10.000 χρόνια πριν, η Ελευσίνα ήταν λίμνη, καθώς δεν υπάρχουν στοιχεία που να το επιβεβαιώνουν.



Εικόνα 7. Παλαιογεωγραφικός χάρτης του Σαρωνικού Κόλπου πριν από 12.000 χρόνια. Με την έντονη μαύρη γραμμή απεικονίζεται η σημερινή ακτογραμμή (κατά Μαριολάκος και Θεοχάρης, 2001).

Πριν 7.000 χρόνια, η Σαλαμίνα παρέμενε συνδεδεμένη με την Αττική μέσω μερικών στενών ισθμών. Αυτοί οι ισθμοί βρίσκονταν κυρίως στο ανατολικό μέρος, συνδέοντας τα Παλούκια με το Πέραμα, δύο στο δυτικό μέρος που ένωναν τη χερσόνησο της Φανερωμένης με τη Νέα Πέραμο, και έναν πιο νότια που συνδέει τη χερσόνησο της Αγίας Τριάδας με τη νησίδα Μακρόνησο και τη Σαλαμίνα. Ταυτόχρονα, ο σημερινός κόλπος της Ελευσίνας ήταν σαφώς λίμνη, γνωστή ως Κυχρεία λίμνη, με την ακτογραμμή της να είναι περίπου στο ίδιο επίπεδο με τη θάλασσα. Αυτό επιβεβαιώνεται από το ότι δεν υπήρχε υδραυλική σύνδεση μεταξύ της λεκάνης της περιοχής και της τότε θάλασσας. Επιπρόσθετα, ξεκίνησε η σχηματοποίηση του όρμου της Σαλαμίνας και του Κερατσινίου.



Εικόνα 8. Παλαιογεωγραφικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής του Κόλπου της Ελευσίνας πριν από 7.000 χρόνια (κατά Μαριολάκος & Θεοχάρης, 2001). Με την έντονη μαύρη γραμμή απεικονίζεται η σημερινή.

Στη σύγχρονη περίοδο, η διάταξη του Σαρωνικού αντανακλάται από την Εικόνα 9. Ο κόλπος της Ελευσίνας είναι πλήρως σχηματοποιημένος, όπως και πολλοί άλλοι μικρότεροι κόλποι. Παρατηρούμε μεγάλο αριθμό νησιών, νησιδίων και βραχονησίδων, ενώ οι χερσόνησοι είναι εμφανείς, με τη χερσόνησο των Μεθάνων να κυριαρχεί.



Εικόνα 9. Σημερινή τοπογραφία Σαρωνικού Κόλπου (κατά Μαριολάκος και Θεοχάρης, 2001).

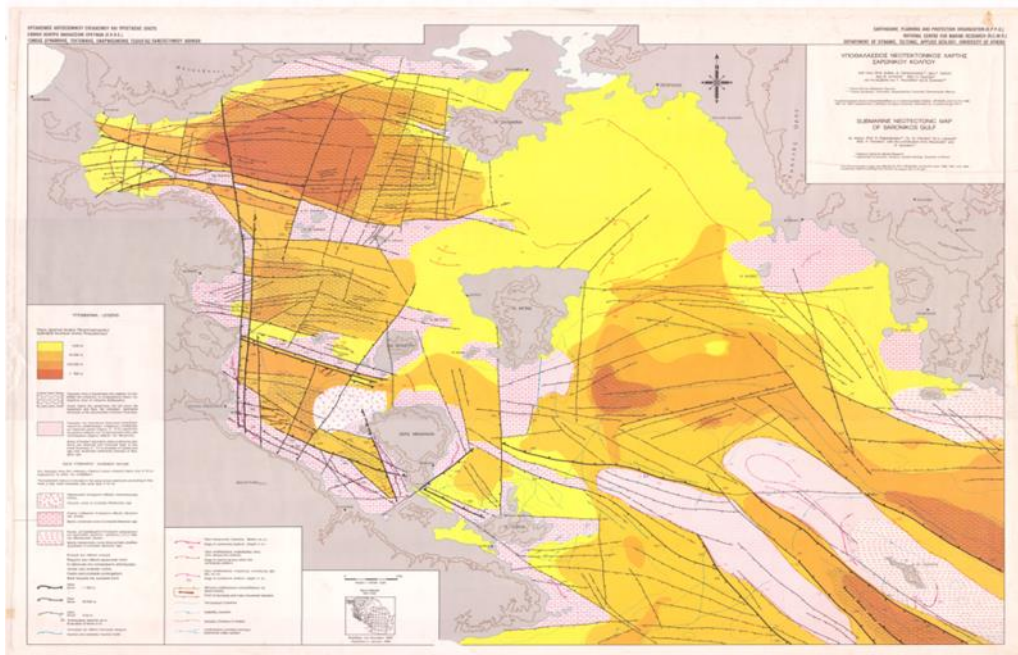
2.4 Ιζηματολογικά χαρακτηριστικά

Η πρόσφατη διαμόρφωση των ιζημάτων στο Σαρωνικό κόλπο οφείλεται στην εισροή κλαστικών υλικών από τους ποταμούς Κηφισό και Ιλισό, οι οποίοι κατά το παρελθόν ήταν οι κύριοι τροφοδότες της περιοχής προτού ο άνθρωπος επέμβει στη ροή τους. Πλέον, το κλαστικό υλικό που προσφέρεται είναι περιορισμένο, με τον κόλπο να λαμβάνει υλικό από ποταμούς, ρυάκια και χειμάρρους που ενεργούν κυρίως εποχικά. Τα λεπτόκοκκα ιζήματα, όπως οι ιλύαργιλοι, εντοπίζονται στα πιο βαθιά μέρη του Σαρωνικού κόλπου, ιδίως στο δυτικό τμήμα, στις λεκάνες των Μεγάρων, της Επιδαύρου, στο νότιο μέρος του ανατολικού Σαρωνικού, καθώς και στον κόλπο της Ελευσίνας. Στο κεντρικό μέρος του κόλπου υπάρχει ιλο-αργιλούχος άμμος, ενώ οι παραλιακές ζώνες παρουσιάζουν αμμούχο ιλύ στα βόρεια και βοριοδυτικά και ιλούχο άμμο στα ανατολικά. Στα βορειοδυτικά της Αίγινας, μια ζώνη είναι καλυμμένη από άμμο.

Όσον αφορά τα ανθρακικά στοιχεία, τα ποσοστά τους είναι υψηλότερα στα ιζήματα που βρίσκονται στο μεγαλύτερο τμήμα του πυθμένα. Αυτά τα ιζήματα μπορούν να χαρακτηριστούν ως βιογενή ασύνδετα (Poulos, 2009) ή ως υβριδικές βιογενείς άμμοι που σχετίζονται με το ανακυκλωμένο ορογενετικό πεδίο (Αναστασάκης, 1984). Στους κόλπους της Ελευσίνας και της Επιδαύρου βρίσκονται οι χαμηλότερες τιμές, ενώ τα μέγιστα ποσοστά, που φτάνουν το 90-96%, εντοπίζονται στα ιζήματα γύρω από την Αίγινα και τα κοντινά νησιά, όπου τα ασβεστοφύκη και τα μαλάκια είναι κυρίαρχα συστατικά (Αναστασάκης, 1984). Στις περιοχές που δέχονται άμεσα υλικό από τη χερσαία ζώνη, όπως οι κόλποι της Ελευσίνας, της Επιδαύρου, των Κεχρεών, καθώς και οι περιοχές κοντά στη Βάρη και τον Πόρο, παρατηρούνται υψηλά ποσοστά μη ανθρακικών ορυκτών, που μπορεί να φτάνουν το 75%. Ο χαλαζίας είναι το πρωτεύον ορυκτό σε αυτές τις περιοχές, ενώ οι αμφίβολοι και οι αστρίους είναι δευτερεύοντα (Αναστασάκης, 1984).

Στην Εικόνα 10 παρουσιάζεται ένας χάρτης όπου φαίνεται πως η λεκάνη των Μεγάρων διαθέτει το μεγαλύτερο πάχος ασύνδετων ιζημάτων, ξεπερνώντας τα 500 m. Υπάρχουν επίσης δύο περιοχές κοντά στην Αίγινα και σε δύο σημεία κοντά στη νήσο Άγιος Γεώργιος που έχουν παρόμοιο πάχος. Από την άλλη, στη λεκάνη της Επιδαύρου τα ιζήματα έχουν πάχος πάνω από 250 m, ενώ στις περιοχές μεταξύ Μεθάνων, Αίγινας, Σαλαμίνας και της Αττικής το πάχος είναι κάτω των 50 m. Επιπρόσθετα, υπάρχει μια περιοχή κοντά στη χερσόνησο των Μεθάνων με ηφαιστειακές δομές του Πλειστοκαίνου, καθώς και περιοχές με μεταμορφωμένα

πετρώματα πιθανόν του Μεσοζωικού κοντά στη νήσο Άγιος Γεώργιος και τα Λεγραινά. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η ανακάλυψη υποθαλάσσιων επιφανειών στο νοτιοανατολικό Σαρωνικό με ιζήματα του Τεταρτογενούς πάνω σε τεκτονισμένες δομές του Νεογενούς. Επίσης, σε πολλές περιοχές του Σαρωνικού, όπως και σε περιοχές γύρω από νησιά, βρέθηκαν ανθρακικά υπόβαθρα του Μεσοζωικού κάτω από ιζήματα (Παπανικολάου et al., 1989). Τέλος, σύμφωνα με μετρήσεις, στο κεντρικό μέρος του Σαρωνικού υπάρχουν ιζήματα με πάχος περίπου 750μ (Anastasakis et al., 2006).



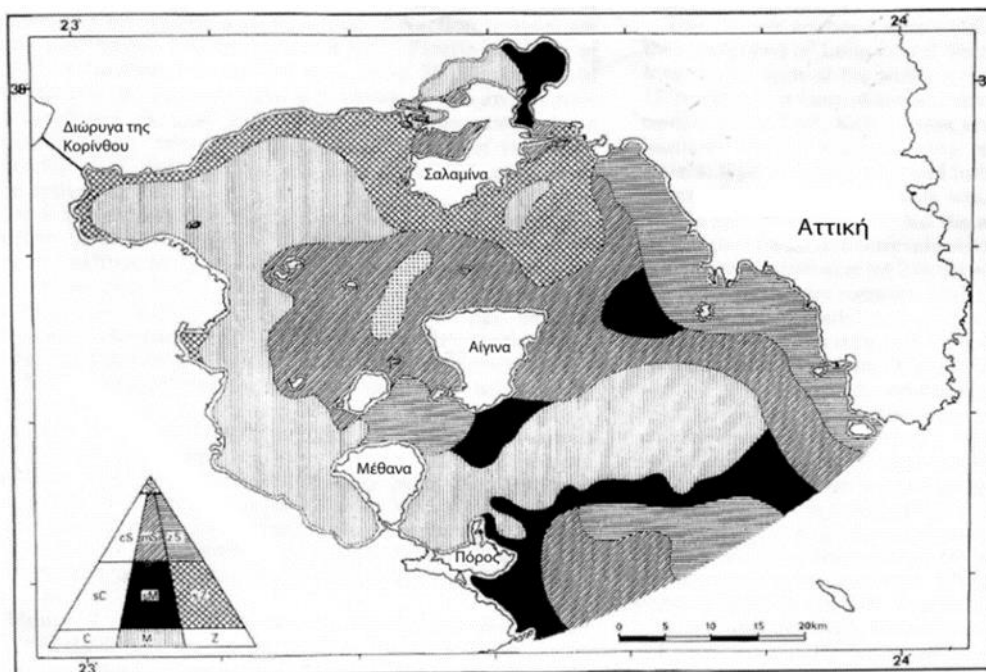
Εικόνα 10. Υποθαλάσσιος Νεοτεκτονικός και Ιζηματολογικός χάρτης του Σαρωνικού Κόλπου (Παπανικολάου et al., 1989)

Σε μια έρευνα των Λυκούσης και Αναγνώστου (1992) πάνω σε 14 πυρήνες με μήκη από 0,26 έως 2,9m, καταγράφηκαν πέντε βασικές φάσεις: μια φάση λευκότεφρης μικριτικής, μια μεταβατική περίοδος από τη λευκότεφρη μικριτική στη φαιότεφρη ιλσοαργιλώδη, μια φάση φαιότεφρης ιλσοαργιλώδους σύνθεσης, μια ανοιχτότεφρη ιλσοαμμώδη έως αμμώδη φάση, και μια φάση φαιοπράσινης ιλνώδους έως αμμώδους δομής.

Στην περιοχή του δυτικού Σαρωνικού, φαίνεται πως κατά το τελευταίο στάδιο πτώσης της θαλάσσιας στάθμης, δημιουργήθηκαν οι κατάλληλες συνθήκες για την χημική κατάθεση ανθρακικών συσσωματωμάτων. Αυτό το συμπέρασμα το υποστηρίζει η εύρεση λευκότεφρης

μικριτικής φάσης, με μικροκρυσταλλικό αραγωνίτη σε όλους τους πυρήνες που συλλέχθηκαν από την ίδια περιοχή, όπως καταγράφεται από τους Λυκούσης και Αναγνώστου (1992). Επιπλέον, με βάση τις βαθυμετρικές μετρήσεις του Σαρωνικού κόλπου, φαίνεται ότι ο δυτικός Σαρωνικός λειτούργησε σαν παλαιολίμνη κατά τις περιόδους πτώσης της θαλάσσιας στάθμης στο Τεταρτογενές, οδηγώντας στον συμπέρασμα ότι είναι πολύ πιθανό η διαδικασία απόθεσης εβαποριτικών ιζημάτων να επαναλαμβάνεται περιοδικά καθ' όλη τη διάρκεια του Τεταρτογενούς.

Με βάση τις χρονολογήσεις που έγιναν από τους Λυκούσης και Αναγνώστου το 1992, προκύπτει ένας εκτιμώμενος ρυθμός σχηματισμού ιζημάτων. Συγκεκριμένα, στις βόρειες και ανατολικές περιοχές της λεκάνης των Μεγάρων, ο ρυθμός φαίνεται να είναι περίπου 5cm/Ka, ενώ στη βαθύτερη περιοχή ανατολικά του Κόρφου, κοντά στη Βορειοανατολική πλευρά της Επιδαύρου, ο ρυθμός κυμαίνεται μεταξύ 6 και 15cm/Ka.



Εικόνα 11. Διάγραμμα κατανομής των επιφανειακών ιζημάτων στον Σαρωνικό Κόλπο.

S: άμμος, *cS*: αργιλόχθος άμμος, *mS*: πηλόχθος άμμος, *zS*: ιλυόχθος άμμος, *sC*: αμμούχθος άργιλος, *sM*: αμμούχθος πηλός, *sZ*: αμμούχθος ιλύς *C*: άργιλος, *M*: πηλός *Z*: ιλύς (Schwartz and Tziavos, 1975)

Κεφάλαιο 3^ο – Συλλογή δεδομένων – Εργαστηριακές αναλύσεις

3.1 Συλλογή δεδομένων

Δείγματα λήφθηκαν στις 10 και 11 Οκτωβρίου 2017 από τον Σαρωνικό κόλπο με το Ω/Κ ΑΙΓΑΙΟ. Για τη δειγματοληψία των ιζημάτων χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο Box Corer, το οποίο φαίνεται στην Εικόνα 12. Αυτό το γεωλογικό εργαλείο είναι ειδικά σχεδιασμένο για τη συλλογή μαλακών ιζημάτων από την επιφάνεια της θάλασσας. Μπορεί να λειτουργήσει σε οποιοδήποτε βάθος και είναι ιδανικό για την παροχή αντιπροσωπευτικών δειγμάτων από τον θαλάσσιο πυθμένα. Το "Box Corer" είναι ένα εργαλείο δειγματοληψίας που χρησιμοποιείται κυρίως στη θαλάσσια έρευνα για τη λήψη ανεπηρέαστων δειγμάτων από τον πυθμένα της θάλασσας, ιδίως σε περιβάλλοντα μαλακών ιζημάτων. Το Box Corer επιτρέπει στους ερευνητές να μελετούν τις φυσικές και βιολογικές ιδιότητες του ιζήματος και των οργανισμών που ζουν εκεί. Στην πράξη, όταν το Box Corer ρίχνεται στον πυθμένα, ένα "κουτί" παγιδεύει έναν συγκεκριμένο όγκο ιζήματος. Όταν ανασύρεται, η επιφάνεια του δείγματος παραμένει ανέπαφη, προσφέροντας στους επιστήμονες μια ακριβή αναπαράσταση της δομής και της σύνθεσης του ιζήματος σε εκείνο το σημείο.



Εικόνα 12 . Box Corer: Διάφορα στάδια από τη συλλογή του δείγματος μέχρι το άνοιγμα του

Επόμενο βήμα αποτελούν οι εργαστηριακές δοκιμές των δειγμάτων, που εκτελούνται πριν ή μετά την επεξεργασία των πυρήνων, καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα διαδικασιών. Στις

αναλύσεις που διεξήχθησαν περιλαμβάνονται η μαγνητική αντίδραση, η λεπτομερής περιγραφή των πυρήνων, η διατμητική αντίσταση, το επίπεδο υγρασίας, η ανάλυση του μεγέθους των σωματιδίων και η ποσότητα του ανθρακικού συστατικού.

3.2 Εργαστηριακές αναλύσεις – κοκκομετρία

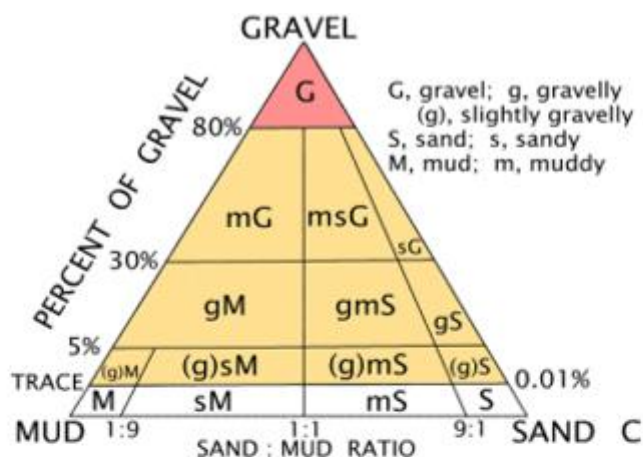
Η κοκκομετρία αφορά τη μέτρηση του μεγέθους των σωματιδίων, συχνά σε μια ομογενή δειγματική ποσότητα. Κατά τη διαδικασία της κοκκομετρικής ανάλυσης, εξετάζουμε ποσοτικά τα μεγέθη των σωματιδίων σε ένα δείγμα, προσπαθώντας να προσδιορίσουμε τις ποσοστώσεις των διαφόρων μεγεθών των κόκκων που το απαρτίζουν. Δεν είναι ωστόσο δυνατή η ακριβής εκτίμηση του μεγέθους κάθε μεμονωμένου κόκκου, γι' αυτό καθορίζονται εύρη διακύμανσης, με τη υπόθεση ότι οι κόκκοι έχουν σφαιρικό σχήμα. Πιο συγκεκριμένα, μέσω της κοκκομετρικής ανάλυσης των ιζημάτων του πυθμένα, μπορούμε να καταλάβουμε τη φύση τους, να προβλέψουμε την πιθανή τους μετακίνηση και διανομή, να εντοπίσουμε τις συνθήκες υπό τις οποίες δημιουργήθηκαν και να αναγνωρίσουμε παλαιότερες περιβαλλοντικές συνθήκες.

Η ταξινόμηση και η ονομασία των ιζημάτων βασίζεται στο μέγεθος των σωματιδίων, όπως καθορίζεται από την κλίμακα Wentworth (1922) (Εικόνα 13). Επιπλέον, η γενική περιγραφή των δειγμάτων παρουσιάζεται γραφικά μέσω των τριγωνικών διαγραμμάτων του Folk (1980) (Εικόνα 14). Η μέτρηση της διαμέτρου των κόκκων γίνεται σε μονάδες mm ($=10^{-3}$ m), μ m ($=10^{-6}$ m) ή σε ϕ ($\phi = -\log_2 mm$). Αυτή η φιλοσοφία μέτρησης σε μονάδες ϕ προτάθηκε από τον Krumbein, χρησιμοποιώντας ακέραιες τιμές (όπως 3, 2, 0, -1) ως διακριτικά για τα μεγέθη των κόκκων που ορίστηκαν από τον Wentworth.

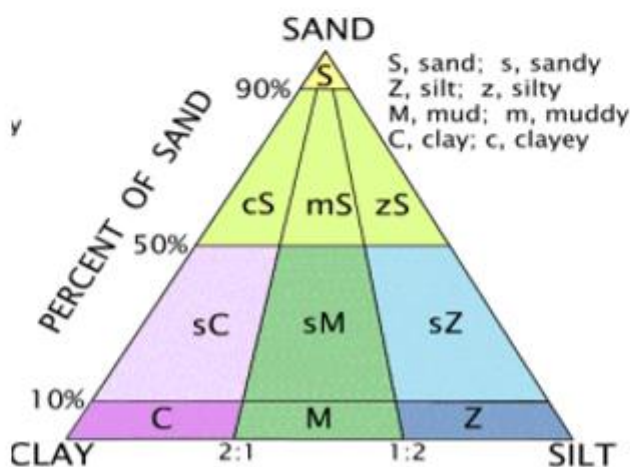
PHI - mm CONVERSION $\phi = \log_2 (d \text{ in mm})$ $1 \mu\text{m} = 0.001 \text{ mm}$		Fractional mm and Decimal inches	SIZE TERMS (after Wentworth, 1922)	SIEVE SIZES		Intermediate diameters of natural grains equivalent to sieve size	Number of grains per mg		Settling Velocity (Quartz, 20°C)		Threshold Velocity for traction cm/sec	
ϕ	mm			ASTM No. (U.S. Standard)	Tyler Mesh No.		Quartz spheres	Natural sand	Spheres (Gibbs, 1971) cm/sec	Crushed cm/sec	(Nevin, 1946)	(modified from Hjulstrom, 1939)
-8	256	10.1"	BOULDERS ($\geq -8\phi$)									
-7	128	5.04"										
-6	64.0	2.52"	COBBLES	2 1/2"	2"						200	1 m above bottom
-5	53.9			2.12"	2"							
-4	45.3			1 1/2"	1 1/2"						150	
-3	33.1	1.26"		1 1/4"	1.05"							
-2	32.0			1.06"								
-1	26.9	0.63"		3/4"	.742"				100	50		
0	22.6			5/8"	.525"				90	40	100	
1	17.0	0.32"		1/2"	.371"				80	30	90	
2	16.0			7/16"					70		80	
3	13.4	0.16"		3/8"	3				60	20	70	
4	11.3		PEBBLES	5/16"	4				50		60	100
5	9.52	0.08"		.265"	5				40		50	
6	8.00				6				30		40	
7	6.73	0.04"			7				20		30	
8	5.66				8				10		20	
9	4.76				10				8		10	
10	4.00				12				7		8	
11	3.36				14				6		6	
12	2.83				16				5		5	
13	2.38				18				4		4	
14	2.00		SAND		20				3		3	
15	1.63				24				2		2	
16	1.41				28				1		1	
17	1.19				32				0.5		0.5	
18	1.00				35				0.25		0.25	
19	.840				40				0.125		0.125	
20	.707				45				0.0625		0.0625	
21	.545				50				0.03125		0.03125	
22	.500				60				0.015625		0.015625	
23	.420				70				0.0078125		0.0078125	
24	.354		SILT		80				0.00390625		0.00390625	
25	.297				100				0.001953125		0.001953125	
26	.250				120				0.0009765625		0.0009765625	
27	.210				140				0.00048828125		0.00048828125	
28	.177				170				0.000244140625		0.000244140625	
29	.149				200				0.0001220703125		0.0001220703125	
30	.125				230				0.00006103515625		0.00006103515625	
31	.105				270				0.000030517578125		0.000030517578125	
32	.088				325				0.0000152587890625		0.0000152587890625	
33	.074				400				0.00000762939453125		0.00000762939453125	
34	.062		CLAY						0.000003814697265625		0.000003814697265625	
35	.053								0.0000019073486328125		0.0000019073486328125	
36	.044								0.00000095367431640625		0.00000095367431640625	
37	.037								0.000000476837158203125		0.000000476837158203125	
38	.031								0.0000002384185791015625		0.0000002384185791015625	
39	.025								0.00000011920928955078125		0.00000011920928955078125	
40	.020								0.000000059604644775390625		0.000000059604644775390625	
41	.016								0.0000000298023223876953125		0.0000000298023223876953125	
42	.012								0.00000001490116119384765625		0.00000001490116119384765625	
43	.010								0.000000007450580596923828125		0.000000007450580596923828125	
44	.008		Clay/Silt boundary for mineral analysis						0.0000000037252902984619140625		0.0000000037252902984619140625	
45	.006								0.00000000186264514923095703125		0.00000000186264514923095703125	
46	.005								0.000000000931322574615478515625		0.000000000931322574615478515625	
47	.004								0.0000000004656612873077392578125		0.0000000004656612873077392578125	
48	.003								0.00000000023283064365386962890625		0.00000000023283064365386962890625	
49	.002								0.000000000116415321826934814453125		0.000000000116415321826934814453125	
50	.001								0.0000000000582076609134674072265625		0.0000000000582076609134674072265625	

Εικόνα 13. Ταξινόμηση κοκκομετρικών κλάσεων (τροποποιημένο από τον Wentworth)

α

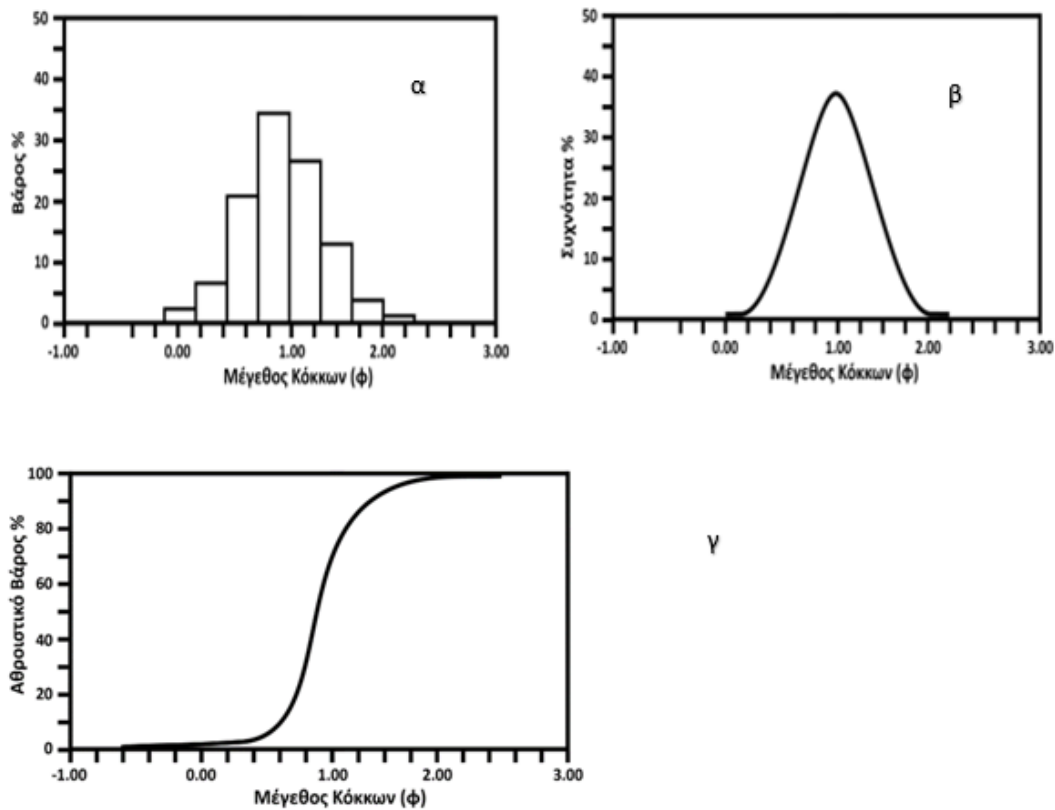


β



Εικόνα 14. Τριγωνομετρική ταξινόμηση ιζήματος, Folk 1980 όπου α:Κροκάλες-Άμμος-Πηλός και β:Άμμος-Ιλύς-Άργιλος

Τα αποτελέσματα από μια κοκκομετρική ανάλυση μπορούν να παρουσιαστούν μέσω ιστογράμματος, συνολικής καμπύλης ή καμπύλης συχνοτήτων (Εικόνα 15). Ενδιάμεσα σε αυτές τις μεθόδους, η συνολική καμπύλη (βασισμένη σε αριθμητική ανάλυση) χρησιμοποιείται για να εξάγει βαθύτερα συμπεράσματα βασισμένα στην στατιστική ανάλυση των δεδομένων της κοκκομετρικής. Στη συνολική καμπύλη, ο οριζόντιος άξονας δείχνει το μέγεθος των κόκκων, ενώ ο κατακόρυφος άξονας αποτελεί αναπαράσταση του συνολικού ποσοστού του βάρους του δείγματος που περνάει από κάθε κλάσμα.



Εικόνα 15. Απεικονίσεις αποτελεσμάτων μιας κοκκομετρικής ανάλυσης όπου α: ιστόγραμμα, β: καμπύλη συχνότητας και γ: αθροιστική καμπύλη

Οι κυριότερες στατιστικές παράμετροι του μεγέθους των κόκκων προτάθηκαν από τον Folk και στηρίζονται στην γραφική απεικόνιση της αθροιστικής καμπύλης. Αυτές είναι:

1. Επικρατούσα τιμή διαμέτρου (M_o)

Είναι η τιμή της διαμέτρου που αντιστοιχεί στο μεγαλύτερο ποσοστό των κόκκων, δηλαδή με την μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης.

2. Διάμεσος (M_d)-(Median)

Η διάμεσος αντιστοιχεί στην αθροιστική συχνότητα του 50% και δηλώνει ότι οι μισοί κόκκοι του δείγματος έχουν μικρότερη και οι άλλοι μισοί μεγαλύτερη διάμετρο. Δίνεται από τον τύπο:

$$M_d = \varphi_{50}(d_{50})$$

3. Γραφική μέση τιμή (M_z)-(Graphic Mean)

Η παράμετρος αυτή δίνει τη γενική και αντιπροσωπευτική εικόνα του ιζήματος ως προς το μέγεθος των κόκκων του δηλαδή εάν το δείγμα είναι πιο αδρομερές ή πιο λεπτομερές από κάποιο άλλο. Η τιμή του κατ' επέκταση μπορεί να αντιπροσωπεύει το μέγεθος της δύναμης που δρα για την μεταφορά του ιζήματος είτε αυτή η δύναμη οφείλεται στον άνεμο είτε στο νερό. Δίνεται από τον τύπο:

$$M_z = \frac{\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84}}{3}$$

όπου Φ_{16} , Φ_{50} και Φ_{84} είναι οι διάμετροι (σε ϕ) που αντιστοιχούν σε ποσοστά αθροιστικής συχνότητας 16%, 50% και 84% αντιστοίχως.

Στην σπάνια περίπτωση όπου έχουμε ένα πλήρως ομοιογενές δείγμα ιζήματος τότε έχουμε την περίπτωση μιας απόλυτα κανονικής κατανομής όπου οι στατιστικές παράμετροι M_0 , M_d και M_z συμπίπτουν.

4. Περιεκτική γραφική σταθερά απόκλισης (σ_I)-(Inclusive Graphic Standard Deviation)

Η σταθερά απόκλιση μας δίνει το βαθμό ταξινόμησης (sorting) των κοκκομετρικών μεγεθών μέσα σε ένα δείγμα ιζήματος, δείχνει επομένως πόσο ομοιογενές (πολύ καλή διαβάθμιση – μικρές τιμές σ_I) ή ανομοιογενές (πολύ κακή διαβάθμιση – μεγάλες τιμές σ_I) είναι ένα ίζημα. Δίνεται από τον τύπο:

$$\sigma_I = \frac{\Phi_{84} - \Phi_{16}}{4} + \frac{\Phi_{95} - \Phi_5}{6,6}$$

Ομοιογενή κοκκομετρικά ιζήματα σχετίζονται με περιβάλλοντα υψηλής ενέργειας (άμμοι παραλιών με την προϋπόθεση όμως ότι δεν υπάρχει μεγάλη προσφορά ιζημάτων), ενώ ανομοιογενή ιζήματα συναντώνται σε χαμηλής ενέργειας περιβάλλοντα συνήθως συσχετιζόμενη με έντονη ιζηματογένεση (κατολισθήσεις). Η τιμή της σταθεράς απόκλισης είναι θεωρητικά χωρίς όρια, σπάνια όμως ξεπερνάει την τιμή των 10. Σύμφωνα με τον Folk ο βαθμός ταξινόμησης σχετίζεται με τις τιμές σ_I ως εξής:

σ ₁ (φ)	ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ
<0,35	Πολύ καλή
0,35-0,50	Καλή
0,50-0,71	Αρκετά καλή
0,71-1,0	Μέτρια
1,0-2,0	Κακή
2,0-4,0	Πολύ καλή
>4	Εξαιρετικά πολύ κακή

5. Περιεκτική γραφική Λοξότητα (Ασυμμετρία) Sk₁-(Inclusive Graphic Skewness)

Η ασυμμετρία (Sk₁) χαρακτηρίζει την μη κανονικότητα μιας κατανομής των κλασμάτων της κοκκομετρικής ανάλυσης, εκφράζοντας έτσι το βαθμό της ασυμμετρίας των αθροιστικών καμπυλών δειγμάτων ιζήματος που κατά τα άλλα μπορούν να έχουν παρόμοιο μέσο μέγεθος και βαθμό ταξινόμησης. Δίνεται από τον τύπο:

$$Sk_1 = \frac{\varphi_{16} + \varphi_{84} + 2\varphi_{50}}{2(\varphi_{84} - \varphi_{16})} + \frac{\varphi_5 + \varphi_{95} - 2\varphi_{50}}{2(\varphi_{95} - \varphi_5)}$$

Μια απολύτως συμμετρική καμπύλη έχει Sk₁=0, ενώ όταν τα λεπτόκοκκα υπερτερούν των χονδρόκοκκων Sk₁>0 και όταν τα χονδρόκοκκα υπερτερούν των λεπτόκοκκων Sk₁<0. Έτσι όσο απομακρυνόμαστε από το μηδέν τόσο αυξάνεται και η ασυμμετρία του δείγματος με μέγιστες τιμές αυτές των -1 και +1 ενώ πολύ σπάνια ξεπερνούν το -0,8 και +0,8, αντιστοίχως. Σύμφωνα με τον Folk (1980) οι τιμές ασυμμετρίας μπορεί να κατηγοριοποιηθούν ως ακολούθως:

Sk ₁	ΑΣΥΜΜΕΤΡΙΑ
από (±1,0) μέχρι (±0,3)	Έντονη ασυμμετρία λεπτόκοκκου (+) ή χονδρόκοκκου (-) υλικού
από (±0,3) μέχρι (±0,1)	Απλή ασυμμετρία λεπτόκοκκου (+) ή χονδρόκοκκου (-) υλικού
από (±0,1) μέχρι (-0,1)	Περίπου συμμετρική κατανομή

6. Κύρτωση (K_G)-(Kyrtnosis)

Η κύρτωση εκφράζει τον βαθμό ταξινόμησης μεταξύ του κεντρικού τμήματος της αθροιστικής καμπύλης και των άκρων της και δίνεται από την σχέση (Folk, 1980):

$$K_G = \frac{\Phi_{95} - \Phi_5}{2,44 (\Phi_{75} - \Phi_{25})}$$

Η κατανομή των τιμών κύρτωσης στα φυσικά ιζήματα παρουσιάζουν έντονη κύρτωση γι' αυτό θα πρέπει να ομαλοποιηθούν οι τιμές της κύρτωσης σύμφωνα με τον τύπο $K_G/(1+K_G)$. Στην περίπτωση αυτή μια κανονική καμπύλη έχει $K_G=1$ ενώ τα περισσότερα ιζήματα δίνουν τιμές κύρτωσης μεταξύ 0,40 και 0,65. Στον παρακάτω πίνακα δίνεται μια κατηγοριοποίηση των τιμών της κύρτωσης.

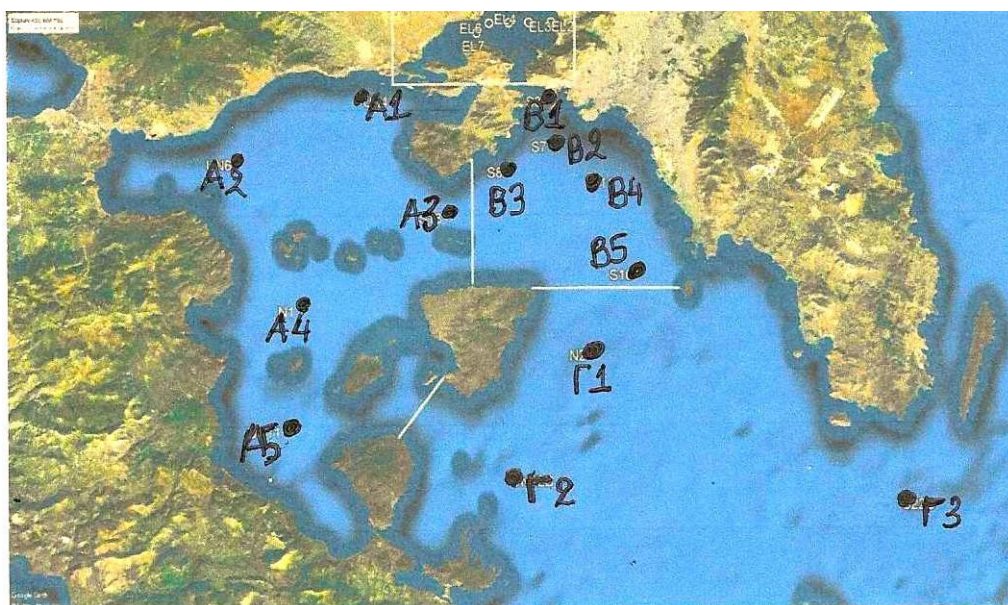
ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ K _G	ΦΥΣΙΚΑ ΙΖΗΜΑΤΑ K _G /(1+K _G)	ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ
<0,67	<0,40	Πολύ πλατύκυρτα
0,67-0,90	0,40-0,47	Πλατύκυρτα
0,90-1,11	0,47-0,53	Μεσόκυρτα
1,11-1,50	0,53-0,60	Λεπτόκυρτα
1,50-3,00	0,60-0,75	Πολύ λεπτόκυρτα
>3,00	>0,75	Εξαιρετικά λεπτόκυρτα πολύ

Στην σπάνια περίπτωση αυτός είναι $K_G=1$. Στην περίπτωση που το κεντρικό τμήμα παρουσιάζει καλύτερη ταξινόμηση από ότι οι άκρες τότε η καμπύλη παρουσιάζει σαφή ανύψωση και λέγεται λεπτόκυρτη. Εάν συμβαίνει το αντίθετο, τότε η καμπύλη παρουσιάζεται αρκετά επίπεδη και λέγεται πλατύκυρτη (Σχήμα 7). Στην περίπτωση που είναι έντονα πλατύκυρτη τότε έχουμε να κάνουμε με δείγμα όπου έχουμε δύο επικρατούσες διαμέτρους (Mo).

Για την μέτρηση της κοκκομετρίας συλλέχθηκε δείγμα περίπου ενός εκατοστού ανά 10 εκατοστά κατά μήκος του κάθε πυρήνα και τοποθετήθηκε σε γυάλινα δοχεία. Μετρήθηκε το βάρος του σε ζυγό ακριβείας έχοντας μηδενίσει προηγουμένως το βάρος του γυάλινου δοχείου. Στη συνέχεια αυτό διαλύθηκε σε 100ml διαλύματος Calgon και παρέμεινε σε αυτό για 24 ώρες. Μπορεί να χρειαστούν περισσότερες ώρες αναλόγως τον όγκο του δείγματος. Το διάλυμα του Calgon χρησιμοποιείται ως διασκορπιστικό μέσο ώστε να αποφεύγονται φαινόμενα κροκίδωσης στο τελικό διάλυμα. Με τη λήξη του 24ώρου το διάλυμα αναδεύτηκε και τοποθετήθηκε σε φιαλίδια των 100ml. Σε ορισμένες περιπτώσεις βρέθηκαν κοχύλια μεγάλου μεγέθους, τα οποία αφαιρέθηκαν, καθώς ήταν αδύνατη η τοποθέτησή τους στο φιαλίδιο, και σημειώθηκε ξεχωριστά το βάρος τους στο ζυγό ακριβείας. Η μέτρηση της κοκκομετρίας πραγματοποιήθηκε με το μηχάνημα Mastersizer της Υδρογραφικής Υπηρεσίας του Πολεμικού Ναυτικού. Το Mastersizer έχει τη δυνατότητα μέτρησης κόκκων μεγέθους 0.01 μ m-2mm. Η εξαγωγή των δεδομένων έγινε με το πρόγραμμα GRADISTATv8_m.

Κεφάλαιο 4°. Αποτελέσματα - Συζήτηση

Τα αποτελέσματα των κοκκομετρικών αναλύσεων αφορούν τη περιεκτικότητα των δειγμάτων σε άμμο, ιλύ, άργιλο και στη συμμετοχή του CaCO_3 , ενώ επιπλέον δίνονται οι στατιστικές παραμετροί (μέσο μέγεθος, γραφική σταθερά απόκλιση, ασυμμετρία και κύρτωση. Οι θέσεις των δειγμάτων δίνονται στη εικόνα 16.



Εικόνα 16. Οι θέσεις των επιφανειακών δειγμάτων

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων για τα επιφανειακά δείγματα A4, A3, A1, A2, A4 και A5 που αφορούν τον Δυτικό Σαρωνικό κόλπο δίνονται στον Πίνακα 1

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων για τα επιφανειακά δείγματα B1, B2, B3, B4 και B5 που αφορούν τον Ανατολικό Εσωτερικό Σαρωνικό κόλπο δίνονται στον Πίνακα 2

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων για τα επιφανειακά δείγματα Γ1, Γ3 και Γ2 που αφορούν τον Ανατολικό Εξωτερικό Σαρωνικό κόλπο δίνονται στον Πίνακα 3

Πίνακας 1. Παρουσίαση των στατιστικών παραμέτρων της κοκκομετρίας καθώς και το ποσοστό σε άμμο, ιλύς, άργιλο και CaCO₃ των δειγμάτων A4, A3, A1, A2, A4 και A5 που αφορούν τον Δυτικό Σαρωνικό κόλπο

	Γραφική μέση τιμή (Mz)		Περιεκτική γραφική σταθερά απόκλισης (σι)		Ασυμμετρία (Sk)		Κύρτωση (Kg)		Άμμος	Ιλύς	Άργιλος	CaCO ₃	Ονομασία
	μm	φ	φ	Περιγραφή	φ	Περιγραφή	φ	Περιγραφή					
A4	27,69	5,17	2,49	Πολύ κακή ταξινόμηση	0,42	Έντονη Ασυμμετρία	0,88	Πλατύκυρτο	40,2	49,8	10,0	67,13	Αμμούχος Πηλός
A3	28,45	5,13	2,63	Πολύ κακή ταξινόμηση	0,40	Έντονη Ασυμμετρία	0,76	Πλατύκυρτο	45,5	43,9	10,6	66,20	Αμμούχος Πηλός
A1	15,49	6,01	2,53	Πολύ κακή ταξινόμηση	0,14	Απλή Ασυμμετρία	0,92	Μεσόκυρτο	23,2	62,9	13,9	72,08	Αμμούχος Πηλός
A2	4,67	7,74	1,85	Κακή Ταξινόμηση	0,16	Απλή Ασυμμετρία	1,03	Μεσόκυρτο	1,5	75,5	23,0	83,30	Πηλός
A5	4,76	7,71	1,95	Κακή ταξινόμηση	0,11	Απλή Ασυμμετρία	1,00	Μεσόκυρτο	1,7	74,4	23,9	87,14	Πηλός

Πίνακας 2. Παρουσίαση των στατιστικών παραμέτρων της κοκκομετρίας καθώς και το ποσοστό σε άμμο, ιλύς, άργιλο και CaCO₃ των επιφανειακών δειγμάτων B1, B2, B3, B4 και B5 που αφορούν τον Ανατολικό Εσωτερικό Σαρωνικό κόλπο

	Γραφική μέση τιμή (Mz)		Περιεκτική γραφική σταθερά απόκλισης (σι)		Ασυμμετρία (Sk)		Κύρτωση (Kg)		Άμμος	Ιλύς	Άργιλος	CaCO ₃	Ονομασία
	μm	φ	φ	Περιγραφή	φ	Περιγραφή	φ	Περιγραφή					
B1_00	14,04	6,15	2,50	Πολύ κακή ταξινόμηση	0,18	Απλή Ασυμμετρία	0,88	Πλατύκυρτο	21,8	63,1	15,1	76,48	Αμμούχος Πηλός
B2_00	24,43	5,35	2,13	Πολύ κακή ταξινόμηση	0,21	Απλή Ασυμμετρία	1,04	Μεσόκυρτο	27,9	64,8	7,3	79,51	Αμμούχος Πηλός
B3_00	10,26	6,61	2,09	Πολύ κακή ταξινόμηση	0,18	Απλή Ασυμμετρία	1,02	Μεσόκυρτο	7,0	78,8	14,2	79,49	Πηλός
B4_00	15,15	6,04	2,67	Πολύ κακή ταξινόμηση	0,02	Συμμετρία	0,78	Πλατύκυρτο	27,7	57,7	14,6	64,65	Αμμούχος Πηλός
B5_00	31,11	5,01	2,56	Πολύ κακή ταξινόμηση	0,41	Έντονη Ασυμμετρία	0,83	Πλατύκυρτο	44,9	45,6	9,5	63,81	Αμμούχος Πηλός

Πίνακας 3. Παρουσίαση των στατιστικών παραμέτρων της κοκκομετρίας καθώς και το ποσοστό σε άμμο, ιλύς, άργιλο και CaCO₃ των δειγμάτων Γ1, Γ3 και Γ2 που αφορούν τον Ανατολικό Εξωτερικό Σαρωνικό κόλπο

	Γραφική μέση τιμή (Mz)		Περιεκτική γραφική σταθερά απόκλισης (σι)		Ασυμμετρία (Sk)		Κύρτωση (Kg)		Άμμος	Ιλύς	Άργιλος	CaCO ₃	Ονομασία
	μm	φ	φ	Περιγραφή	φ	Περιγραφή	φ	Περιγραφή					
Γ1_00	16,27	5,94	2,56	Πολύ κακή ταξινόμηση	0,15	Απλή Ασυμμετρία	0,85	Πλατύκυρτο	26,4	60,1	13,5	76,80	Αμμούχος Πηλός
Γ3_00	55,12	4,18	2,36	Πολύ κακή ταξινόμηση	0,75	Έντονη Ασυμμετρία	0,87	Πλατύκυρτο	64,6	28,9	6,5	72,20	Πηλούχος άμμος
Γ2_00	8,42	6,89	2,16	Πολύ κακή ταξινόμηση	0,11	Απλή Ασυμμετρία	1,05	Μεσόκυρτο	7,3	75,7	17,0	81,07	Πηλός

Δυτικός Σαρωνικός

Βάσει των παρεχόμενων δεδομένων (Πίνακας 1), σχετικά με την κοκκομετρία πυρήνων από τον Δυτικό Σαρωνικό κόλπο προκύπτει ότι:

- Γραφική Μέση Τιμή (Mz): Αυτή η τιμή αντικατοπτρίζει το μέσο μέγεθος των κόκκων. Οι πυρήνες A4 και A3 έχουν τις υψηλότερες τιμές Mz, ενώ οι πυρήνες A2 και A5 έχουν τις χαμηλότερες.
- Περιεκτική Γραφική Σταθερά Απόκλισης (σι): Αντικατοπτρίζει τη διακύμανση των μεγεθών των κόκκων στο δείγμα. Οι πυρήνες A4 και A3 έχουν σχετικά χαμηλές τιμές συγκριτικά με τον A1, ενώ οι πυρήνες A2 και A5 έχουν τις υψηλότερες τιμές.
- Ασυμμετρία (Sk): Περιγράφει την κατανομή των μεγεθών των κόκκων. Όλα τα δείγματα φαίνεται να είναι ασύμμετρα, με τον πυρήνα A2 να έχει την χαμηλότερη ασυμμετρία.
- Κύρτωση (KG): Δείχνει την κορυφή της κατανομής των μεγεθών των κόκκων. Τα δείγματα έχουν διάφορες τιμές κύρτωσης, περιγράφοντας την κατανομή τους ως "πλατύκυρτο" ή "μεσόκυρτο".
- Περιγραφές Συνιστωσών: Οι διάφορες τιμές ϕ δείχνουν την ποσότητα των διαφορετικών συνιστωσών στο δείγμα (άμμος, ιλύς, άργιλος, CaCO_3). Οι πυρήνες A4 και A3 φαίνεται να περιέχουν μεγαλύτερη ποσότητα άμμου, ενώ οι πυρήνες A2 και A5 έχουν την υψηλότερη περιεκτικότητα σε ιλύ.

Με βάση τα παραπάνω, φαίνεται ότι οι πυρήνες A4 και A3 είναι περισσότερο αμμώχοι, ενώ οι πυρήνες A2 και A5 είναι πρωτίστως πηλώδεις. Αυτές οι πληροφορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να κατανοήσουμε την γεωλογική ιστορία και την τρέχουσα κατάσταση του Δυτικού Σαρωνικού κόλπου.

Ανατολικός Σαρωνικός (εσωτερικός)

Οι παραπάνω τιμές των κοκκομετρικών αναλύσεων (Πίνακας 2 του Ανατολικού Εσωτερικού Σαρωνικού κόλπου) δείχνουν ότι:

- Γραφική Μέση Τιμή (Mz): Αντιπροσωπεύει το μέγεθος στο οποίο το 50% του υλικού (κατ' όγκο) είναι μικρότερο και το άλλο 50% είναι μεγαλύτερο. Οι τιμές

διακυμαίνονται από 10,26 μm (B3_00) έως 31,11 μm (B5_00), δείχνοντας διαφορετική χονδρότητα στα δείγματα.

- Περιεκτική γραφική σταθερά απόκλισης (σι): Δείχνει το εύρος των μεγεθών των κόκκων. Όλα τα δείγματα έχουν "Πολύ κακή ταξινόμηση", που σημαίνει ότι έχουν μεγάλο εύρος μεγεθών.
- Ασυμμετρία (Sk): Δείχνει την ασυμμετρία της κατανομής. Τα περισσότερα δείγματα έχουν απλή ασυμμετρία, ενώ το δείγμα B5_00 έχει έντονη ασυμμετρία, σημαίνοντας μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε χονδρούς κόκκους. Το δείγμα B4_00 έχει συμμετρία.
- Κύρτωση (KG): Αφορά τη "κορυφή" της κατανομής. Όλα τα δείγματα είναι πλατύκυρτα ή μεσόκυρτα, σημαίνοντας μια ευρεία κατανομή σε μεγέθη κόκκων.
- Περιγραφή (Άμμος, Ιλύς, Άργιλος): Τα ποσοστά των διαφόρων υλικών. Τα περισσότερα δείγματα είναι αμμούχοι πηλοί, ενώ το δείγμα B3_00 είναι απλά "Πηλός".
- Περιεκτικότητα σε CaCO_3 : Δείχνει την περιεκτικότητα σε ασβεστίτη, που μπορεί να προέρχεται από θαλάσσιους οργανισμούς ή γεωλογικές πηγές.

Τα δείγματα παρουσιάζουν διαφορετικές κοκκομετρικές ιδιότητες. Όλα τα δείγματα έχουν πολύ κακή ταξινόμηση, που σημαίνει ότι τα υλικά είναι μεικτά και δεν είναι καλά ταξινομημένα. Τα περισσότερα δείγματα είναι αμμούχοι πηλοί, ενώ ένα είναι απλός πηλός.

Η περιεκτικότητα σε CaCO_3 είναι σχετικά υψηλή σε όλα τα δείγματα, δείχνοντας ίσως την επίδραση θαλάσσιων οργανισμών ή άλλων πηγών ασβεστίτη.

Ανατολικός Σαρωνικός (Εξωτερικός)

Οι παραπάνω τιμές αφορούν κοκκομετρικές αναλύσεις δειγμάτων από τον Ανατολικό Εξωτερικό Σαρωνικό κόλπο δείχνουν ότι.

- Γραφική Μέση Τιμή (Mz): Η γραφική μέση τιμή δείχνει τη χονδρότητα των κόκκων. Στο δείγμα Γ3_00 παρατηρείται η υψηλότερη τιμή με 55,12 μm , σημαίνοντας ότι έχει τους χονδρότερους κόκκους, ενώ το δείγμα Γ2_00 έχει τη χαμηλότερη τιμή με 8,42 μm .

- Περιεκτική γραφική σταθερά απόκλισης (σι): Όλα τα δείγματα δείχνουν "Πολύ κακή ταξινόμηση", καθιστώντας σαφές ότι τα υλικά δεν είναι καλά ταξινομημένα.
- Ασυμμετρία (Sk): Τα δείγματα Γ1_00 και Γ2_00 έχουν απλή ασυμμετρία, ενώ το δείγμα Γ3_00 δείχνει έντονη ασυμμετρία.
- Κύρτωση (KG): Όλα τα δείγματα είναι είτε πλατύκυρτα είτε μεσόκυρτα, δείχνοντας μια γενική τάση προς ευρεία κατανομή σε μεγέθη κόκκων.
- Περιγραφή (Άμμος, Ιλύς, Άργιλος): Το δείγμα Γ1_00 είναι αμμούχος πηλός, το Γ3_00 είναι πηλούχος άμμος και το Γ2_00 είναι πηλός.
- Περιεκτικότητα σε CaCO_3 : Η περιεκτικότητα σε ασβεστίτη διαφέρει στα δείγματα, ωστόσο, παραμένει σχετικά υψηλή σε όλα, δείχνοντας την επίδραση θαλάσσιων οργανισμών ή άλλων πηγών ασβεστίτη.

Τα δείγματα παρουσιάζουν διαφορές στις κοκκομετρικές τους ιδιότητες, αποκαλύπτοντας πιθανές διαφορές στις περιβαλλοντικές συνθήκες στις οποίες σχηματίστηκαν ή τις πηγές των υλικών.

Οι υψηλές περιεκτικότητες σε CaCO_3 σε όλα τα δείγματα μπορεί να υποδεικνύουν την παρουσία θαλάσσιων οργανισμών ή άλλων πηγών ασβεστίτη, ένδειξη πιθανής θαλάσσιας επίδρασης στην περιοχή.

Κεφάλαιο 5^ο – Συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν αφορούν σε:

(1) Κοκκομετρική Ανάλυση:

- Οι πυρήνες A4 και A3 παρουσίαζαν τα μεγαλύτερα μεγέθη κόκκων, ενώ οι πυρήνες A2 και A5 τα μικρότερα.
- Στην περιεκτική γραφική σταθερά απόκλισης, οι πυρήνες A2 και A5 είχαν τη μεγαλύτερη διακύμανση, δηλαδή το μεγαλύτερο εύρος μεγεθών κόκκων.
- Ο πυρήνας A2 παρουσίαζε τη χαμηλότερη ασυμμετρία, δηλαδή πιθανώς μία πιο ομοιογενή κατανομή των μεγεθών των κόκκων.
- Όλα τα δείγματα έδειχναν διαφορετικές τιμές κύρτωσης, περιγράφοντας την κατανομή τους ως "πλατύκυρτο" ή "μεσόκυρτο".
- Τέλος, αναφορικά με τις περιγραφές συνιστωσών, οι πυρήνες A4 και A3 είχαν υψηλή περιεκτικότητα σε άμμο, ενώ οι πυρήνες A2 και A5 είχαν την υψηλότερη περιεκτικότητα σε ιλύ.

(2) Περιοχική κατανομή

- Οι πυρήνες A4 και A3, βάσει των κοκκομετρικών τους χαρακτηριστικών, φαίνονται να αντιπροσωπεύουν περιοχές με περισσότερο αμμώχο υπόβαθρο, ενώ οι πυρήνες A2 και A5 πιθανότατα αντιπροσωπεύουν περιοχές με πηλώδες υπόβαθρο.
- Οι παραπάνω πληροφορίες μπορούν να δώσουν σημαντικά στοιχεία για τη γεωλογική και γεωμορφολογική εξέλιξη της περιοχής, τις περιβαλλοντικές συνθήκες κατά την περίοδο της δειγματοληψίας, καθώς και την τρέχουσα κατάσταση του κόλπου του Σαρωνικού.

Βιβλιογραφικές αναφορές

- Αναστασάκης, Γ.Κ., 1984. Πετρογραφικές επαρχίες σύγχρονων άμμων του Σαρωνικού κόλπου, in: Α' Πανελλήνιο Συμπόσιο Ωκεανογραφίας Και Αλιείας. pp. 459–467.
- IGME, 1983. Γεωλογικός Χάρτης της Ελλάδος, Κλίμακα 1:500.000. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών.
- IGME (IGEY), 1971a. Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος, Φύλλο Ερυθραί, Κλίμακα 1:50000.
- IGME (IGEY), 1971b. Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος, Φύλλο Κόρινθος, Κλίμακα 1:50000.
- IGME, 1982. Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος, Φύλλο Αθήνα - Πειραιάς, Κλίμακα 1:50000.
- IGME, 1984a. Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος, Φύλλο Μέγαρο, Κλίμακα 1:50000.
- IGME, 1984b. Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος, Φύλλο Μέθανο, Κλίμακα 1:50000.
- IGME, 1984c. Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος, Φύλλο Λυγουριό, Κλίμακα 1:50000.
- IGME, 1985. Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος, Φύλλο Σοφικό, Κλίμακα 1:50000.
- IGME, 1986. Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος, Φύλλο Αθήνα - Ελευσίνα, Κλίμακα 1:50000.
- IGME, 1992. Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος, Ν.Αίγινα, Κλίμακα 1:25000.
- IGME, 2003. Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος, Φύλλο Κορωπί - Πλάκα, Κλίμακα 1:50000.
- IGME, 2007. Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος, Φύλλο Λαύριο, Κλίμακα 1:50000.
- Καλοσάκας, Δ., 2000. Οι επιπτώσεις της ναυσιπλοΐας στο θαλάσσιο περιβάλλον του Σαρωνικού κόλπου υπό το πρίσμα των σύγχρονων μεθόδων ολοκληρωμένης διαχείρισης των παράκτιων ζωνών. Μετ. Διατρ., Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Λυκούσης, Β., Αναγνώστου, Χ., 1992. Ιζηματολογική και Παλαιογεωγραφική εξέλιξη του Σαρωνικού κόλπου στο τέλος του Τεταρτογενούς, in: Πρακτικά 6ου Συνεδρίου Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας. pp. 501–510.
- Μαριολάκος, Η., Θεοχάρης, Δ., 2001. Μετατοπίσεις των ακτογραμμών στο Σαρωνικό κατά τα τελευταία 18.000 χρόνια και η Κυχρεία παλαιολίμνη. Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας 34, 405–413.
- Παπανικολάου, Δ., 2015. Γεωλογία της Ελλάδας. Πατάκης, Αθήνα.

- Παπανικολάου, Δ., Χρόνης, Γ., Λυκούσης, Β., Παυλάκης, Π., Ρουσάκης, Γ., Συσκάκης, Δ., 1989. Υποθαλάσσιος Νεοτεκτονικός Χάρτης του Σαρωνικού Κόλπου. Κλίμακα 1:100.000.
- Παυλάκης, Π., Λυκούσης, Β., Παπανικολάου, Δ., Χρόνης, Γ., 1990. Ανακάλυψη ενός υποθαλάσσιου ηφαιστειακού κέντρου στο δυτικό Σαρωνικό: Το Ηφαίστειο του Πανσανία. Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας 24, 59–70.
- Alessandro, W.D., Brusca, L., Kyriakopoulos, K., Michas, G., Papadakis, G., 2008. Methana , the westernmost active volcanic system of the south Aegean arc (Greece): Insight from fluids geochemistry. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 178, 818–828. doi:10.1016/j.jvolgeores.2008.09.014
- Ali, H., Khan, E., & Ilahi, I. (2019). Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation. *Journal of Chemistry*, 2019, 1–14. <https://doi.org/10.1155/2019/6730305>
- Anastasakis, G., Piper, D. J. W., Dermitzakis, M., & Karakitsios, V. (2006). Upper Cenozoic stratigraphy and paleogeographic evolution of Myrtoon and adjacent basins, Aegean Sea, Greece. *Marine and Petroleum Geology*, 23(3), 353–369. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2005.10.004>
- Belkina, N., Kulik, N., Efremenko, N., Potakhin, M., Kukharev, V. I., Ryabinkin, A. V., Здоровеннов, Р., Georgiev, A. P., Страховенко, В. Д., Gatal'skaya, E., Kravchenko, I. Y., Ludikova, A., & Subetto, D. (2023). Contemporary sedimentation in Lake Onego: geochemical features of water, suspended matter, and accumulation rate. *Water*, 15(6), 1014. <https://doi.org/10.3390/w15061014>
- Birch, G. (2017). Determination of sediment metal background concentrations and enrichment in marine environments – A critical review. *Science of the Total Environment*, 580, 813–831. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.028>
- Bjørlykke, K. (2014). Relationships between depositional environments, burial history and rock properties. Some principal aspects of diagenetic process in sedimentary basins. *Sedimentary Geology*, 301, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2013.12.002>
- Blott, S. J., & Pye, K. (2012). Particle size scales and classification of sediment types based on particle size distributions: Review and recommended procedures. *Sedimentology*, 59(7), 2071–2096. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.2012.01335.x>

- Bosch, A. C., O'Neill, B., Sigge, G. O., Kerwath, S. E., & Hoffman, L. C. (2015). Heavy metals in marine fish meat and consumer health: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(1), 32–48. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7360>
- Burton, G., & Johnston, E. L. (2010). Assessing contaminated sediments in the context of multiple stressors. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 29(12), 2625–2643. <https://doi.org/10.1002/etc.332>
- Chapman, P. M., & Wang, F. (2001). Assessing sediment contamination in estuaries. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 20(1), 3–22. <https://doi.org/10.1002/etc.5620200102>
- Cheng, H., Hu, Y., Luo, J., Xu, B., & Zhao, J. (2009). Geochemical processes controlling fate and transport of arsenic in acid mine drainage (AMD) and natural systems. *Journal of Hazardous Materials*, 165(1–3), 13–26. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.10.070>
- D'Alessandro, W., Brusca, L., Kyriakopoulos, K., Rotolo, S., Michas, G., Minio, M., Papadakis, G., 2006. Diffuse and focused carbon dioxide and methane emissions from the Sousaki geothermal system, Greece. *Geophysical Research Letters* 33, 1–5. doi:10.1029/2006GL025777
- Davis, E.N., 1957. Die jungvulkanischen Gesteine von Aegina, Methana und Poros und deren Stellung im Rahmen der Kykladenprovinz. doi:http://dx.doi.org/10.3929/ethz-a-000126484
- Deng Z, Huang D, He Q and Chassagne C (2022) Review of the action of organic matter on mineral sediment flocculation. *Front. Earth Sci.* 10:965919. doi: 10.3389/feart.2022.965919
- Dietrich, V., Gaitanakis, P., Mercolli, I., Oberhänsli, R., 1993. Geological map of Greece, Aegina Island, 1: 25000. *Bulletin of the Geological Society of Greece* 28, 555–566
- Dietrich, V., Mercolli, I., Oberhänsli, R., 1968. Dazite , High-Alumina-Basalte und Andesite als Produkte der amphiboldominierter Differentiation (Aegina und Methana , ägäischer Inselbogen). *Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen*.
- Eggleton, J., & Thomas, K. V. (2004). A review of factors affecting the release and bioavailability of contaminants during sediment disturbance events. *Environment International*, 30(7), 973–980. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2004.03.001>
- Elert, K., & Rodríguez-Navarro, C. (2022). Degradation and conservation of clay-containing stone: A review. *Construction and Building Materials*, 330, 127226. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127226>

- Evans, R. (2007). Using CSEM techniques to map the shallow section of seafloor: From the coastline to the edges of the continental slope. *Geophysics*, 72(2), WA105–WA116. <https://doi.org/10.1190/1.2434798>
- Folk, R.L. (1980) *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hemphill Publishing Company, Austin, 184 p.
- Francalanci, L., Vougioukalakis, G., Perini, G., & Manetti, P. (2005). A West-East Traverse along the magmatism of the south Aegean volcanic arc in the light of volcanological, chemical and isotope data. In *Developments in Volcanology* (pp. 65–111). [https://doi.org/10.1016/s1871-644x\(05\)80033-6](https://doi.org/10.1016/s1871-644x(05)80033-6)
- Fytikas, M., Giuliani, O., Innocenti, F., 1976. Geochronological data on recent magmatism of the Aegean Sea. *Tectonophysics* 31.
- 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 Geologiques des Pays Helleniques* 33, 23–46.
- Georgalas, G.C., 1962. *Catalogue of the Active Volcanoes of the World Including Solfatara Fields Part XII Greece*. International Volcanological Association.
- Hedges, J. I., & Oades, J. (1997). Comparative organic geochemistries of soils and marine sediments. *Organic Geochemistry*, 27(7–8), 319–361. [https://doi.org/10.1016/s0146-6380\(97\)00056-9](https://doi.org/10.1016/s0146-6380(97)00056-9)
- Hurst, A., Scott, A., & Vigorito, M. (2011). Physical characteristics of sand injectites. *Earth-Science Reviews*, 106(3–4), 215–246. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2011.02.004>
- Irrgang, A., Bendixen, M., Farquharson, L. M., Baranskaya, A., Erikson, L. H., Gibbs, A. E., Ogorodov, S., Overduin, P., Lantuit, H., Grigoriev, M. N., & Jones, B. M. (2022). Drivers, dynamics and impacts of changing Arctic coasts. *Nature Reviews Earth & Environment*, 3(1), 39–54. <https://doi.org/10.1038/s43017-021-00232-1>
- Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B. B., & Beeregowda, K. N. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary Toxicology*, 7(2), 60–72. <https://doi.org/10.2478/intox-2014-0009>
- Joo, S. H., & Zhao, D. (2017). Environmental dynamics of metal oxide nanoparticles in heterogeneous systems: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 322, 29–47. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.02.068>
- Koiter, A. J., Owens, P. N., Petticrew, E. L., & Lobb, D. A. (2013). The behavioural characteristics of sediment properties and their implications for sediment fingerprinting as an approach for

- identifying sediment sources in river basins. *Earth-Science Reviews*, 125, 24–42.
<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.05.009>
- Kyriakopoulos, K., Kanaris-Sotiriou, R., Stamatakis, M., 1990. The authigenic minerals formed from volcanic emanations at Soussaki, West Attica Peninsula, Greece. *Canadian Mineralogist* 28, 363–368.
- Lacey, J. P., Evrard, O., Smith, H. G., Blake, W. H., Olley, J., Minella, J., & Owens, P. N. (2017). The challenges and opportunities of addressing particle size effects in sediment source fingerprinting: A review. *Earth-Science Reviews*, 169, 85–103.
<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.04.009>
- Lee, C., Wakeham, S. G., & Arnosti, C. (2004). Particulate organic matter in the sea: the composition conundrum. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 33(8), 565–575.
<https://doi.org/10.1579/0044-7447-33.8.565>
- Li, C., Zhan, L., & Lu, H. (2022). Mechanisms for overpressure development in marine sediments. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(4), 490.
<https://doi.org/10.3390/jmse10040490>
- Matsuda, J., Senoh, K., Maruoka, T., Sato, H., Mitropoulos, P., 1999. K-Ar ages of the Aegean volcanic rocks and their implication for the arc-trench system. *Geochem. J* 33, 369–377.
- Mills, P. C. (1983). Genesis and diagnostic value of soft-sediment deformation structures—A review. *Sedimentary Geology*, 35(2), 83–104. [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(83\)90046-5](https://doi.org/10.1016/0037-0738(83)90046-5)
- Mitropoulos, P., Tarney, J., Saunders, A.D., Marsh, N.G., 1987. Petrogenesis of Cenezoic volcanic rocks from the Aegean island arc. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 32, 177–193. doi:10.1016/0377-0273(87)90043-6
- Murray, H. H. (1991). Overview — clay mineral applications. *Applied Clay Science*, 5(5–6), 379–395. [https://doi.org/10.1016/0169-1317\(91\)90014-z](https://doi.org/10.1016/0169-1317(91)90014-z)
- National Research Council. 2001. *Basic Research Opportunities in Earth Science*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/9981>.
- Negahdari, S., Sabaghan, M., Pirhadi, M., Alikord, M., Sadighara, P., Darvishi, M., & Nazer, M. (2021). Potential Harmful Effects of Heavy Metals as a toxic and carcinogenic agent in Marine Food-An Overview. *Egyptian Journal of Veterinary Science*, 52(3), 379–385.
<https://doi.org/10.21608/ejvs.2021.83716.1245>

- Nomikou, P., Papanikolaou, D., Alexandri, M., Sakellariou, D., Rousakis, G., 2013. Submarine volcanoes along the Aegean volcanic arc. *Tectonophysics* 597-598, 123–146. doi:10.1016/j.tecto.2012.10.001
- Papanikolaou, D., Bargathi, H., Dabovski, C., Dimitriu, R., Ioane, D., Obeidi, A., Oaie, G., Seghedi, A., Zagorchev, I., 2004. The TRANSMED Atlas, in: Cavazza, W., Roure, F., Sparkman, W., Stampfli, G., Zieger, P. (Eds.), A Publication of the Mediterranean Consortium for the 32nd International Geological Congress. Springer.
- Papanikolaou D. The tectonostratigraphic terranes of the Hellenides. *Ann. Geol. Pays Hell.* 1997 - 37:495-514.
- Papanikolaou, D., 2009. Timing of tectonic emplacement of the ophiolites and terrane paleogeography in the Hellenides. *Lithos* 108, 262–280. doi:10.1016/j.lithos.2008.08.003
- Pe, G.G., 1974. Volcanic rocks of methana, South Aegean arc, Greece. *Bulletin volcanologique*.
- Pe-Piper, G., Piper, D.J.W., 2013. The effect of changing regional tectonics on an arc volcano: Methana, Greece. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 260, 146–163. doi:10.1016/j.jvolgeores.2013.05.011
- Pe-Piper, G., Piper, D.J.W., 2005. The South Aegean active volcanic arc : relationships between magmatism and tectonics. *Developments in Volcanology* 7, 113–133.
- Peng, J., Song, Y., Yuan, P., Cui, X., & Qiu, G. (2009). The remediation of heavy metals contaminated sediment. *Journal of Hazardous Materials*, 161(2–3), 633–640. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.04.061>
- Perelo, L. W. (2010). Review: In situ and bioremediation of organic pollutants in aquatic sediments. *Journal of Hazardous Materials*, 177(1–3), 81–89. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.12.090>
- Pokorná, D., & Záborská, J. (2015). Sulfur-oxidizing bacteria in environmental technology. *Biotechnology Advances*, 33(6), 1246–1259. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.02.007>
- Randolph, A. D., & Larson, M. A.* (1988). "Theory of Particulate Processes: Analysis and Techniques of Continuous Crystallization". Academic Press.
- Raju, N. J. (2022). Arsenic in the geo-environment: A review of sources, geochemical processes, toxicity and removal technologies. *Environmental Research*, 203, 111782. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111782>

- Rashid, M. A. (1985). Geochemistry of marine humic compounds. In Springer eBooks. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-7098-1>
- Rebesco, M., Hernández-Molina, F. J., Van Rooij, D., & Wåhlin, A. (2014). Contourites and associated sediments controlled by deep-water circulation processes: State-of-the-art and future considerations. *Marine Geology*, 352, 111–154. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2014.03.011>
- Schwartz, M. L., & Tziavos, C. (1975). Sedimentary provinces of the Saronic Gulf system. *Nature*, 257(5527), 573–575. <https://doi.org/10.1038/257573a0>
- Simon, M., Grossart, H. P., Schweitzer, B., & Ploug, H. (2002). Microbial ecology of organic aggregates in aquatic ecosystems. *Aquatic Microbial Ecology*, 28, 175–211. <https://doi.org/10.3354/ame028175>
- Sinha, N. K., Dalal, R. C., Chitralekha, A., Chaudhary, R. S., & Patra, A. K. (2018). Cracks and potholes in vertisols: Characteristics, occurrence, and management. In *Advances in Agronomy* (pp. 93–159). <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2018.01.001>
- Smrzka, D., Zwicker, J., Bach, W., Dong, F., Himmler, T., Chen, D., & Peckmann, J. (2019). The behavior of trace elements in seawater, sedimentary pore water, and their incorporation into carbonate minerals: a review. *Facies*, 65(4). <https://doi.org/10.1007/s10347-019-0581-4>
- Speybroeck, J., Bonte, D., Courtens, W., Gheskiere, T., Grootaert, P., Maelfait, J., Mathys, M., Provoost, S., Sabbe, K., Stienen, E., Van Lancker, V., Vincx, M., & Degraer, S. (2006). Beach nourishment: an ecologically sound coastal defence alternative? A review. *Aquatic Conservation-marine and Freshwater Ecosystems*, 16(4), 419–435. <https://doi.org/10.1002/aqc.733>
- Taylor, K. G., & Owens, P. N. (2009). Sediments in urban river basins: a review of sediment–contaminant dynamics in an environmental system conditioned by human activities. *Journal of Soils and Sediments*, 9(4), 281–303. <https://doi.org/10.1007/s11368-009-0103-z>
- Thomas, J. D. (1997). The role of dissolved organic matter, particularly free amino acids and humic substances, in freshwater ecosystems. *Freshwater Biology*, 38(1), 1–36. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.1997.00206.x>
- Vandenberghe, J. (2013). Grain size of fine-grained windblown sediment: A powerful proxy for process identification. *Earth-Science Reviews*, 121, 18–30. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.03.001>

- Waite, W. F., Santamarina, J. C., Cortes, D. D., Dugan, B., Espinoza, D. N., Germaine, J. T., Jang, J., Jung, J., Kneafsey, T. J., Shin, H., Soga, K., Winters, W. J., & Yun, T. S. (2009). Physical properties of hydrate-bearing sediments. *Reviews of Geophysics*, 47(4). <https://doi.org/10.1029/2008rg000279>
- Warren, N. D., Allan, I., Carter, J., House, W. A., & Parker, A. (2003). Pesticides and other micro-organic contaminants in freshwater sedimentary environments—a review. *Applied Geochemistry*, 18(2), 159–194. [https://doi.org/10.1016/s0883-2927\(02\)00159-2](https://doi.org/10.1016/s0883-2927(02)00159-2)
- Washington, H.S., 1894. A Petrographical Sketch of Aegina and Methana part1. *The Journal of Geology* 2.
- Washington, H.S., 1895a. A Petrographical Sketch of Aegina and Methana part2. *The Journal of Geology* 3.
- Washington, H.S., 1895b. A Petrographical Sketch of Aegina and Methana part3. *The Journal of Geology* 3.
- Wentworth, C. K. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *The Journal of Geology*, 30(5), 377–392. <https://doi.org/10.1086/622910>
- Wilke, T., Wagner, B., Van Bocxlaer, B., Albrecht, C., Ariztegui, D., Delicado, D., Francke, A., Harzhauser, M., Hauffe, T., Holtvoeth, J., Just, J., Leng, M. J., Levkov, Z., Penkman, K., Sadori, L., Skinner, A. C., Stelbrink, B., Vogel, H., Wesselingh, F. P., & Wonik, T. (2016). Scientific drilling projects in ancient lakes: Integrating geological and biological histories. *Global and Planetary Change*, 143, 118–151. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.05.005>
- Zalasiewicz, J., Williams, M., Fortey, R. A., Smith, A. P., Barry, T. L., Coe, A. L., Bown, P. R., Rawson, P. F., Gale, A. S., Gibbard, P. L., Gregory, F. J., Hounslow, M. W., Kerr, A. C., Pearson, P. N., Knox, R. W. O., Powell, J. H., Waters, C. N., Marshall, J. F., Oates, M., & Stone, P. (2011). Stratigraphy of the Anthropocene. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 369(1938), 1036–1055. <https://doi.org/10.1098/rsta.2010.0315>
- Zhang, C., Yu, Z., Zeng, G., Jiang, M., Yang, Z., Cui, F., Zhu, M., Shen, L., & Hu, L. (2014). Effects of sediment geochemical properties on heavy metal bioavailability. *Environment International*, 73, 270–281. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.08.010>
- Zhang, Z., Liu, L., Lü, W., Liu, C., Ning, F., & Dai, S. (2023). Permeability of hydrate-bearing fine-grained sediments: Research status, challenges and perspectives. *Earth-Science Reviews*, 244, 104517. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2023.104517>

Zolitschka, B., Francus, P., Ojala, A. E. K., & Schimmelmann, A. (2015). Varves in lake sediments – a review. *Quaternary Science Reviews*, 117, 1–41.
<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2015.03.019>